

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra technologií a měření

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Spolehlivost tištěných a všívaných vodivých motivů
v textilních substrátech**

autor: Petr Šohaj

2014

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr ŠOHAJ**
Osobní číslo: **E12N0041P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Spolehlivost tištěných a všívaných vodivých motivů v textilních substrátech**
Zadávací 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. Seznamte se s materiály, metodami a postupy pro vytváření vodivých motivů na textilních substrátech.
2. Prostudujte platné normy a postupy používané pro stanovení spolehlivosti textilních substrátů s vodivými motivy.
3. Navrhněte testovací postupy pro stanovení spolehlivosti textilních substrátů s vodivými motivy.
4. Na vybraných vzorcích textilních substrátů s vodivými motivy proveďte měření dle navržených postupů a diskutujte dosažené výsledky.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

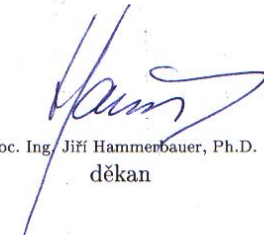
Seznam odborné literatury:

1. **E-Textiles For Wearability: Review On Electrical And Mechanical Properties, Minyoung Suh**
2. **White paper on Smart garments: a market overview of intelligent textile technologies in apparel, Christian Dalsgaard, Anne Jensen**
3. **Elektronické informační zdroje**


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Řeboun, Ph.D.**
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2014**


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




Doc. Ing. Vlastimil Škočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Tato diplomová práce je zaměřena na metody testování spolehlivosti tištěných a všívaných vodivých motivů v textilních substrátech. V práci jsou uvedeny typy elektricky vodivých vláken a jejich základní vlastnosti. Dále jsou popsány normy týkající se spolehlivosti textilních substrátů. Diplomová práce obsahuje modifikace testovacích postupů, které jsou potřebné pro použití metod při zkoušení smart textilií. V této části práce jsou také uvedeny doporučené postupy, které byly stanoveny v praktické části práce. V praktické části práce byly dále prakticky ověřeny vybrané testovací postupy.

Klíčová slova

Elektricky vodivá vlákna, chytré textilie, textilní normy, zkušební postupy, zkoušení elektricky vodivých vláken.

Title

Reliability of printed and woven conductive patterns in textile substrates

Abstract

This diploma thesis is focused on methods of testing of reliability of printed and woven conductive patterns in textile substrates. There are electrically conductive threads with their essential properties in this thesis. There are described standards of reliability of textile substrates. This diploma thesis contains modifications of test methods, which are required for use in smart textile field. In this part of the thesis there are also introduced recommended modifications, which have been defined in the practical part of the thesis. In the practical part of the thesis were proved selected test methods.

Key words

Electrically conductive thread, smart textiles, textile standards, test procedures, tests of conductive threads.

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 vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne 10. 5. 2014

Petr Šohaj

.....

Poděkování

Tímto bych rád vyjádřil své poděkování vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Řebounovi, Ph.D. za odbornou pomoc, hodnotné připomínky a metodické vedení při zpracování diplomové práce.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ	11
1 ÚVOD.....	12
2 MATERIÁLY, METODY A POSTUPY PRO VYTVÁŘENÍ VODIVÝCH MOTIVŮ NA TEXTILNÍCH SUBSTRÁTECH.....	13
2.1 VLÁKNA A JEJICH VLASTNOSTI	14
2.1.1 <i>Jemnost vlákna</i>	<i>15</i>
2.1.2 <i>Povrch vlákna, příčný řez</i>	<i>15</i>
2.1.3 <i>Pevnost v tahu</i>	<i>16</i>
2.1.4 <i>Elektrická vodivost.....</i>	<i>17</i>
2.2 ELEKTRICKY VODIVÁ VLÁKNA.....	18
2.2.1 <i>Textilní vlákno opředené kovovými vlákny</i>	<i>18</i>
2.2.2 <i>Plněná příze</i>	<i>19</i>
2.2.3 <i>Kovové vlákno ve struktuře příze</i>	<i>19</i>
2.2.4 <i>Kovová příze</i>	<i>19</i>
2.2.5 <i>Příze s povlakem.....</i>	<i>20</i>
2.2.6 <i>Přidání el. vodivého plniva do polymerního vlákna</i>	<i>20</i>
2.3 POSTUPY PRO VYTVÁŘENÍ VODIVÝCH MOTIVŮ NA TEXTILNÍCH SUBSTRÁTECH	21
2.4 ZVÝŠENÍ ODOLNOSTI TIŠTĚNÝCH VODIVÝCH SPOJŮ.....	23
2.5 PŘÍKLADY ELEKTRICKY VODIVÝCH VLÁKEN A PLOŠNÝCH MATERIÁLŮ	24
2.5.1 <i>Patent US 6957525B2.....</i>	<i>24</i>
2.5.2 <i>R.STAT/S vlákna.....</i>	<i>25</i>
2.5.3 <i>SilveR.STAT[®] vlákna.....</i>	<i>25</i>
2.5.4 <i>R.STAT/N vlákna a R.STAT/P vlákna</i>	<i>26</i>
2.5.5 <i>ELITEX[®]</i>	<i>27</i>
2.5.6 <i>AmberStrand[®] fiber</i>	<i>28</i>
2.5.7 <i>Liberator[™] fiber.....</i>	<i>28</i>
2.5.8 <i>Vodivá příze Shieldex[®]</i>	<i>28</i>
2.5.9 <i>Textilie potažená vodivými polymery.....</i>	<i>28</i>

2.5.10	<i>Textilie opatřená vodivou vrstvou sítotiskem</i>	29
3	NORMY A POUŽÍVANÉ POSTUPY	30
3.1	PROSTŘEDÍ	30
3.1.1	ČSN EN ISO 139 a změna A1	31
3.1.2	ČSN IEC 721-2-1	31
3.2	ELEKTRICKÁ VODIVOST A ELEKTRICKÝ ODPOR	32
3.2.1	ČSN 42 0475.....	32
3.2.2	ČSN 80 0059.....	33
3.2.3	ČSN EN 1149-1.....	34
3.2.4	<i>Použitý postup měření uskutečněný B. Karaguzelem a společníky</i>	35
3.2.5	<i>Použitý postup měření elektrického odporu samostatných vláken</i>	35
3.2.6	<i>Použitý postup měření elektrického odporu spojených vláken</i>	36
3.3	ODOLNOST V OHYBU	36
3.3.1	ČSN 80 0858.....	36
3.3.2	ČSN 64 7029.....	37
3.3.3	ČSN EN ISO 32100 (80 0894)	39
3.3.4	ČSN EN 1735 (80 0859)	40
3.3.5	ČSN EN ISO 7854 (80 4621)	41
3.4	PEVNOST V TAHU.....	44
3.4.1	ČSN EN ISO 5079 (80 0200)	44
3.4.2	ČSN EN ISO 2062 (80 0700)	45
3.4.3	ČSN EN ISO 1421 (80 4627)	46
3.4.4	<i>Použitá metoda pro zjišťování pružnosti</i>	48
3.5	ODOLNOST VŮČI PRACÍM CYKLŮM.....	49
3.5.1	ČSN EN ISO 6330.....	49
3.5.2	<i>Použitý postup praní – B. Karaguzel a společníci</i>	50
3.5.3	<i>Použitý postup praní – A. Schwarz a společníci</i>	51
3.6	ODOLNOST PROTI ODĚRU	52
3.6.1	ČSN EN ISO 12947-3 (80 0846) a změna Z1	52
3.6.2	ČSN EN ISO 5470-2 (80 0852)	53
3.6.3	ČSN EN ISO 5470-1 (80 0852)	54
3.6.4	ČSN EN ISO 13427 (80 6136)	55

4	NÁVRH TESTOVACÍCH POSTUPŮ PRO SMART TEXTILIE	56
4.1	TESTOVACÍ OVZDUŠÍ A KLIMATIZACE VZORKŮ	56
4.2	MĚŘENÍ ELEKTRICKÉHO ODPORU PRO SMART TEXTILIE	58
4.2.1	<i>Metoda měření elektrického odporu tenkých vodičů</i>	<i>58</i>
4.2.2	<i>Metoda měření povrchového elektrického odporu</i>	<i>60</i>
4.3	ZKOUŠENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ SMART TEXTILIE	61
4.3.1	<i>Metoda měření tuhosti a pružnosti dle normy ČSN 80 0858</i>	<i>61</i>
4.3.2	<i>Metoda ploché smyčky při použití na elektricky vodivých textilích</i>	<i>62</i>
4.3.3	<i>Metoda délky ohybu elektricky vodivých textilií</i>	<i>62</i>
4.3.4	<i>Metoda zjišťování odolnosti proti opakovanému ohybu</i>	<i>63</i>
4.3.5	<i>Metoda podle De Mattii pro smart textilie</i>	<i>64</i>
4.3.6	<i>Metoda mačkání a ohýbání pro smart textilie</i>	<i>64</i>
4.3.7	<i>Pevnost elektricky vodivých vláken v tahu</i>	<i>65</i>
4.3.8	<i>Měření závislosti elektrického odporu na počtu prodloužení</i>	<i>66</i>
4.3.9	<i>Odolnost vůči pracím cyklům</i>	<i>67</i>
4.3.10	<i>Odolnost smart textilií proti oděru</i>	<i>67</i>
5	OVĚŘENÍ TESTOVACÍCH POSTUPŮ	69
5.1	MĚŘENÍ ELEKTRICKÉHO ODPORU DÉLKOVÉHO VLÁKNA	70
5.2	OVĚŘENÍ METODY TLM NA VODIVÝCH VLÁKNECH	72
5.3	MĚŘENÍ POVRCHOVÉHO ODPORU TEXTILIÍ S VODIVÝMI VLÁKNY	74
5.4	ZKOUŠKA TAŽNOSTI A PEVNOSTI	78
5.5	ZKOUŠKA ZÁVISLOSTI ELEKTRICKÉHO ODPORU A PRUŽNOSTI	82
6	ZÁVĚR	85
	POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	86
	SEZNAM PŘÍLOH	91

Seznam symbolů

m [kg]	.....	hmotnost
S [m ²]	.....	obsah
V [m ³]	.....	objem
ρ [kg/m ³]	.....	hustota
l [m]	.....	délka
t [°C]	.....	teplota
T [tex]	.....	jemnost
π [-]	.....	konstanta
F [N]	.....	síla
ε [-]	.....	tažnost
ν [-]	.....	Poissonův poměr
G [S]	.....	vodivost
σ [S/m]	.....	konduktivita
R [Ω]	.....	elektrický odpor
ρ [Ωm]	.....	rezistivita
I [A]	.....	elektrický proud
U [V]	.....	elektrické napětí
Q [C]	.....	elektrický náboj

1 Úvod

Tato diplomová práce je zaměřena na spolehlivost tištěných a všívaných vodivých motivů v textilních substrátech, zejména na související normy a postupy v nich uvedené. Průmyslové odvětví, ve kterém se spojují textilní a elektronické materiály, se nazývá smart textile. Toto odvětví je v dnešní době na svém začátku a normy, které by stanovily testovací postupy pro ověření spolehlivosti, neexistují. Neexistují ani normy, které by stanovily vlastnosti materiálů patřících do smart textilií. Absence norem a možnost, že tato práce bude nápomocna při jejich vytváření, jsou důvody, pro které jsem si toto téma diplomové práce zvolil.

Snažíme-li se pochopit problematiku smart textile a vytvářet vodivé motivy pro toto odvětví, musíme znát vlastnosti jednotlivých vláken. Cílem teoretické části diplomové práce je seznámení se základními vlastnostmi vláken používaných při vytváření elektricky vodivých motivů a vláken, které se pro vodivé motivy používají.

Hlavním cílem mé diplomové práce je najít normy a postupy týkající se spolehlivosti textilních substrátů a tyto postupy modifikovat tak, aby byly aplikovatelné v odvětví smart textilií. Dílčím cílem je některé tyto stanovené postupy otestovat a doplnit tak modifikované postupy o poznatky získané praktickými zkušenostmi.

2 Materiály, metody a postupy pro vytváření vodivých motivů na textilních substrátech

Vývoj materiálů pro elektroniku i textilní průmysl trvá mnoho let. V textilním průmyslu existují materiály jako Outlast® či GORE-TEX®, které je možné považovat za inteligentní. Tyto materiály udávají výrobkům z nich vyrobených specifické vlastnosti, kterými se liší od běžných textilií. V prvním případě je textilie schopna akumulovat teplo a uvolnit jej zpět v závislosti na potřebách lidské pokožky. Druhý případ materiálu nepropustí tekutinu a zároveň propustí odcházející páru. Inteligentní materiál je definován jako hmota, která dokáže v potřebném čase reagovat na určitý podnět svou definovanou reakcí. Příklady inteligentních materiálů jsou:

- materiál může změnit barvu při průchodu elektrického proudu,
- materiál emituje světlo, například při chemické reakci,
- materiál s řízenou změnou viskozity může během krátkého okamžiku změnit svůj stav z tuhého na tekutý a obráceně,
- materiál s tvarovou pamětí se po deformaci a splnění určitých podmínek vrátí do svého původního tvaru,
- materiál s objemem měnícím se v závislosti na změně elektrického napětí,
- materiál vyvolávající náboj při mechanické deformaci.

Používají se v odvětvích jako lékařství, fotovoltaika, architektura, textilní průmysl či e-textilie. [7][8]

V dnešní době se do textilních výrobků přidává elektronika a tak se odvětví, zmíněná na začátku kapitoly, propojují a vzniká „smart textile“.

Chytré textilie nebo také e-textilie jsou textilní materiály s integrovanými elektronickými součástkami, jako jsou mikročipy, snímače, integrované obvody či displeje. Chytré textilie mohou monitorovat srdeční tep, dechovou frekvenci, pomocí optických vláken pomohou určit místo bodného či střelného zranění, mohou hlídat životní funkce novorozenců v nemocnici, mohou monitorovat život člověka po celý den, EKG, teplotu kůže a předcházet tak různým zdravotním problémům.

Důležitou součástí všech e-textilií je elektricky vodivý motiv, propojující jednotlivé integrované obvody nebo součásti obleků či jiných výrobků. Na spolehlivosti tohoto vodivého motivu je závislá funkce celého zařízení a možná v budoucnu i život

uživatelů. Je tedy nutné vytvářet vodivé spoje, které vydrží po celou dobu výrobu funkční a bude se na ně uživatel moci spolehnout. [9]

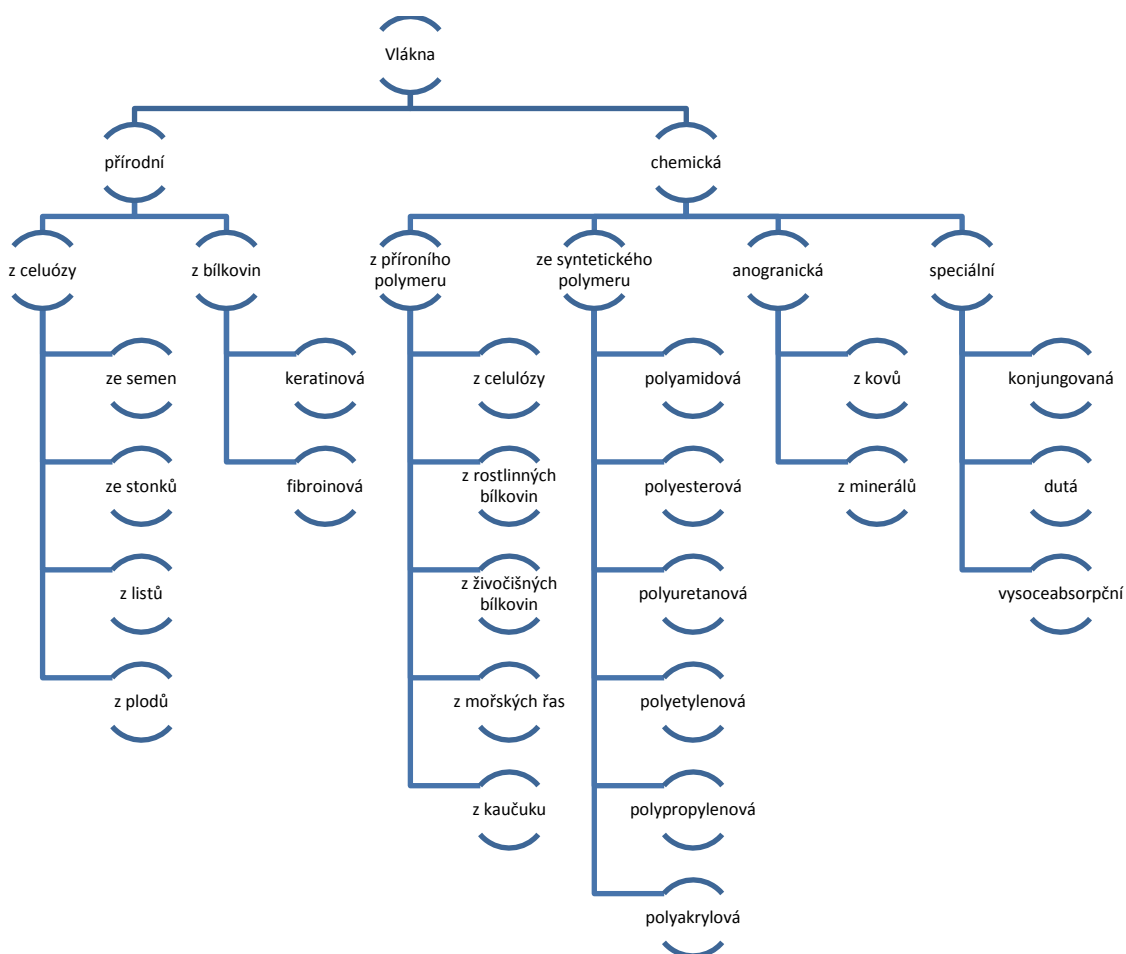
Možností, jak dosáhnout vodivosti textilie, je mnoho. Mezi základní patří:

- tisk vodivých past na textilní substrát,
- galvanizace textilií,
- všíť vodivých vláken přímo do textilie,
- nalepení vodivých vláken na textilní substrát,
- vytvoření textilie z vodivých vláken.

každá z výše zmíněných možností má své klady a zápory. Nevýhodami mohou být náklady na výrobu, časová náročnost, cena finálního produktu, malá spolehlivost, vysoká opotřebitelnost nebo nízká flexibilita ve srovnání s textilií bez vodivého spoje.

2.1 Vlákná a jejich vlastnosti

Na Obr 1 je zobrazeno rozdělení vláken, která lze používat při výrobě textilií. Každé vlákno má specifické vlastnosti, ty nejdůležitější vlastnosti vláken používaných pro výrobu smart textilií budou popsány v následujících odstavcích.



Obr 1: Rozdělení vláken. Převzato z [5]

2.1.1 Jemnost vlákna

Jemnost vlákna je důležitou geometrickou vlastností vláken, značí se T . Může být označována také jako tloušťka vlákna, ovšem spíše průměrná, neboť textilní vlákna většinou nemají pravidelnou tloušťku vlákna po celé délce. Jemnost vlákna tedy nemůžeme změřit přímo. Jemnost je definována jako poměr hmotnosti vlákna na určitou délku. Jednotka jemnosti je tex. [5][6]

$$T = \frac{m}{l} \quad [tex] = \frac{[g]}{[km]} \quad (1)$$

Všeobecně se v textilním průmyslu používá spíše jednotka decitex [dtex] neboli 1 g / 10 km délky vlákna. V *Tab 1* jsou uvedeny příklady typické jemnosti vláken. Obecně lze říci, že vlákna nad 7 dtex jsou hrubá, vlákna 7 - 2,4 dtex jsou klasická, 2,4 - 1 dtex jsou jemná, 1 - 0,3 dtex jsou mikrovlákna a pod 0,3 dtex jsou superjemná. [5][6]

Tab 1: Typická jemnost vláken.[6]

vlákno	d [μm]	T [dtex]
<i>bavlna (Indie)</i>	18	3
<i>vlna (merino)</i>	22	5
<i>vlna (Asie)</i>	43	19
<i>přírodní hedvábí</i>	12	1,6
<i>len</i>	27	7

2.1.2 Povrch vlákna, příčný řez

Vlákna mohou mít různý tvar povrchu. Především vlákna z přírodních materiálů nemají příčný řez vždy kruhový a stejný po celé své délce, a tak povrch vlákna není vždy ve tvaru pláště válce. U uměle vyrobených vláken závisí tvar povrchu vlákna na výrobním postupu a lze vyrobit vlákno o konstantním příčném průřezu. Velikost povrchu vláken má vliv na následnou úpravu vláken, jako například povrstvení plastem či kovem.

Pro vlákna s kruhovým příčným řezem platí: [6]

$$S_p = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot l}{\pi \cdot r^2 \cdot l \cdot \rho} = \frac{2}{r \cdot \rho} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi}{T \cdot \rho}} \quad (2)$$

kde:

- S_p měrný povrch vlákna,

- r poloměr kruhového vlákna,
- ρ hustota vlákna,
- l délka vlákna,
- T jemnost vlákna.

Měrný povrch vlákna je povrch na jednotku hmotnosti, což vyplývá z rovnice (2), kde v čitateli je povrch vlákna a ve jmenovateli objem vlákna vynásobený hustotou, z čehož dostaneme hmotnost.

Je-li příčný řez jiného než kruhového tvaru, násobí se jmenovatel rovnice kruhovitostí c . [6]

$$c = \frac{S_v}{S_e} \quad (3)$$

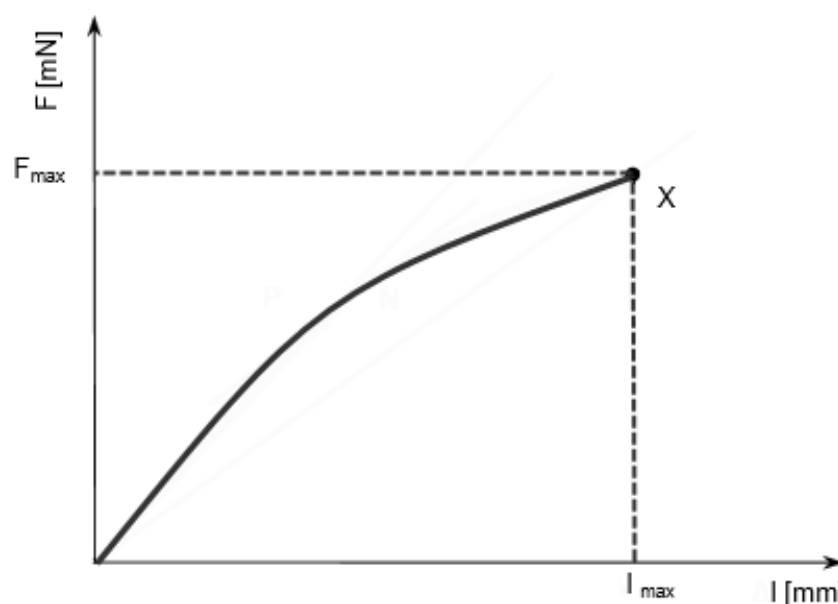
Kruhovitost c je dána poměrem plochy příčného řezu a plochy příčného řezu ekvivalentního kruhového vlákna za podmínky, že obě plochy musí mít stejný obvod.

Obecný vzorec pro výpočet měrného povrchu je po úpravě vyjádřen: [6]

$$S_p = \frac{\text{obvod}}{\text{obsah} \cdot \rho \cdot c} \quad (4)$$

2.1.3 Pevnost v tahu

Působí-li na jeden konec vlákna síla F a druhý konec vlákna je upevněný, zvětšuje se délka vlákna l a zmenšuje se plocha příčného řezu S . Síla F uvažována v ose vlákna, ve směru od upevněného konce. Je-li zanesen průběh deformace do grafu, vzniká například následující průběh.



Obr 2: Závislost síly a délky při deformaci vlákna. Převzato z [11]

Vzroste-li síla F až na hodnotu F_{max} , dostaneme se do bodu X , který se nazývá bod přetrhu. Pevnost je tedy síla do přetrhu. Aby bylo možné porovnat absolutní sílu F_{max} mezi jednotlivými vlákny, využívá se síla relativní F_r . [10][11]

$$F_r = \frac{F}{T} \quad [N] = \frac{[N]}{[tex]} \quad (5)$$

Před přetrhnutím vlákna mělo vlákno délku Δl , z té je určeno poměrné prodloužení neboli tažnost. [11]

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (6)$$

Poměrné prodloužení ale nevyjadřuje, co se děje při působení síly s průměrem příčného řezu. To zahrnuje tzv. Poissonův poměr ν . [10]

$$\nu = \frac{\text{příčné zkrácení}}{\text{podélné prodloužení}} \quad (7)$$

Poissonův poměr je výhodný, pokud potřebujeme zjistit změnu objemu vlákna před a po deformaci: [10]

- $\nu = 0,5$ – objem se nemění,
- $\nu < 0,5$ – objem je po deformaci větší,
- $\nu > 0,5$ – objem je po deformaci menší.

Pro většinu textilních vláken se ν pohybuje v rozmezí 0,2 až 0,45, $\nu = 0,5$ je případ kaučuku či kapalin.

2.1.4 Elektrická vodivost

Elektrická vodivost je jednou z nejdůležitějších vlastností pro vodiče a vodivá vlákna. Je to schopnost materiálu vést elektrický proud. Základní vztah je určen jako poměr dvou veličin, elektrického proudu a napětí. [1]

$$G = \frac{I}{U} \quad [S] = \frac{[A]}{[V]} \quad (8)$$

Vodivost materiálu lze také vypočítat ze vztahu: [1]

$$G = \sigma \cdot \frac{S}{l} \quad (9)$$

kde:

- σ konduktivita materiálu,
- S obsah průřezu materiálu,
- l délka vodiče.

Základní rozdělení materiálů z hlediska konduktivity je při 20°C: [1]

- $10^2 - 10^8 \text{ S.m}^{-1}$ kovy,
- $10^{-8} - 10^2 \text{ S.m}^{-1}$ polovodiče,
- $10^{-20} - 10^{-8} \text{ S.m}^{-1}$ izolanty.

Konduktivita některých polymerových vláken dosahuje nejmenších hodnot této stupnice a pohybuje se v okolí $10^{-20} - 10^{-19} \text{ S.m}^{-1}$ [1]. Tato hodnota vypovídá o nemožnosti použít polymerová vlákna ve své čisté podobě pro vedení elektrického proudu.

Pro vedení elektrického proudu a využití jako vodič se většinou používají materiály jako měď ($5 \cdot 10^7 \text{ S.m}^{-1}$) [1] či stříbro ($6 \cdot 10^7 \text{ S.m}^{-1}$) [1].

Rozdíl mezi izolátorem a vodičem je dán množstvím částic schopných transportovat náboj Q , tyto částice můžeme také nazývat nosiče náboje.

V textilním průmyslu hojně využívaná polymerová vlákna jsou při uvážení hodnot konduktivity nevodivá, smart textilie se od běžných textilií liší také obsahem vláken vodivých ve struktuře.

2.2 Elektricky vodivá vlákna

Elektricky vodivá vlákna mohou být vytvářena jako čisté kovové vodiče nebo kompozity kovů a textilu. Pro kovová vlákna je charakteristická vyšší elektrická vodivost a pevnost. Pro textilní vlákna je charakteristická flexibilita, pružnost, životnost a pohodlí při odívání. Při výrobě textilních elektricky vodivých vláken je nejdůležitější poměr vodivých a nevodivých složek vlákna tak, aby byla zachována flexibilita a životnost textilních přízí a zároveň byly splňovány požadavky na dobrou elektrickou vodivost.

Struktura vodivé příze by mohla být rozdělena do následujících základních skupin.

2.2.1 Textilní vlákno opředené kovovými vlákny

Textilní vlákno je obaleno vláknem kovovým. Kovových vláken může být od jednoho až po několik, většina zdrojů uvádí počet kovových vláken do čtyř.



Obr 3: Opředené vlákno. Převzato z [13]

2.2.2 Plněná příze

Jemné kovové vlákno, sloužící jako vodič, je pokryto nevodivými vlákny. Tato příze je zároveň elektricky izolovaná a mechanicky chráněna.



Obr 4: Plněná příze. Převzato z [13]

2.2.3 Kovové vlákno ve struktuře příze

Oproti vláknům 2.2.1 a 2.2.2 nemá strukturu jádro-plášť. Kovové elektricky vodivé vlákno nahrazuje jedno či více vláken ve struktuře textilní příze. Příkladem takovéto vodivé příze je příze uvedená v příkladech v odstavci 2.5.1.



Obr 5: Kovové vlákno nahrazuje textilní vlákno ve struktuře příze. Převzato z[13]

2.2.4 Kovová příze

Kovová příze má stejné geometrické uspořádání jednotlivých vláken jako textilní příze. Všechna vlákna jsou vytvořena z kovového elektricky vodivého materiálu.

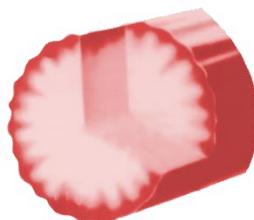
Příkladem může být příze, již vytvořili A. Dhawan a jeho tým, byla složena z 28 měděných vláken, každém o průměru 70 μm . Odpor takto vytvořené příze byl 0,2241 Ω/m . [13]



Obr 6: Kovová příze. Převzato z[13]

2.2.5 Příze s povlakem

Je příze obsahující jádro z elektricky nevodivého materiálu, který udává flexibilitu a plášť z elektricky vodivého materiálu. Takto vodivá příze může dosahovat různých hodnot elektrického odporu, který je udáván na metr délky. Hodnota elektrického odporu závisí na použitých materiálech a jejich rozměrech. Např. vlákno SilveR.STAT, více popsané v kapitole 2.5.3, má hodnotu odporu 10^2 - $10^6 \Omega/m$. [4]



Obr 7: Příze s povlakem stříbra. Převzato z[4]

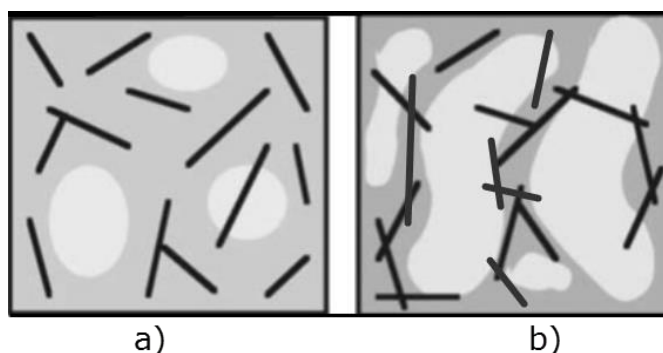
2.2.6 Přidání el. vodivého plniva do polymerního vlákna

Přidáním elektricky vodivého materiálu do strukturní matrice polymeru se na výsledných vlastnostech (chemických i fyzikálních) podílejí oba materiály použité při výrobě, pojivo i plnivo. Jako elektrovodivé plnivo lze použít kovový prášek, grafit, uhlíkové saze, uhlíkové nanotrubičky či polymery s vlastní vodivostí (polyanilin, polypyrol, polythiofeny, aktivované polyethyleny). [2][9]

Při kombinaci materiálů vzniká přidáním plniva do pojivého materiálu rozhraní. Plocha tohoto rozhraní není jen samotná styčná plocha obou materiálů, ale také tenká vrstva v okolí této plochy v pojivovém materiálu. Ta může ovlivňovat tuhost, roztažnost či jiné vlastnosti výsledného vlákna. K minimalizaci vlivu rozhraní se využívá apretace – opatření plniva vrstvou například chemické látky v podobě roztoku či pasty. Chemická látka nanesená po celém povrchu plniva zapříčiní snížení styčné plochy materiálu vlákna a plniva. [1][2]

Nejen vlastnosti plniva propůjčují vláknu lepší parametry vodivosti. Důležité je objemové množství vodivého plniva a vodivost může zvýšit i lehčení polymerního

kompozitu. Vodivost kompozitu při změně objemového množství je popisována perkolační teorií. Důležité přitom je, aby bylo množství vodivých částic takové, aby byla ve vlákně vytvořena elektrovodivá síť. Lehčení kompozitu může dodat při stejné koncentraci plniva vyšší hodnotu vodivosti či umožňuje při stejné vodivosti snížit koncentraci plniva a tedy snížit náklady. [2]



Obr 8: Schematické znázornění vytvoření vodivých cest v materiálu pomocí lehčení, a) bez lehčení b) lehčená struktura. Převzato z [2]

Lehčení materiálu způsobí, že ve struktuře materiálu vzniknou malé póry, nebo jsou již vzniklé póry zvětšeny (Obr 8). Tyto póry změni rozložení plniva v polymeru a pomohou k vytvoření elektrovodivé sítě v celém vlákně, proto je výhodné, aby rozmístění pórů bylo rovnoměrné. Také možný růst vytvořených pórů může natlačit vodivé pojivo blíže k sobě a zlepšit výslednou vodivost vlákna, neboť při lehčení dochází ke třem fázím: [2]

- vznik pórů,
- růst pórů,
- ustálení na požadované velikosti.

Například při zjišťování vztahů mezi vodivostí normálního a lehčeného kompozitu polypropylenu a uhlíkových nanovláken [3] byla zjištěna stejná hodnota perkolačního prahu při 6 % respektive při 5 % objemu plniva.

2.3 Postupy pro vytváření vodivých motivů na textilních substrátech

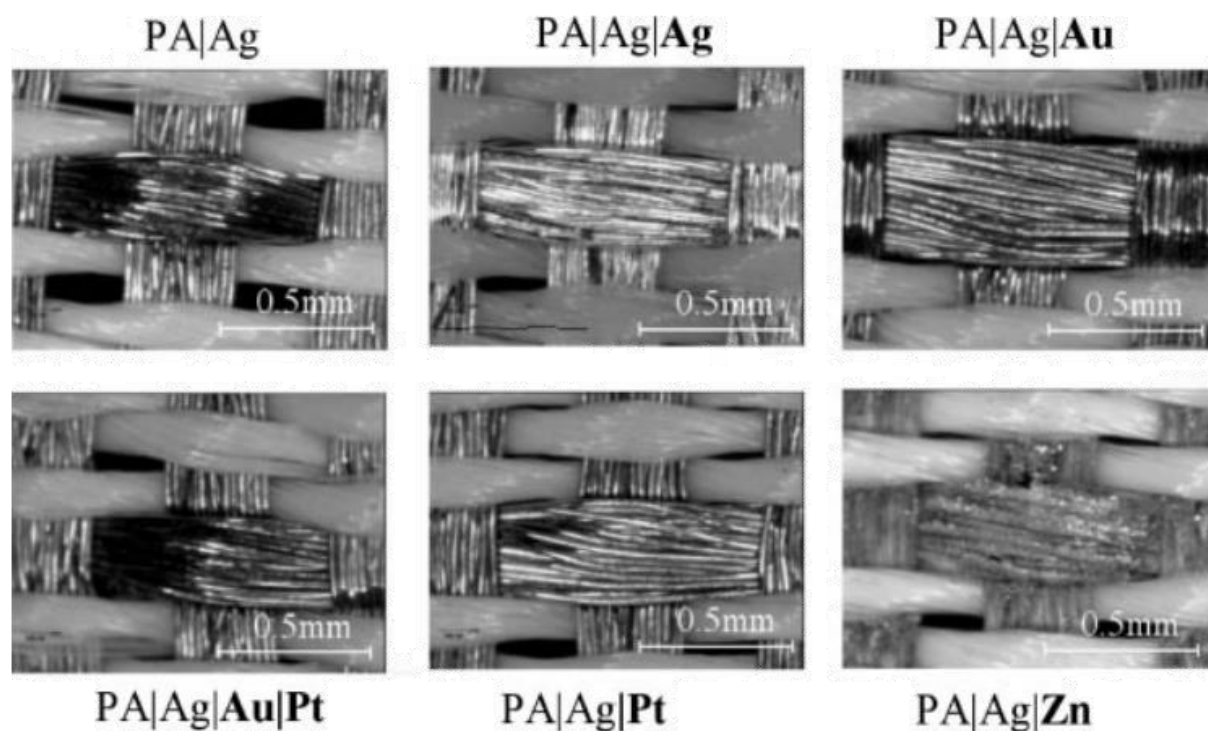
V odvětví textilní elektroniky lze získat vodivou cestu dvěma základními způsoby. První nabízí použití vodivých přízí popsaných v kapitole 2.2. Vodivé příže lze vetkat, vplest nebo s nimi vyšívát vodivé motivy. Nevýhoda vetkání a vpletení je v omezenosti geometrie vodivého motivu, neboť je nutné dodržovat fyzické umístění vláken ve tkanině. Výhodou je vyšší zachování flexibility, prodyšnost a nízká hmotnost. Vyšití motivu je v tomto ohledu přístupnější různým tvarům vodivé

cesty, ale pro vytvoření vodivých cest je zapotřebí velmi kvalitní vodivé vlákno, aby vydrželo zátěž, jež je kladena při vyšívání. [15][17]

Druhá možnost, jak získat vodivou cestu na textilním substrátu je opatřit utkanou textilií vodivou cestou dodatečně.

Tisk vodivých motivů na substrát je způsob, kterým je možné vytvořit téměř jakýkoliv motiv vodivé cesty na textilním substrátu. Nevýhodou tištěných elektricky vodivých spojů je nižší trvanlivost při používání textilie oproti metodám, u kterých je použito vodivých přízí. [15]

Galvanizace textilií nabízí též možnost, jak vytvořit vodivou cestu na textilií. Do textilie mohou být při výrobě umístěna vlákna, jež mají na svém povrchu tenkou vrstvu stříbra. Jsou aplikace, pro které je takto vytvořený vodič nevhodný, např. RFID transpondér nebo aplikace, kde je nutná vyšší elektrická vodivost, než je poskytnuta samotným vodivým vláknem. Důvodem je tenká vrstva elektricky vodivého kovu. Pro tyto případy lze využít galvanizace. Galvanizací lze navrstvit materiály jako zlato, platina, měď, nikl, zinek nebo další vrstvu stříbra, jak je zobrazeno na Obr 9. [17]



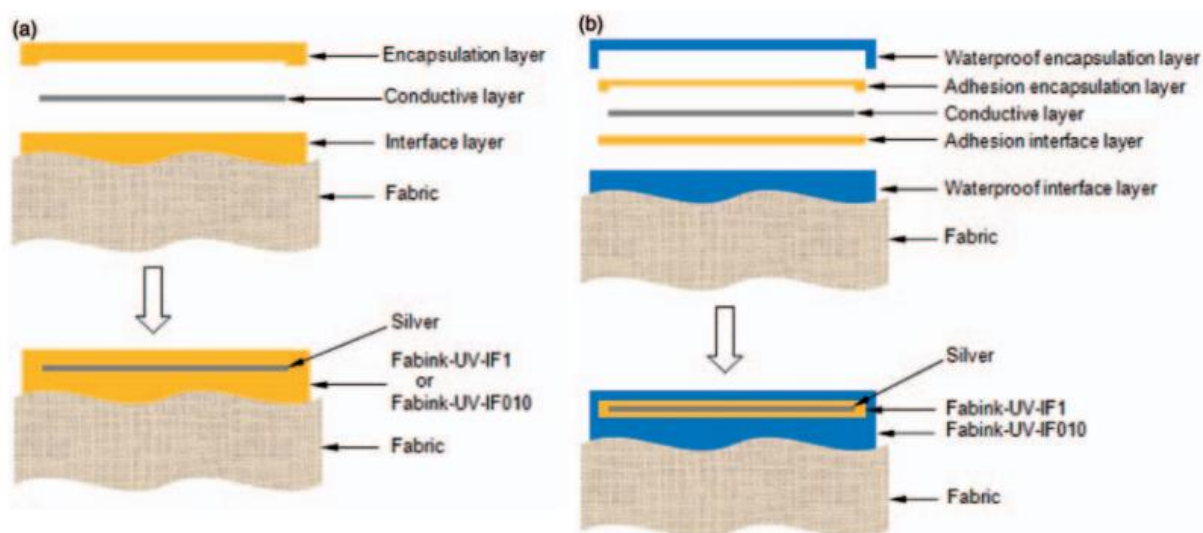
Obr 9: Zobrazení galvanicky pokovených vláken. Převzato z [17]

2.4 Zvýšení odolnosti tištěných vodivých spojů

Zvýšení trvanlivosti a odolnosti tištěných elektricky vodivých spojů může být docíleno nanesením ochranné vrstvy (například termoplastického polyuretanu) laminací, lakováním nebo sítotiskem. [16]

Kai Yang a jeho tým v jejich práci z roku 2013 [15] zkoumali trvanlivost a voděodolnost sítotiskem nanesených krycích vrstev, které byly nanесeny na elektricky vodivých motivech na textiliích.

V této studii je na textilií natištěna polyuretanová vrstva tvořící rozhraní mezi textilní vrstvou a elektricky vodivou cestou, zároveň tato vrstva vyrovná nerovnosti struktury textilie. Na vrstvu rozhraní je nanесen elektricky vodivý motiv, který je poté zapouzdřen nanесením další vrstvy polyuretanu. Vytvrzení polyuretanových vrstev probíhá působením ultrafialového světla. V literatuře jsou uvedeny dvě zkušební: Fabink UV-IF1 a Fabink UV-IF010, které lze použít samostatně, nebo kombinovat pro zlepšených ochranných vlastnostech. [15]



Obr 10: Ochranné vrstvy pro vodivé motivy. Převzato z [15]

Tento způsob zvýšení odolnosti je výhodný, neboť krycího materiálu je používáno méně, protože je používán pouze kolem elektricky vodivých drah a materiálem není plýtváno. Tímto je také zachována dobrá flexibilita a prodyšnost. Hmotnost je taktéž zvyšována jen velmi málo. Další výhodou spočívá ve vytvrzování ultrafialovým světlem, což je časově nenáročná metoda (čas vytvrzení 30 s pro Fabink UV-IF1 respektive 60 s pro Fabink UV-IF010) prováděná při běžné teplotě a nedochází k uvolňování těkavých organických sloučenin. [15]

Jako elektricky vodivá pasta byla použita pasta Fabink-TC-AG1, složená ze stříbrných vloček, vinylové pryskyřice a rozpouštědel. Povrchový odpor je $80 \text{ m}\Omega/\text{m}^2$ při nanesení jedné vrstvy sítotiskem. [15]

Vrstva laminátu slouží nejen jako ochranný prostředek proti vzniku prasklin na elektricky vodivém motivu, ale při vzniklých prasklinách drží materiál vodivého motivu pohromadě a elektrická vodivost motivu není přerušena. [16]

2.5 Příklady elektricky vodivých vláken a plošných materiálů

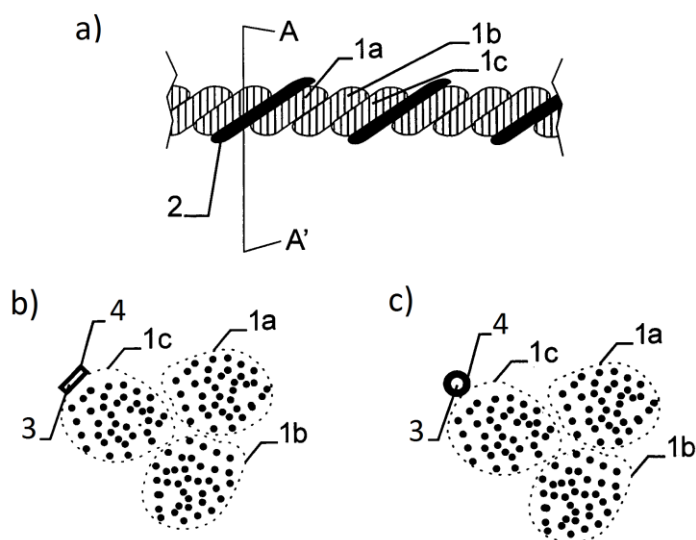
Dnes dosahované hodnoty odporu v oboru elektricky vodivých textilních vláken jsou v rozmezí $0,2441 \text{ }\Omega/\text{m}$ až $10^5 \text{ }\Omega/\text{m}$. [4][13]

Vyráběných elektricky vodivých vláken je k dispozici mnoho. Běžná vlákna, mající vysokou hodnotu elektrického odporu, se nachází v produktech, které působí proti vzniku statické elektřiny nebo chrání před elektromagnetickými vlnami.

V další části jsou uvedena vlákna se specifickými vlastnostmi, kterými může být nízký odpor, vysoká flexibilita, vysoká pevnost či specifická technologie výroby.

2.5.1 Patent US 6957525B2

Je patent elektricky vodivého vlákna, které je složeno ze dvou základních prvků, oceli a mědi. Konkrétní elektricky vodivé vlákno může obsahovat: tři vlákna (1a,1b,1c) z nerez oceli AISI 316L každé z 275 vláken o průměru $12 \text{ }\mu\text{m}$ a jedno vlákno (2) z mědi o průměru $148 \text{ }\mu\text{m}$. Vlákna z nerez oceli AISI 316L mají rezistivitu $983 \text{ }\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{km}^{-1}$ a vlákno měděné má rezistivitu $17 \text{ }\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{km}^{-1}$. Elektricky vodivá příze získaná z těchto prvků má celkový elektrický odpor $1,2 \text{ }\Omega/\text{m}$. [12]



Obr 11: Vodivé vlákno. Převzato z [12]

Vodivé vlákno (2) má jádro (3) a plášť (4). Jádro může být vyrobeno z polyesteru obdélkového průřezu *Obr 11 b*) opláštěné měděným povlakem (4), nebo může být vodivé vlákno polyamidové kruhového průřezu *Obr 11 c*) ovrstvené stříbrem. Třetí možnost je vyrobit jádro i plášť z kovové slitiny například slitin mědi. [12]

Nejdůležitější patentové nároky: Lineární elektrický odpor příze v rozsahu 0,1 až 395 Ω /m. Obsahuje alespoň jeden podlouhlý prvek, který je (celý či má pouze plášť) z kovu nebo z kovové slitiny, která má nižší měrný elektrický odpor než vlákna z nerezové oceli o průměru menším než 35 μ m a větším než 0,5 μ m. Podlouhlý prvek reprezentuje více než 5 % objemu celkového vlákna, ne však více než 75 % objemu. [12]

Patent je platný do roku 2024, do kterého byl zaplacen udržovací poplatek, pouze v některých zemích, mezi které patří Belgie, Itálie, Francie, Maďarsko, Německo, Švédsko. [12]

2.5.2 R.STAT/S vlákna

Byla vyvinuta za účelem omezení vzniku statické elektřiny při možnosti aplikovat tkaniny obsahující tato vlákna v prostoru se zvýšenou teplotou. Vlákna jsou vyrobena z nerezové oceli a jejich průměr je mezi 8 a 22 μ m a dělá tato vlákna schopnými vytvořit textilie. Vlákna R.STAT/S jsou slitinou vodivých materiálů, nejběžnější je slitina AISI 316L, která obsahuje 68% Fe, 18% Cr, 12% Ni a 2% Mo. Odpor vlákna je v rozmezí 10 – 170 Ω /cm v závislosti na jemnosti vlákna. Vlákno si své vlastnosti dokáže uchovat při teplotě až 600 °C. [4]

Typické aplikace pro tato vlákna jsou filtrační systémy, ochranné oděvy, teplovodivé textilie, hořáky či těsnění.

Materiál vyhovuje 1. a 2. části normy EN 1149, která se zabývá ochrannými oděvy a jejich elektrostatickými vlastnostmi. Norma je blíže popsána v části 3.2.3 této diplomové práce. [4]

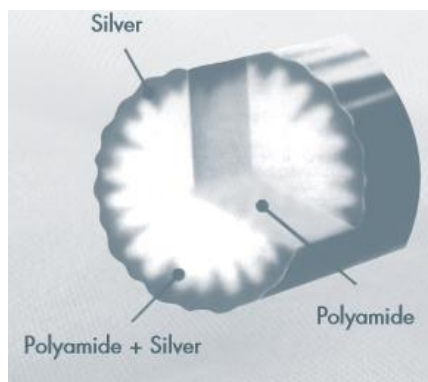
2.5.3 SilveR.STAT[®] vlákna

Vlákna SilveR.STAT jsou polyamidová vlákna s čistým stříbrem. Vlákno má polyamidové jádro ovrstvené stříbrem. Na rozhraní obou materiálů dochází k nepravidelnému prolnutí, jak je vidět na *Obr 12*. Díky jádru si vlákno udržuje vlastnosti charakteristické pro textilie a vodivost vlákna je dána stříbrem.

V dnešní době jsou nejčastější příklady použití tohoto vlákna na koberce, ochranné oblečení, nemocniční textil, filtrace, spodní prádlo či sportovní oblečení.

Tyto příklady použití vychází z jeho vlastností, jimiž jsou vodivost a antibakteriální účinky stříbra. Vlákná v oděvu zamezují tvorbě statické elektřiny a působí proti plísním a zápachům materiálu.

Odpor vláken SilveR.STAT je lineární s délkou a hodnota pro vlákno 6,7 dTex je v intervalu 10^0 až $10^3 \Omega/\text{cm}$. Materiál disponuje parametry vyhovující normě EN 1149 část 1 a 2. [4]



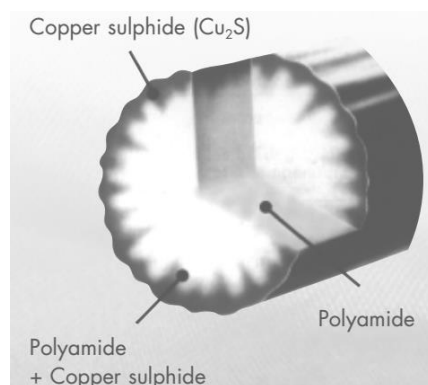
Obr 12: vlákno SilveR.STAT®. Převzato z [4]

2.5.4 R.STAT/N vlákna a R.STAT/P vlákna

Oba typy vláken jsou stejné po stránce konstrukce, pouze s rozdílem v materiálu jádra. Vlákno typu R.STAT/N má jako jádro polyamid Obr 13. Vlákno typu R.STAT/P je založeno na polyesterovém jádře.

Polyamidová vlákna s povlakem sulfidu měďného o tloušťce $0,2 \mu\text{m}$. Takto tenká vrstva neovlivňuje mechanické chování vlákna, které se stále chová jako textilní vlákno, ale zvyšuje hodnotu elektrické vodivosti a tím vlákno získává odpor $10^5 \Omega/\text{cm}$.

Textilní materiál obsahující vlákna R.STAT/N vyhovuje normě EN 1149 části 1. a 2. V dnešní době je vlákno aplikováno například v kobercích či pásových dopravnících. [4]



Obr 13: vlákno R.STAT/N. Převzato z [4]

2.5.5 ELITEX[®]

Vodivá vlákna z pokoveného polyamidu opláštěná vrstvou čistého stříbra (>99%). Vynikají svou dobrou zpracovatelností v textilních strojích.

Vlákna je možné rozdělit na dvě základní. ELITEX[®] a ELITEX[®] SC. Vlákna ELITEX[®] nejsou vhodná pro aplikace ve výrobcích, kde výrobek přichází do styku s lidskou pokožkou. Vlákna ELITEX[®] SC jsou naopak určena pro využití, kdy dochází ke styku výrobku a pokožky. SC v názvu vláken znamená Skin Contact. [23]

Tab 2: Specifikace vláken ELITEX[®]. Převzato z [23]

výrobek	SC		
	235/f34_PA/Ag	110/f34_PA/Ag	110/f34/2ply_PA/Ag
základní materiál	polyamid		
materiál pláště	stříbro čistoty > 99 %		
vláknenné složení	34 x 235 dtex	34 x 110 dtex	68 x 220 dtex
celková příze	450 dtex ± 10 dtex	220 dtex ± 10 dtex	440 dtex ± 20 dtex
vrstva stříbra	~ 1 μm		
elektrický odpor	20 Ω/m ± 10 Ω/m	70 Ω/m ± 20 Ω/m	20 Ω/m ± 10 Ω/m
pevnost v tahu	750 cN ± 50 cN	> 400 cN	> 700 cN
pevnost v tahu při zpracování	≤ 200 cN	≤ 150 cN	≤ 200 cN
prodloužení do přetrhu	15 – 20 %	10 – 20 %	10 – 25 %
bod tání	259 °C		
omyvatelnost	možnost prát při 30 °C za použití saponátu		
pájitelnost	za použití pájky s bodem tání pod 185 °C		

Tab 2 přehledně shrnuje vlastnosti vláken ELITEX[®] a ELITEX[®] SC, které mají hodnoty stejné. V tabulce je proto uveden pouze materiál ELITEX[®] SC. Názvy materiálů vychází z jejich složení, tedy materiál SC 110/f34_PA/Ag je možno použít ve styku s pokožkou, obsahuje vlákna o jemnosti 110 dtex, kterých je 34 v jedné přízi a materiál je polyamid (PA) a stříbro (Ag). Z tabulky lze vyčíst, že elektrický odpor příze, závisí kromě materiálu vlákna také na počtu vláken v přízi a konečné jemnosti příze. [23]

2.5.6 AmberStrand® fiber

AmberStrand elektricky vodivé vlákno je vlákno tvořené jádrem z materiálu Zylon® a ovrstvením z kovu. Kovy používané pro ovrstvení jsou nikl, měď nebo stříbro. Vlákno z materiálu Zylon® je sedmkrát pevnější než ocelové vlákno. Vodivá příze AmberStrand je tvořena 66, 166 nebo 332 vlákny. Příze vyniká svou nízkou hmotností, mechanickou pevností, trvanlivostí a elektrickou vodivostí. Elektrický odpor je u příze se 166 vlákny udáván výrobcem 1 Ω /stopu. Výrobce také udává možnost přizpůsobení hodnoty elektrického odporu dle potřeb zákazníka, pravděpodobně změnou počtu vláken v přízi. Přízi lze pájet. [50]

2.5.7 Liberator™ fiber

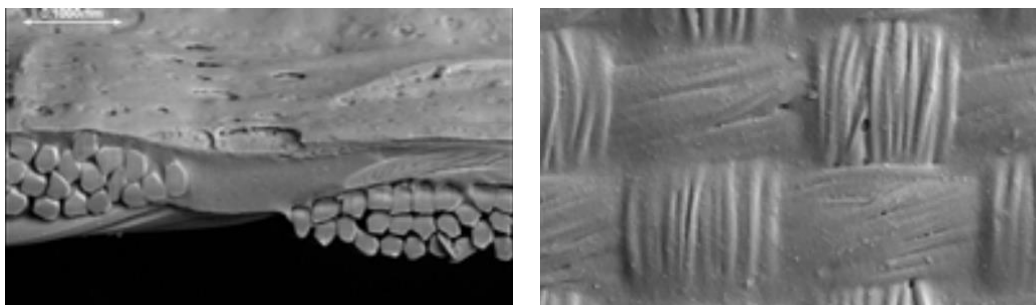
Struktura vláken Liberator je stejná jako u vláken AmberStrand. Nosné jádro je v tomto případě Vectran™. Vectran™ je vyroben z tekutých krystalů polymeru, je pětikrát pevnější než ocelové a má vysokou odolnost vůči teplotám (-80 až 350°C). Příze Liberator může být tvořena 20, 40 nebo 80 vlákny ovrstvenými niklem, mědí či stříbrem. Elektrický odpor příze s 40 vlákny je výrobcem udáván 1 Ω /stopu. Příze Liberator vyniká teplotní stabilitou a mechanickou pevností a pružností. [50]

2.5.8 Vodivá příze Shieldex®

Nylonová vlákna ovrstvená stříbrem. Výrobce udává, že vrstva stříbra na nylonovém vlákne neomezuje jeho mechanické vlastnosti. Vodivé příze mohou být vytvářeny točením jako u běžných nylonových přízí. Příze je výrobcem určena i pro použití ve smart textiliích. Stříbro, kterým je nylonové vlákno opatřeno, je vysoké čistoty (až 99 %). Z vláken Shieldex lze vytvořit různé příze o různém průměru a elektrickém odporu. Příze 110/24 dtex má udávaný elektrický odpor menší než 50 Ω /cm. [49]

2.5.9 Textilie potažená vodivými polymery

Ve studii [14] vytvořili vodivou textilií potažením polyesteru (110 g/m²) vodivými polymery a byl změřen povrchový odpor takto vytvořené textilie. Vodivé polymery obsažené v této studii jsou polyanilin, polypyrrole a polythiophene. Potažení bylo zpracováno metodou „knife-over-roll“ a výsledná textilie je zobrazena na Obr 14 v řezu a půdorysu.



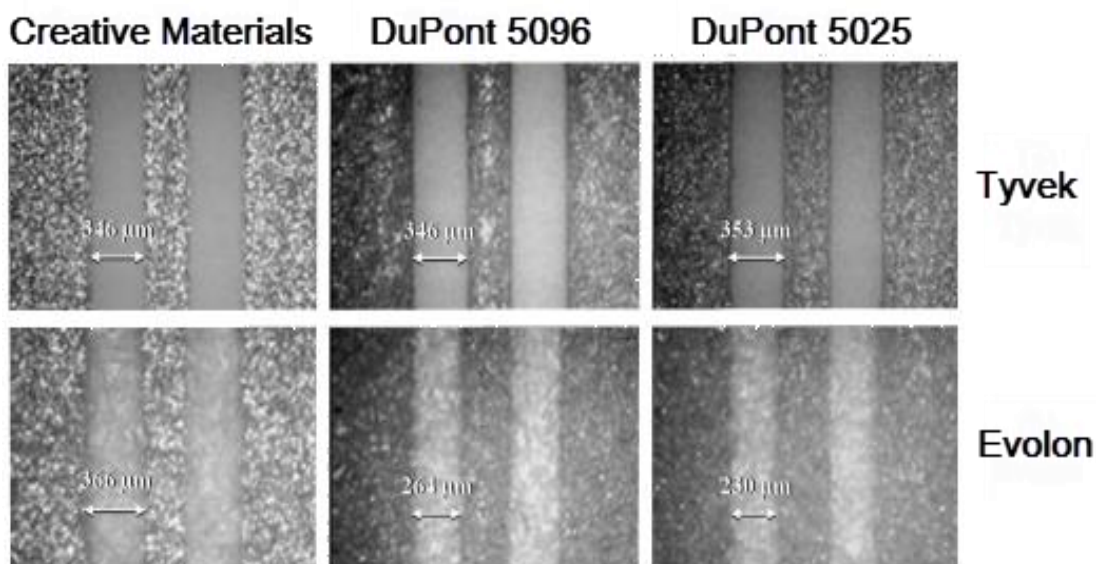
Obr 14: Textilie potažená vodivými polymery. Převzato z[14]

Výsledný povrchový odpor vodivé textilie je: [14]

- polyanilin $\sim 10^4 \Omega/\text{m}^2$,
- polypyrrole $\sim 10^8 \Omega/\text{m}^2$,
- polythiophene $\sim 10^{10} \Omega/\text{m}^2$.

2.5.10 Textilie opatřená vodivou vrstvou sítotiskem

Tým na Kalifornské Univerzitě vedený B. Karaguzem se zabýval vytvořením vodivých cest na substrátu z netkané textilie opatřené vrstvou elektricky vodivého inkoustu. Hlavní elektricky vodivá složka v inkoustu byla stříbro. Byly použity materiály Evolon[®], Tyvek[®] jako substráty a materiály DuPont 5025, DuPont 5096, Creative Materials CMI 112-15 jako elektricky vodivé inkousty. [16]



Obr 15: Textilie s vodivým stříbrem. Převzato z [16]

Hodnoty elektrického odporu materiálu jsou uvedeny v Tab 3. Hodnoty elektrického odporu jsou měřeny na vzorcích o délce 60 mm a šířce 1 mm.

Tab 3: Elektrický odpor vzorků. Převzato z [16]

	Evolon	Tyvek
<i>Creative Materials</i>	3,0 Ω	2,8 Ω
<i>DuPont 5025</i>	5,4 Ω	2,2 Ω
<i>DuPont 5096</i>	7,8 Ω	3,0 Ω

3 Normy a používané postupy

V této části diplomové práce budou popsány normy, ve kterých je dobré se orientovat při vytváření smart textilií. V odvětví nositelné elektroniky je vyvíjeno mnoho nových materiálů, které jsou testovány na důležité parametry. Absence norem pro smart textilie je hlavní příčinou možnosti testování různými způsoby. Je tedy možné, aby byla jedna vlastnost zkoušena mnoha způsoby a výsledné testy mohou být zavádějící. Například bude-li měřen elektrický odpor vodivého vlákna za určitých podmínek (teplota, vlhkost, natažení, deformace), budou výsledky stejného vlákna různé. Každý výrobce zveřejní výsledky testů, které jeho smart textilií ukáží v nejlepším světle. V některých případech tak není možnost nově vytvořené materiály seriózně porovnat.

Vytvoření postupů a norem, které budou všemi výrobci dodržovány, je důležitá část vývoje smart textilií, protože normy týkající se smart textilií dnes neexistují. Normy, které jsou popsány v následující části jsou z oblastí, které jsou smart textilií příbuzné, nebo se týkají vlastností, které jsou pro vývoj, výrobu a testování smart textilie důležité.

Součástí mé práce v této části je nastudování a popsání postupů, které jsou používány skupinami lidí, kteří se touto problematikou zabývají. Bohužel mnoho těchto vývojářů ve svých pracích neuvádí informace o konkrétních testovacích postupech a hodnotách, z tohoto důvodu zde většina studovaných postupů nemůže být uvedena.

3.1 Prostředí

Má-li být smart textilie či vodivé vlákno otestováno, je důležité, aby v laboratoři či jiném testovacím prostoru bylo standardizované prostředí. Vlhkost a teplota mají velký vliv na parametry zkoušeného materiálu.

3.1.1 ČSN EN ISO 139 a změna A1

Textilie. Normální ovzduší pro klimatizování a zkoušení.

Tato norma je platná od září 2005 a její změna A1 od ledna 2012. Předmětem normy je stanovení charakteristických hodnot ovzduší pro klimatizování zkoušených vzorků a zjišťování fyzikálních a mechanických vlastností textilií. Norma stanovuje dvě ovzduší pro zkoušení textilií. Normální ovzduší a alternativní normální ovzduší. Alternativní normální ovzduší je dále děleno na specifické normální ovzduší a tropické normální ovzduší. Použití jednoho z těchto ovzduší záleží na domluvě zúčastněných stran. [18][19]

Tab 4: Požadavky ovzduší pro zkoušení. Převzato z [18][19]

	teplota [°C]	relativní vlhkost [%]	toleranční pole	
			teplota a [°C]	relativní vlhkost [%]
normální ovzduší	20,0	65,0	± 2,0	± 4,0
specifické normální ovzduší	23,0	50,0	± 2,0	± 4,0
tropické normální ovzduší	27,0	65,0	± 2,0	± 4,0

3.1.2 ČSN IEC 721-2-1

Klasifikace podmínek prostředí. Část 2: Podmínky vyskytující se v přírodě. Teplota a vlhkost vzduchu.

Tato norma slouží pro výrobce, kteří chtějí parametry výrobku přizpůsobit určitému prostředí, ve kterém se bude výrobek používat. Obsahuje především hodnoty teploty a vlhkosti vzduchu. V Tab 5 jsou uvedeny extrémní hodnoty průměrných denních hodnot teploty a vlhkosti vzduchu pro jednotlivé typy klimatu. Norma obsahuje další tabulky hodnot, ze kterých může výrobce při navrhování výrobků vycházet, například absolutní extrémní hodnoty pro jednotlivá klimata.

Norma ČSN IEC 721-2-1 není navržena přímo pro textilie nebo pro elektroniku.

Tab 5: Extrémní hodnoty denní průměrné teploty a vlhkosti vzduchu. Převzato z [20]

typ klimatu	nejnižší teplota [°C]	nejvyšší teplota [°C]	nejvyšší absolutní vlhkost [g/m ³]
velmi studené	-55	26	14

<i>studené</i>	-45	25	12
<i>chladné</i>	-29	29	15
<i>mírné</i>	-15	30	17
<i>teplé suché</i>	-10	35	20
<i>horké suché</i>	0	35	22
<i>velmi suché</i>	8	43	24
<i>horké vlhké</i>	12	35	27
<i>horké vlhké vyrovnané</i>	17	33	30

3.2 Elektrická vodivost a elektrický odpor

Elektrická vodivost je vlastnost především kovů. V textilním průmyslu je využívána elektrická vodivost především pro zjištění elektrostatických vlastností výrobku.

3.2.1 ČSN 42 0475

Zkoušení kovů. Stanovení měrného elektrického odporu a vodivosti.

Norma platná od 1. 1. 1984 stanovuje specifikace vzorků pro měření, měřicí přístroje, postup měření a obsah protokolu pro měření elektrického odporu vzorku. Měrný elektrický odpor, elektrická vodivost a měrná elektrická vodivost jsou dopočítány.

Elektrický odpor může být měřen pomocí můstkových metod, automatickým zařízením pro měření odporu, metodou s číslicovým voltmetrem a přesným etalonovým odporem. Lze použít i jiné metody za podmínky dosažení přesnosti měření 0,1 % měřené hodnoty.

Měření musí být provedeno na jednom vzorku dvakrát, přičemž směr proudu při druhém měření musí být reverzován. Elektrický odpor vzorku je poté určen jako aritmetický průměr obou měření.

Protokol o měření musí obsahovat i teplotu, za které bylo měření prováděno. Vychází se z předpokladu, že teplota by měla být 20 °C. Při měření při jiných teplotách je potřeba hodnotu elektrického odporu přepočítat. [22]

3.2.2 ČSN 80 0059

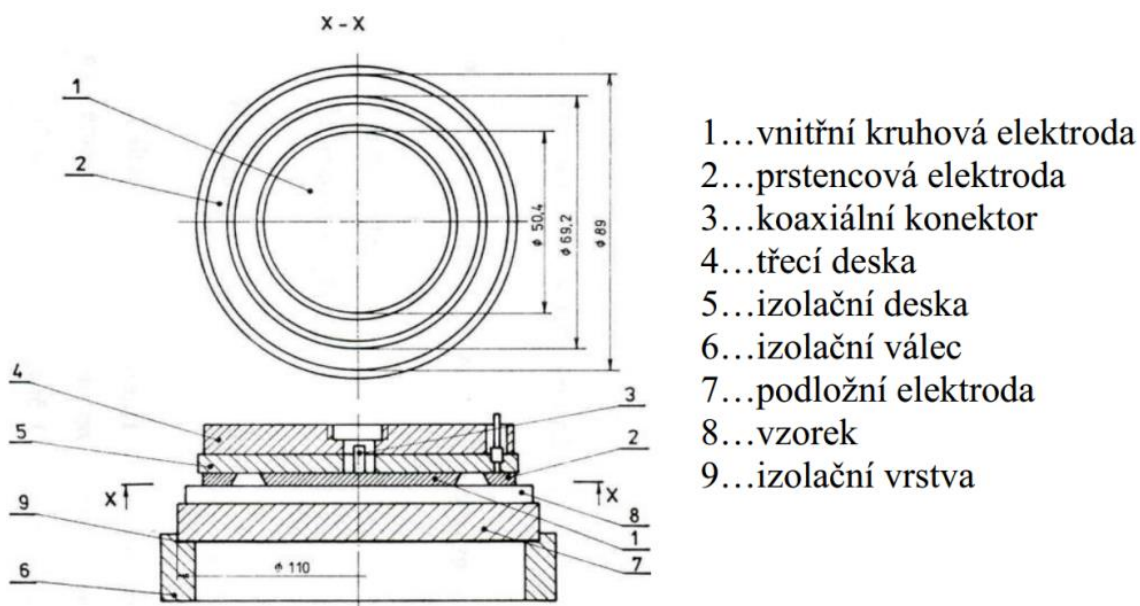
Textilie. Stanovení elektrického odporu.

Norma platná od 1. 9. 1985 stanovuje postup pro měření a výpočet rezistivity délkových textilií a měření povrchového a průchozího elektrického odporu plošných textilií. Norma uvádí nevhodnost použití pro kovová či pokovená vlákna.

Klimatické podmínky jsou určeny na teplotu $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, relativní vlhkost vzduchu může nabývat dvou hodnot $40 \pm 2\%$ nebo $65 \pm 2\%$.

Pro měření elektrického odporu délkových textilií se použije ohmmetr s rozsahem do $10^{14}\Omega$. Doporučené měřící napětí je stejnosměrné 100 V. Použije se dvouelektrodový systém s měřící komůrkou tvaru kvádrů o rozměrech $60 \times 20 \times h$ mm ($h = 40, 50, 60$ mm). Elektrody se dokonale očistí před každým měřením čisticím prostředkem. Po oschnutí se zkontroluje hodnota elektrického odporu systému bez vzorku, následně může být provedeno měření. Hodnota je odečtena 60 s po přiložení napětí.

Pro měření povrchového a průchozího elektrického odporu plošných textilií se použije tříelektrodový koncentrický systém. Po očištění a oschnutí systému je provedeno měření průchozího elektrického odporu a povrchového elektrického odporu. Počet vzorků je 4. Není-li možné použít 4 různé vzorky, použije se jeden vzorek pro 4 různá měření. Hodnota odporu se vypočte jako aritmetický průměr. Odlišnost jednotlivých výsledků musí splňovat podmínku, že podíl maximální hodnoty a minimální hodnoty $< 3,2$. Není-li podmínka splněna, musí se měření opakovat. [21]



Obr 16: Tříelektrodový koncentrický systém. Převzato z [21]

3.2.3 ČSN EN 1149-1

Ochranné oděvy - Elektrostatické vlastnosti - Zkušební metoda pro měření povrchového měrného odporu.

Zkušební metoda dle této normy spočívá v umístění testovaného vzorku na izolační podložku, připojí se k němu soustava elektrod a změří se elektrický odpor textilie. Metodu lze aplikovat pouze pro plošné textilie.

Soustava elektrod je stejného uspořádání jako na *Obr 16*. Při měření bez vzorku musí být izolační odpor větší než $10^{14} \Omega$. Elektrody jsou stejně jako v normě ČSN 80 0059 čisti vhodným čisticím prostředkem.

Izolační podložka musí být z materiálu o tloušťce v rozmezí 1 až 10 mm a její povrchový odpor nejméně $10^{14} \Omega$. Izolační podložka musí být umístěna na uzemněném vodivém povrchu. Izolační podložka je čisticím prostředkem očištěna také. [31]

Použitý ohmmetr musí mít rozsah 10^5 až $10^{14} \Omega$ a přesnost 5 % pro hodnoty nižší než $10^{12} \Omega$ a přesnost 20 % pro hodnoty vyšší než $10^{12} \Omega$. [31]

Ze zkoušeného materiálu se vystřihne pět zkušebních vzorků. Rozměry musí být větší než plocha elektrod a menší než izolační destička. Lze zkoušet i hotové výrobky, které nelze rozstříhat a to na pěti různých místech. Vzorek či zkoušené místo nesmí obsahovat švy.

Vzorky musí být klimatizovány nejméně 24 hodin a zkoušky musí být provedeny v ovzduší o teplotě $23 \pm 1^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti vzduchu $25 \pm 5 \%$. [31]

Na začátku zkoušky se vždy provede zkušební měření bez zkoušeného vzorku, jestli prostředí odpovídá dle parametrů uvedených v předchozích odstavcích.

Vzorek je vystaven zkušebnímu elektrickému napětí $100 \pm 5 \text{ V}$ a hodnota odporu se odečte 15 sekund po přiložení napětí. Je-li odpor menší než $10^5 \Omega$, může být použito nižší napětí, za podmínky uvedení v protokolu.

Povrchový měrný odpor se vypočte pro každý z pěti vzorků: [31]

$$\rho = k \cdot R \quad [\Omega] \quad (10)$$

kde:

- ρ vypočtený povrchový měrný odpor,
- R naměřený odpor,
- k geometrický součinitel elektrody.

Z pěti hodnot povrchového měrného odporu je vypočten geometrický průměr, který určí hodnotu povrchového měrného odporu testovaného materiálu. [31]

3.2.4 Použitý postup měření uskutečněný B. Karaguzelem a společníky

Materiály použité při tomto výzkumu jsou blíže popsány v kapitole 2.5.10. Elektrický odpor byl měřen přístrojem Fluke 77/BN. Vzorkem byly natištěné elektricky vodivé cesty o rozměrech 60 x 1 mm na textilním substrátu. Vzorky byly namáhány pracími cykly a hodnoty elektrického odporu zaznamenávány před a po pracím cyklu. [16]

3.2.5 Použitý postup měření elektrického odporu samostatných vláken

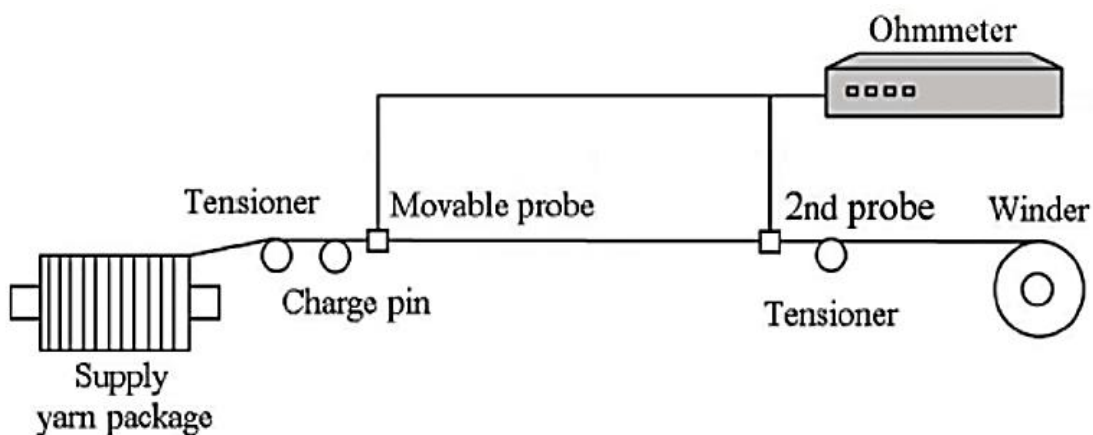
S. Rebouillat a M. Lyons se zabývali měřením elektrického odporu vláken určených k vedení elektrického proudu.

Na Obr 17 je schématické znázornění měření elektrického odporu jednoduchého vlákna. Vláknem je zavěšeno mezi napínáky, aby bylo nataženo. Elektrický odpor je měřen sondami, jedna má pevnou pozici, značí 0, druhá je pohyblivá ve vzdálenosti x . Elektrický odpor se poté zjistí ze vztahu: [24]

$$R = \frac{\rho x}{A} = \frac{4\rho}{\pi d^2} x \quad (11)$$

kde:

- A obsah plochy kruhu (vláknem kruhového průřezu),
- ρ rezistivita,
- d průměr vlákna.

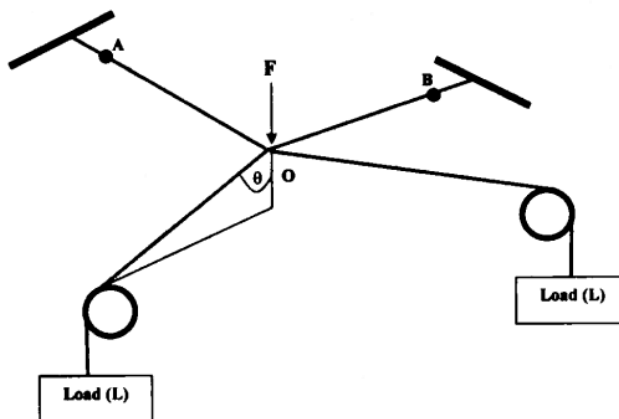


Obr 17: Schématické znázornění měření odporu vlákna.

Převzato z[24]

3.2.6 Použitý postup měření elektrického odporu spojených vláken

Tým kolem A. Dhawana z Univerzity v Severní Karolíně zjišťoval elektrický odpor vláken překřížených bez dalšího spojení (pouze fyzický kontakt bez pájení či svařování) a vláken spojených odporovým svařováním. Podrobnosti o odporovém svařování a jeho výsledcích v této diplomové práci nebudou z důvodu redundance uvedeny, ale metoda měření elektrického odporu bude zmíněna z důvodu možného použití při měření samostatných vláken.



Obr 18: Měření odporu překřížených vláken.

Převzato z [25]

Elektrický odpor byl měřen dle znázornění na Obr 18. Použitý přístroj pro měření byl multimetr HP 3478A. Hodnota byla odečtena 4 minuty po připojení sondy k měřenému vzorku. [25]

3.3 Odolnost v ohybu

3.3.1 ČSN 80 0858

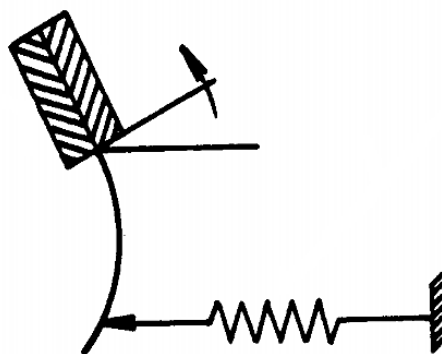
Zkoušení tuhosti a pružnosti plošných textilií.

Norma stanovuje zkušební postup pro měření tuhosti a pružnosti na vzorcích plošných textilií. Pro provedení zkoušky je potřeba přístroj na měření tuhosti, stopky a pinzeta. Vzorků je pro zkoušku odebráno 24, z toho 12 z lícové strany a 12 ze strany rubové, z nich vždy 6 podélně a 6 napříč materiálem. Z každé šestice vzorků se použije vždy jeden pro předběžnou zkoušku, kterou se stanoví rozsah citlivosti přístroje. Rozměry vzorků 25 x 50 mm. [28]

Při měření tuhosti je vzorek upnut do čelistí přístroje za pomoci pinzety, aby se horní okraj vzorku kryl s horním okrajem čelisti. Vzorek je upnut měřenou stranou k čidlu. Vzorek se svým volným koncem dotýká čidla přístroje. Při zahájení

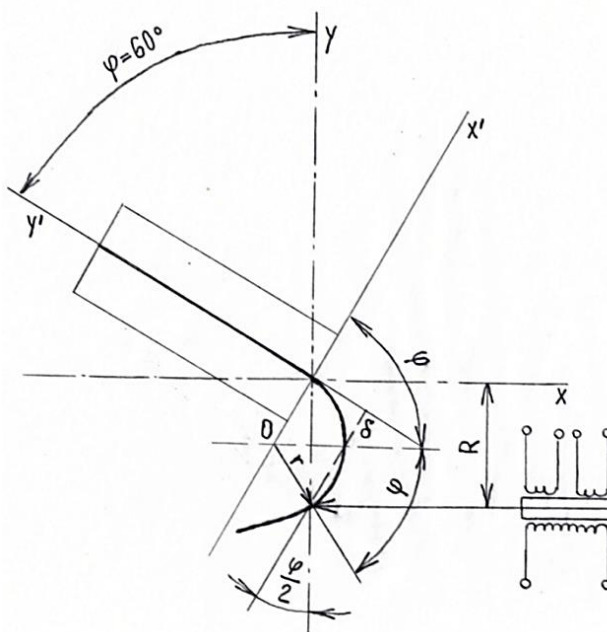
testu je vzorek ohnut otočením čelisti do výchylky 60° kde je automaticky zastaven. Odečte se síla ze stupnice s přesností na 0,5 dílku. [28]

Při měření pružnosti se měření opakuje se stejným vzorkem stejným způsobem. Navíc jsou při zapnutí přístroje spuštěny stopky. Sleduje se čas od zapnutí přístroje do vychýlení ukazatele z nulové polohy. [28]



Obr 19: Znázornění zapojení přístroje pro měření tuhosti.

Převzato z [28]



Obr 20: Schéma funkční části přístroje pro měření tuhosti.

Převzato z [28]

3.3.2 ČSN 64 7029

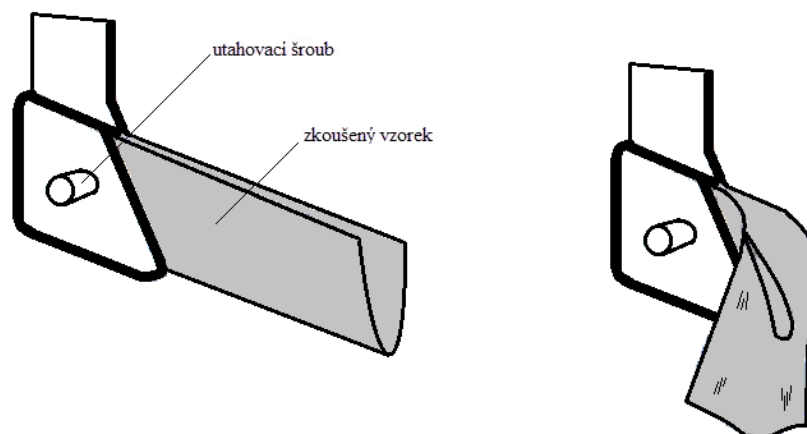
Zkoušení syntetických usní. Stanovení odolnosti proti opakovanému ohybu.

Norma stanovuje odolnost materiálu při opakovaném ohybu a hodnotí materiál z obou stran, tedy strany rubové i lícové.

Okolní podmínky při zkoušce mohou být laboratorní nebo snížená teplota. Teplota laboratorní je stanovena na 23 ± 2 °C, relativní vlhkost vzduchu na 50 ± 5 % a doporučené počty ohybů: 5, 10, 20, 50, 100, 150, 200 tisíc. Snížená teplota 0, -5, -10, -15, -20, -25, -30 °C ± 2 °C, doba klimatizování musí být větší než 15 minut a doporučené počty ohybů: 2 000, 5 000, 10 000, 20 000, 50 000 a 100 000. [32]

Přístroj využívaný v této metodě se nazývá flexometr, má dvě čelisti - spodní pevnou a horní pohyblivou, která vůči spodní vykonává vratný kruhový pohyb s maximální výchylkou $22,5$ ° a frekvencí pohybů 100 ± 5 /min. Čelisti flexometru jsou od sebe vzdáleny 25 mm. Další nástroje potřebné pro provedení testu jsou lupa zvětšující alespoň 6krát, vybavená měřítkem, délkové měřítko se stupnicí s rozlišením alespoň 1 mm a chladicí zařízení pro zkoušky do -30 °C s potřebnou přesností. [32]

Vzorky 70 x 45 mm jsou odebrány ze zkoušeného materiálu vyseknutím. Tři v podélném směru a tři v příčném směru. Měřený vzorek je přeložen na polovinu podle osy delší strany a lícová část je uvnitř. Upnutí vzorku je provedeno při horní mezní poloze horní upínací části flexometru. Nejprve se vzorek upne do horní čelisti tak, aby osa, dle které byl přehnut, byla vodorovná se základnou flexometru (Obr 21). [32]



Obr 21: Upínání vzorku. Převzato z [32]

Volná část vzorku je přehnuta dolů, složena rubovou stranou dovnitř a upnuta do spodní čelisti flexometru.

Testování při laboratorní teplotě začíná nastavením počítadla na nulu a spuštěním flexometru. Ten musí být po určitém počtu cyklů zastaven a vzorek je poté kontrolován.



Obr 22: Zkušební vzorek upnutý ve flexometr. Převzato z [48]

Testování při snížené teplotě - vzorek je nejprve klimatizován upnutý v čelistech přístroje 15 minut, poté probíhá zkouška stejně jako v předchozím odstavci. [32]

Vzorek je po provedení testu kontrolován z rubové i lícové strany. Hodnocení zkoušky probíhá vizuálně za pomoci lupy. Posuzuje se pouze zkoušená část, ne části upnuté v čelistech flexometru. Vzorek je při hodnocení možné ohýbat rukama. Vyskytují-li se na vzorku trhliny, měří se jejich délka, případně hloubka. Při hodnocení vícevrstvého materiálu je možné měřený vzorek rozříznout pro zjištění poškození některé z vnitřních vrstev, nebo možného oddělení jednotlivých vrstev. Hodnocení se do protokolu o zkoušce udává zvlášť pro lícovou a zvlášť pro rubovou stranu. [32]

3.3.3 ČSN EN ISO 32100 (80 0894)

Textilie povrstvené pryží nebo plasty: Fyzikální a mechanické zkoušky - Stanovení odolnosti v ohybu flexometrickou metodou.

Norma má stejný testovací postup jako norma ČSN 64 7029 popsaná v odstavci 3.3.2 této práce, norma tuto skutečnost ve svém textu neuvádí.

Rozdíl je v hodnocení výsledků. Předpokládá se, že je testována pouze jedna strana textilie. Hodnocená strana je při přeložení brána jako lícová strana, přesnější postup je uveden v ČSN 64 7029. V hodnocení je tedy popisována pouze jedna strana testovaného vzorku. [36]

3.3.4 ČSN EN 1735 (80 0859)

Textilie povrstvené pryží nebo plasty - Zjišťování ohebnosti.

Norma stanovuje dvě metody pro zkoušení materiálů, metodu ploché smyčky a metodu délky ohybu.

Norma je platná pro povrstvené plošné textilní materiály. Neplatí pro textilie, které se při nastříhání na menší kousky kroutí a pro příliš tuhé textilie.

Metoda ploché smyčky.

Ze zkoušeného obdélníkového vzorku je vytvořena smyčka. Smyčka vznikne na vodorovné ploše překrytím konců vzorku. Ohebnost zkoušeného materiálu je dána výškou smyčky. [37]

Pro metodu ploché smyčky jsou použita následující zařízení: plochá obdélníková deska dostatečných rozměrů s upínacím mechanismem, ocelová tyč z korozivzdorné oceli (délka 200 mm a čtvercový průřez se stranou 20 mm), délkové měřítko s rozlišením v mm. Zařízení je znázorněno na Obr 23.



Obr 23: Schematické znázornění metody ploché smyčky. Převzato z [37]

Testovaný vzorek musí být před zkouškou klimatizován po dobu 24 hodin. Vzorek musí ležet na vodorovné podložce a nahoru musí směřovat strana, která bude při testu vně smyčky. Vzorek má rozměry stanoveny na 600 ± 5 mm x 100 ± 2 mm. Použijí se tři vzorky získané v podélném směru textilie a tři v příčném směru. [37]

Povrch desky je posypán mastkem. Jeden konec vzorku je upnut k desce. Druhý konec vzorku je umístěn na první konec, čímž vznikne smyčka a opět je upnut. Na upnuté konce se položí ocelová tyč. Změří se maximální výška smyčky po 5 minutách. Z naměřených výsledků se vypočte aritmetický průměr. [37]

Metoda délky ohybu.

Testovaný vzorek obdélníkového tvaru je posunován po přípravku (Obr 24) pro měření ohybu. Vzorek je posunován po vodorovné části směrem k části

s nakloněnou rovinou. Po dostatečném posunutí se vzorek ohne. Délka ohybu je stanovena na měřítku.



Obr 24: Přípravek pro měření ohybu. Převzato z [51]

Nakloněná rovina má úhel $41^{\circ} 30' \pm 30'$ pod vodorovnou rovinou. Vzorek je klimatizován nejméně 24 hodin a zkouška se provádí v prostředí, ve kterém byl vzorek klimatizován. Při klimatizování platí stejné podmínky jako při předchozí metodě, nahoru směřuje strana, která bude při zkoušce směřovat vzhůru. [37]

Vzorky mají šíři 25 ± 1 mm a délka není přesně stanovena, musí být dostatečně dlouhé, aby bylo test možné provést. Vzorků je 10 v podélném a 10 v příčném směru. Vzorek je umístěn mezi plošinu a testovací měřítko tak, aby nula na měřítku byla na konci testovaného vzorku. Vzorek je posunován, dokud se nedotkne nakloněné roviny, zkouška trvá přibližně 10 s. 10 vzorků v podélném směru je testováno systémem 5 vzorků na rubovou stranu a 5 vzorků na lícovou stranu. Z výsledků se vytvoří aritmetický průměr. [37]

3.3.5 ČSN EN ISO 7854 (80 4621)

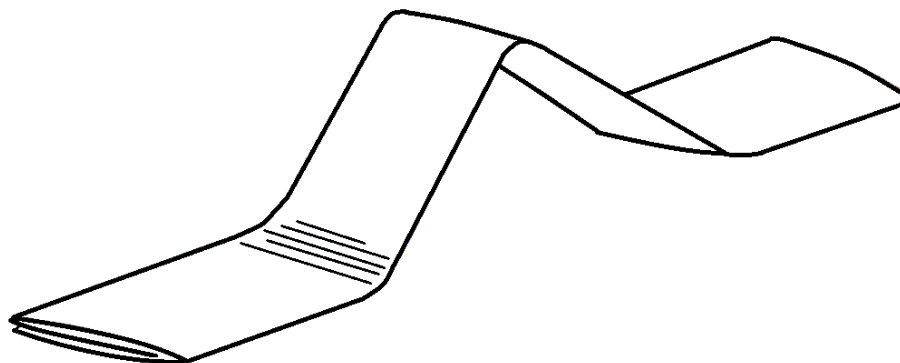
Textilie povrstvené pryží nebo plasty - Zjišťování odolnosti proti poškození ohybem.

Norma stanovuje tři zkušební metody pro zkoušení odolnosti povrstvených textilií proti namáhání v ohybu. Mezi těmito třemi metodami není možnost výsledky porovnávat.

I. Metoda podle De Mattii.

Testované vzorky mají stanovené rozměry 125 mm x 37,5 mm. Vzorky jsou odebrány tři v podélném směru textilie a tři v příčném směru. Vzorek je pro zkoušku potřeba složit. Složení vzorku je stanoveno podél pomyslných přímek, které jsou rovnoběžné s delší stranou vzorku. Vzorek dělí na třetiny dvě přímkami, které jsou

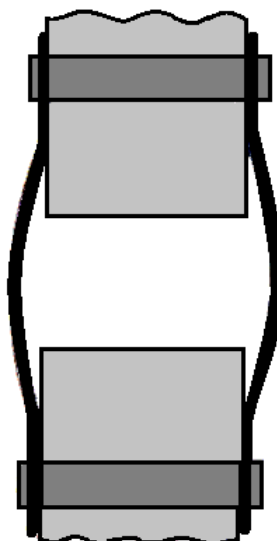
vzdáleny 12,5 mm od kraje a 12,5 mm od sebe. Povrstvení vzorku je na vnější straně. Složený vzorek je upnutý do svorek stroje. Svorky se vůči sobě ručně nastaví do takové vzdálenosti, aby zkoušený vzorek vytvořil přibližně ve svém prostředku záhyb. Zařízení je poté uvedeno do pohybu a vykoná stanovený počet cyklů. Stanovený počet cyklů je rozdělen na intervaly, ve kterých je vzorek kontrolován. Test může být ukončen dříve, než je stanovený počet ohybových cyklů, jeví-li vzorek známky poškození. [38]



Obr 25: Složený vzorek ve stavu, ve kterém je upnut. Převzato z [38]

II. Metoda podle Schildknechta.

Zkušební přístroj je složen ze dvou kovových válců o průměru $25,4 \pm 0,1$ mm. Jedním z válců je při zkoušce pohybováno ve směru osy válců, druhý válec je statický. Rozsah pohybu válce je $11,7 \pm 0,35$ mm. Vzorky (105 x 50 mm) jsou odebrány v podélném a příčném směru, vždy po třech.



Obr 26: Schéma funkční části zkušebního stroje. Převzato z [38]

Zkoušený vzorek je upnut na válce povrstvenou stranou směrem ven. Při upínání jsou válce nejdále od sebe. Vzorky jsou při zkoušce drženy na svém místě svorkami. Zařízení je spuštěno a po stanoveném počtu cyklů zastaveno. [38]

III. Metoda mačkání/ohýbání.

Zkušební zařízení se skládá ze dvou pohyblivých kotoučů umístěných v jedné ose. Prostor mezi nimi tvoří pomyslný válec. Jejich vzdálenost je při maximální poloze 152,4 mm. Kotouče mají ve svém průměru 63,5 mm (v místě, kam se upínají vzorky). Oba kotouče vykonávají při zkoušce pohyb, každý jiný. Jeden kotouč se pohybuje po ose kotoučů se zdvihem 70 mm a rychlostí 152 stlačení/min. Druhý kotouč vykonává pouze otáčivý pohyb v rozsahu 90°, rychlostí 200 zkroucení/min.



Obr 27: Vzorek upnutý ve zkušebním zařízení. Převzato z [43]

Z ověřovaného materiálu se vyberou dva testovací vzorky. Jeden vzorek podél, druhý napříč z pohledu ověřovaného materiálu. Rozměry vzorků jsou 220 x 190 mm. Vzorek musí být před zkoušením upraven sešitím a vytvoří zmíněný pomyslný válec, vnitřní průměr válce je 64 mm. Vnější strana vzorku je stranou povrstvenou. Při upínání vzorku je třeba zajistit, aby kotouč, jenž vykonává rotující pohyb, byl uprostřed svého cyklu (mohl se otočit 45° doprava a 45° doleva) a šev na vzorku musí být v přímce se středem kotouče (z důvodu zabránění prověšování vzorku). Po upevnění vzorku je zařízení spuštěno na určitý počet cyklů. Ve stanovených intervalech se zkouška přeruší a vzorek se překontroluje. [38]

Výsledky zkoušek jsou vyjádřeny na celočíselných stupnicích. Hodnotí se: tvoření ohybových trhlin, hloubka trhlin, délka trhlin, počet trhlin, oddělení vrstev.

K hodnocení se použije lupa se zvětšením 10 krát a měřítkem. Je možné použít mikroskop odpovídajícího zvětšení. [38]

3.4 Pevnost v tahu

3.4.1 ČSN EN ISO 5079 (80 0200)

Textilie – Vlákna - Zjišťování pevnosti a tažnosti jednotlivých vláken při přetrhu.

Norma stanovuje metodu a podmínky zkoušení pevnosti a tažnosti při přetrhu jednotlivých vláken. Norma stanovuje hodnoty pro vlákna suchá i vlhká.

Podstata zkoušky spočívá v namáhání textilního vlákna při konstantní rychlosti prodloužení. Měřené hodnoty jsou pevnost a prodloužení vlákna.

Zařízení potřebná k vykonání zkoušky.

Přístroj pro zkoušení pevnosti, který má vhodné svorky k upevnění samotných vláken. Zařízení pro záznam hodnot síly a délky a doporučuje se zařízení pro vykreslení grafu. Důvodem je, že z grafu je možno odečíst případné prokluzování vlákna v čelistech přístroje. Přesnost přístroje musí být nižší než 1 % při určení síly, 0,1 mm při určení délky, 5 % při pohybu čelistí přístroje konstantní rychlostí. Čelisti přístroje nesmí nijak poškodit vlákno a musí zajistit pevné uchycení bez prokluzu. Při provádění zkoušky za vlhkého stavu musí být k dispozici destilovaná nebo deionizovaná voda o teplotě 20 ± 2 °C s přidaným neionogenním smáčecím prostředkem (max. 0,1% obj.). [30]

Ovzduší pro klimatizaci testovaných vzorků a provádění zkoušky musí odpovídat normě ČSN EN ISO 139 blíže popsané v odstavci 3.1.1.

Při zkoušce se přístroj nastaví dle průměrné tažnosti vzorků při přetrhu. Je-li průměrná tažnost při přetrhu nižší než 8 %, nastaví se 50 % prodloužení za minutu. Je-li průměrná tažnost při přetrhu vyšší než 8 %, nastaví se 100 % prodloužení za minutu. U nově testovaných materiálů se předpokládá neznalost průměrné tažnosti při přetrhu, a proto jsou provedeny předběžné zkoušky, ze kterých je hodnota zjištěna. [30]

Testované vlákno je upnuto do svorek zkušebního stroje. Je-li potřeba vlákno upnout v předpětí, použije se závaží zavěšené na vlákno. Délka testovaného vlákna je stanovena na 20 mm a těchto vzorků se zkouší alespoň 50 kusů. Po provedení zkoušky se zaznamená tažnost vlákna, tržná síla a počet přetrhů ve svorce (k přetržení vlákna došlo za hranou svorky a konec vlákna není viditelný). Počet

přetrhů ve svorce musí být nižší než 20 %. Hodnoty při přetržení vlákna ve svorce a hodnoty, při kterých docházelo k prokluzu, jsou z výsledného souboru hodnot vyloučeny. [30]

Při provádění mokré zkoušky se zkoušený vzorek ponoří do vody po dobu 2 minut. Po vyjmutí se vzorek upne do horní svorky a za pomoci nádoby s vodou je ještě dalších 10 sekund vlhčen. Po odstranění nádoby se upne vzorek do spodní svorky přístroje a upnutý vzorek a spodní svorka se ponoří do vody. Horní svorka se nesmí dotýkat hladiny vody a přístroj se uvede do chodu.

Z naměřených platných hodnot se vypočítají aritmetické průměry. [30]

3.4.2 ČSN EN ISO 2062 (80 0700)

Textilie - Nitě na návinech - Zjišťování pevnosti a tažnosti jednotlivých nití při přetrhu pomocí přístroje s konstantní rychlostí prodloužení (CRE).

Norma uvádí čtyři testovací postupy (A, B, C, D) pro nitě odebrané z návínů, ale po dohodě zainteresovaných stran může být použita i pro nitě, které jsou odebrány z plošných textilií.

Zkouška je vykonána na přístroji s konstantní rychlostí prodloužení, který umožňuje nastavení upínacích délek 500 mm a 250 mm. Rychlost prodloužení 100 % upínací délky/min.

Zkoušený vzorek je upnut svorkami, které zabraňují prokluzování vzorku a vzorek nepoškozují. Běžně jsou používány svorky:

- s hladkými plochami bez vložek (nepoškozují vzorek),
- s čelistmi s vložkami (zabraňují prokluzu),
- kruhové svorky.

Použitý typ svorek musí být uveden v protokolu o zkoušce. [44]

Norma stanovuje povinnost odzkoušet minimálně 50 zkušebních vzorků pro jednoduché nitě a alespoň 20 vzorků u ostatních nití.

Ovzduší pro klimatizování vzorků musí odpovídat normě ČSN EN ISO 139. Pro postupy A, B, C jsou vzorky klimatizovány minimálně 4 hodiny. U vzorků pro postup zkoušky D není klimatizování vyžadováno.

Zkušební vzorek, odebraný z návínu, je vložen do svorek přístroje s předpětím 0,5 cN/tex u klimatizovaných vzorků, nebo s předpětím 0,25 cN/tex u mokrých zkušebních vzorků (metoda D). Jsou-li vzorky odebrány z plošné textilie, stanoví se předpětí takové, aby bylo odstraněno zkadeření nití, ale nezpůsobilo napětí nitě.

Při zkoušce je kontrolováno upevnění nitě v čelistech, nesmí se vysunout o více než 2 mm. Pokud dochází k vysunutí u více zkoušených vzorků, musí být vyměněny čelisti za jiný typ.

Výsledek je považován za neplatný, jestliže v čelistech došlo k přetrhu ve vzdálenosti menší než 5 mm od čelisti. Počet výsledků zamítnutých z tohoto důvodu je zaznamenán. Zaznamenané výsledky zkoušky jsou tržná síla a tažnost při přetrhu.

Postup A – Ruční: Testovaný vzorek je odebrán z klimatizovaných návinů a vložen do čelistí přístroje ručně.

Postup B – Automatický: Testovaný vzorek je odebrán z klimatizovaných návinů. Příklad je nastaven, aby byly odebírány testované vzorky z 10 nebo 20 návinů. Zkouška je provedena automaticky.

Postup C – Ruční pro klimatizované zkušební vzorky: Za pomoci odvíjecího zařízení je z každého návinu odebráno zkušební pásmo dostatečné délky pro odebrání testovacích vzorků. Zkušební pásmo je klimatizováno v celku.

Postup D – Ruční pro mokré zkušební vzorky: Jsou připravena zkušební pásma jako v postupu C, která jsou ovinuta silnou nití na dvou místech ve vzdálenosti 2 cm od sebe a konce nití jsou pevně svázané. Pásmo je poté přestřiženo mezi svázanými místy a položeno na předem připravenou vodní hladinu. Předpokládá se samovolný pokles vlákna pod hladinu. Nítě se musí zcela nasáknout vodou. Zkušební vzorky jsou poté jednotlivě vyjímány z vody a zkouška musí proběhnout do 60 s od vynoření vzorku.

3.4.3 ČSN EN ISO 1421 (80 4627)

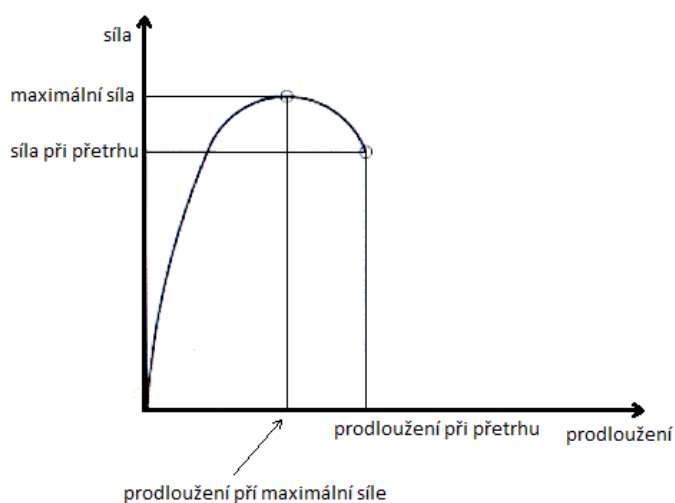
Textilie povrstvené pryží nebo plasty. Stanovení pevnosti a tažnosti.

Norma je dostupná pouze v anglickém jazyce. Norma popisuje dvě metody měření plošných textilií. Metodu strip, kterou je možno použít pro měření pevnosti v tahu i prodloužení do přetržení a metodu grab, kterou lze použít pouze pro pevnost v tahu. Obě metody pro provedení vyžadují testovací stroj s konstantní rychlostí prodloužení. Norma stanovuje postup pro suché vzorky a zároveň pro testování vlhkých textilií.

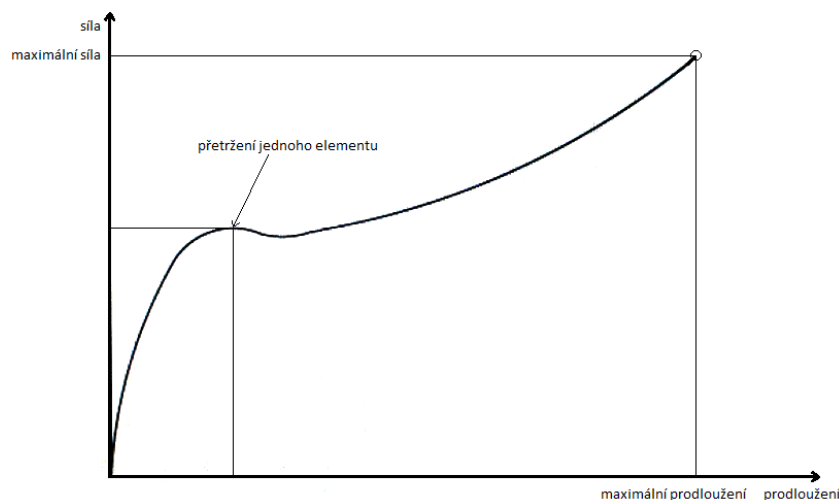
Norma stanovuje přesnost použitého testovacího stroje na 1 % pro stanovení síly, 1 mm pro stanovení délky a 5 % pro rychlost posuvu čelistí stroje. Zaznamenávání výsledků musí probíhat nejméně osmkrát za sekundu. [29]

Metoda strip. Vzorky musí být odebírány jak v podélném, tak v příčném směru z testovaného materiálu. Vzorků musí být v každém směru odebráno minimálně pět. Rozměry vzorků musí být $50 \pm 0,5$ mm x 200 ± 1 mm. Delší rozměr je měřen mezi svorkami, musí být brán v úvahu rozměr pro uchycení vzorků. Dosáhne-li prodloužení 75 %, je možné použít délku vzorku 100 ± 1 mm. Testovaný vzorek je uchycen do čelistí přístroje volně, nebo maximálně s 5 % předpětím. Zahájení testu spočívá v uvedení zaznaménávacího zařízení do provozu a poté spuštění čelistí. Čelisti se pohybují, umožňuje-li to zařízení, rychlostí 100 ± 10 mm/min. Z výsledků každých pěti vzorků se vytvoří aritmetický průměr, který je zaokrouhlen na 1 N nebo 1 %. Výsledné hodnoty jsou určeny pro maximální sílu, sílu přetržení, maximální prodloužení a prodloužení do přetrhu. [29]

Metoda grab. Testovací vzorky jsou odebírány stejně jako v předchozí metodě. Rozměry vzorků jsou šíře 100 ± 2 mm a délka větší než 150 mm. Na každém testovacím vzorku je vyznačena přímka 37 mm od kraje rovnoběžně s ním. Pokud se testuje vlhká varianta metody, vzorek je namočen po dobu minimálně jedné hodiny a test musí být proveden do jedné minuty po vyjmutí vzorku z vodní lázně. Vzorky jsou upnuty do čelistí tak, aby vyznačená přímka spojovala okraje čelistí. Pro zaznamenání hodnoty se použije zařízení, které zaznamená maximální sílu. Po spuštění trhacího zařízení do provozu rychlostí odpovídající první metodě je testovaný vzorek prodloužen do prasknutí. Test se opakuje pro všechny vzorky, z výsledků pro podélné vzorky se vytvoří aritmetický průměr, z výsledků pro příčně odebrané vzorky také. Aritmetické průměry jsou zaokrouhleny na 1 N nebo 1 % hodnoty. [29]



Obr 28: Maximální síla a síla do přetrhu. Převzato z [29]

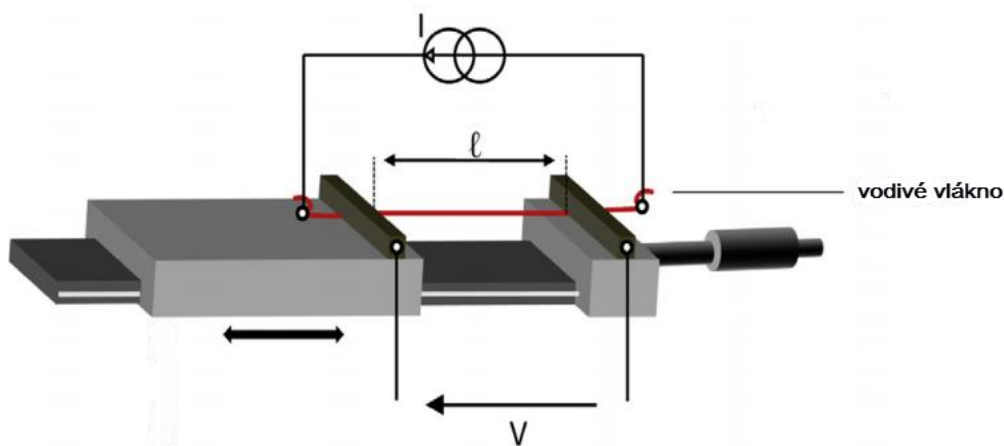


Obr 29: Přetržení jedné z vrstev testovaného materiálu. Převzato z [29]

Obr 28, Obr 29 zobrazují předpokládané průběhy testů v závislosti síly na prodloužení. Druhý z nich znázorňuje přetržení jedné z vrstev materiálu, které může nastat u potažených a vícevrstvých materiálů.

3.4.4 Použitá metoda pro zjišťování pružnosti

Skupina kolem A. Schwarze testovala vlastnosti vlákna po opakovaném natahování. Pro vyhodnocení vlastností vlákna z hlediska elektrické vodivosti byl měřen elektrický odpor vlákna. Byla použita metoda čtyř sond, přičemž dvě sondy slouží pro přivedení elektrického proudu do vlákna a dvěma sondami se měří elektrické napětí. Použitý byl ampérmetr (multimetr) Solartron Schlumberger 7150 Plus, proudový zdroj RS PL-series, voltmetr (multimetr) Keithley 195A. [26]



Obr 30: Systém napínání vlákna. Převzato z [26]

Měření bylo prováděno v neklimatizované místnosti z důvodu vyšší totožnosti s prostředím, ve kterém bude vlákno používáno. Bylo použito 27 různých elektricky

vodivých vláken stejného typu: nosná nevodivá část opředená elektricky vodivými vlákny (2.2.1).

Vlákno bylo upnuto a postupným natažením vlákna byla zjištěna délka před přetrhem jako maximální délka vlákna tedy 100 %. Délka měřených vzorků pro přetrh byla 50 mm.

Vzorky poté byly natahovány od 0 % do 25 % s celkovým počtem cyklů 2150. Pro napínání vzorků sloužil speciální stroj, který napínal vzorky konstantní rychlostí. Upnutí vzorků bylo vertikální a pohyb zajišťovala spodní upínací čelist. Vzorky pro toto testování měřili 200 mm. [26]

3.5 Odolnost vůči pracím cyklům

Důležitou součástí životního cyklu smart textilie je praní. Elektricky vodivý motiv na textilií musí vydržet několik pracích cyklů, aniž by došlo k výraznému zhoršení vlastností, nebo k přerušení vodivého motivu.

3.5.1 ČSN EN ISO 6330

Textilie. Postupy domácího praní a sušení pro zkoušení textilií.

Norma obsahuje metody zkoušení textilních vzorků praním v automatické pračce a usušením.

Automatické pračky jsou dle normy rozděleny do tří skupin. Referenční pračka typu A, která má vodorovnou osu praní a plnění zepředu. Referenční pračka typu B, mající svislé otáčení, plnění shora, typ aligátor. Referenční pračka typu C, svislé otáčení, plnění shora, typ pulzátor. Norma dále specifikuje podrobněji parametry referenčních praček jako průměr, hloubku, objem a žebra vnitřního bubnu, vnější buben, rychlost otáček při praní a odstředování, systém ohřívání a systém napouštění a vypouštění vody.

Bubnové sušičky jsou také rozděleny do skupin. Bubnová sušička typu A1 s ventilací, bubnová sušička typu A1 s kondenzací, bubnová sušička typu A3 velká s ventilací. Podrobnější parametry jsou například řízení vlhkosti, rozměry bubnu, žebra, tepelný příkon, rychlost sušení, výstupní teplota, doba ochlazování nebo jmenovitá kapacita. Dále jsou určeny možnosti pro sušení: plochý elektricky vyhříváný žehličí lis, sušení v závěsu, rámy na sušení.

Je možné použít pračku či sušičku podobnou některému z uvedených typů, hodnoty se musí uvést do protokolu o zkoušce a na jejich použití se musí dohodnout zainteresované strany.

Celková suchá hmotnost náplně pračky musí být $2,0 \pm 0,1$ kg. Není-li dostatek zkoušeného materiálu pro praní (například při testování pouze malého vzorku), musí se při praní přidat do bubnu pračky doplňkové textilie, jejichž složení je uvedeno v příloze normy. Při zkoušení celého výrobku, který uvedenou hmotnost přesahuje, musí být skutečnost uvedena v protokolu o zkoušce.

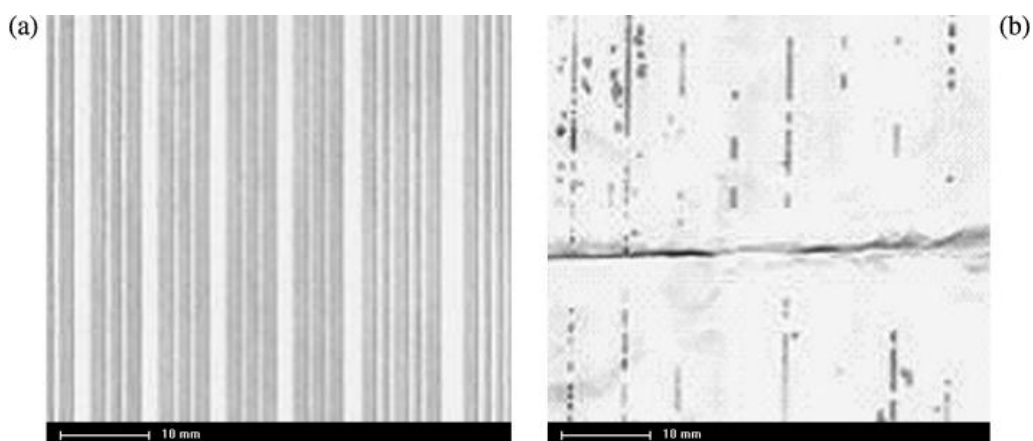
Textilie je v běžném použití prána čistícími prostředky, pro potřeby zkoušení je v normě definováno šest referenčních detergentů různého složení. Tvrdost vody je stanovena na hodnotu uhličitanu vápenatého nižší než 0,7 mmol/l. Tlak vody musí být na vstupu do referenční pračky větší než 150 kPa. Teplota vody na vstupu musí být 20 ± 5 °C. Ovzduší použité pro klimatizování testovaných vzorků musí odpovídat normě ČSN EN ISO 139 (3.1.1).

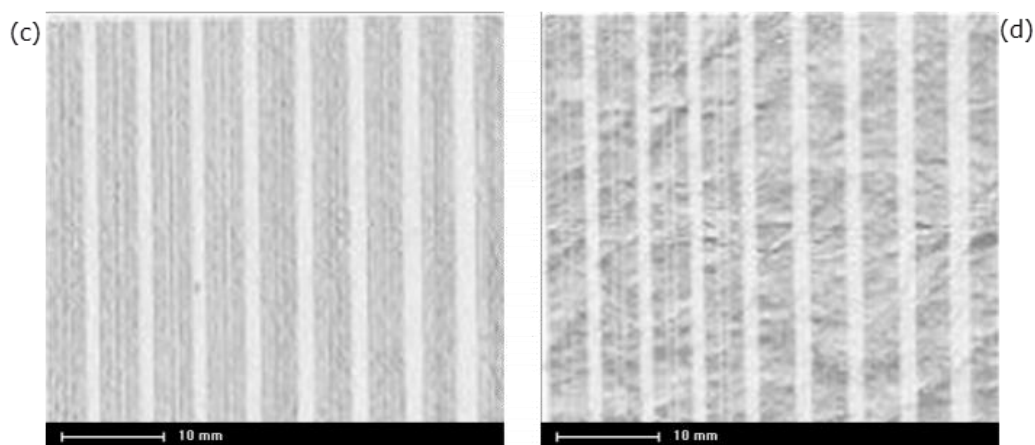
Použitý postup praní se zvolí dle tabulkových údajů v normě. Před praním je potřeba zjistit hmotnost vzorků pro možný úbytek hmotnosti během praní. Zkoušený materiál se vloží do pračky, přidá se doplňkový materiál a referenční detergent. Po vyprání se vzorek bez další deformace vyjme a usuší. [27]

3.5.2 Použitý postup praní – B. Karaguzel a společnosti

Vodivá textilie popsaná blíže v kapitole 2.5.10 byla testována pracími cykly.

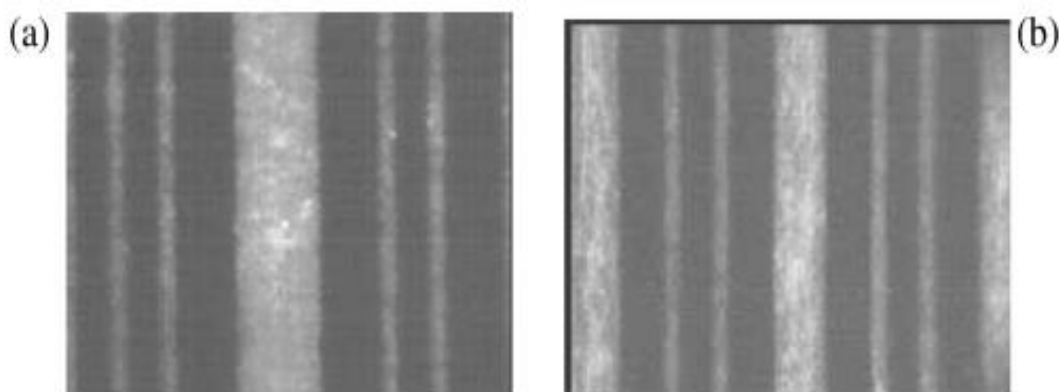
Natištěné elektricky vodivé cesty byly vystaveny 25 pracím cyklům dle normy 3.5.1 (ISO 6330). Obr 31 zobrazuje výsledky před a po vystavení vzorků pracím cyklům. Na obou vzorcích po vystavení prací zkoušce došlo k přerušení elektricky vodivé cesty. V případě substrátu Tyvek® došlo k odstranění většiny vodivého inkoustu. [16]





Obr 31: Vodivé motivy a) Tyvek[®] před praním b) Tyvek[®] po praní
c) Evolon[®] před praním d) Evolon[®] po praní. Převzato z [16]

Při nanesení termoplastického polyuretanu došlo ke zvýšení odolnosti, jak je popsáno v kapitole 2.4 Zvýšení odolnosti tištěných elektricky vodivých spojů. Obr 32 ukazuje rozdíl před a po vyprání takto ošetřeného elektricky vodivého motivu. Vodivý motiv tedy nebyl po pracovním testu přerušen.



Obr 32: Evolon opatřen krycí vrstvou a) před b) po pracovních cyklech. Převzato z[16]

3.5.3 Použitý postup praní – A. Schwarz a spol. s r.o.

Vzorky použité pro výzkum v této práci byly vystaveny 25 pracovním cyklům. Teplota byla nastavena na 40 °C a doba praní 40 minut podle ISO 6330 s vybraným postupem 6A pro pračku Wascator FOM71 CLS. Kromě vzorků byla do pračky přidána bavlněná tkanina pro splnění normy, která vyžaduje hmotnost prádla v pračce 2kg. [26]

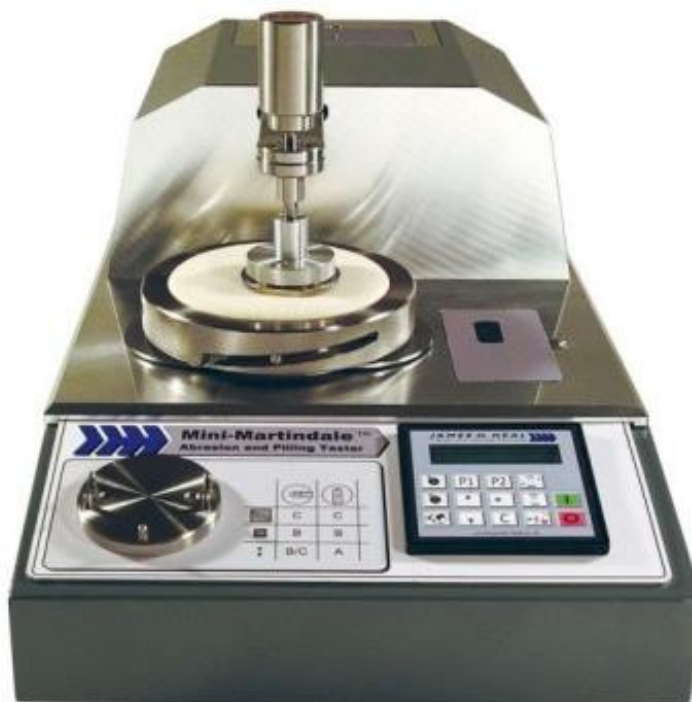
3.6 Odolnost proti oděru

3.6.1 ČSN EN ISO 12947-3 (80 0846) a změna Z1

Textilie - Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale – Část 3: Zjišťování úbytku hmotnosti.

Norma navazuje a odvolává se na normy ČSN EN ISO 12947-1 Textilie - Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale – Část 1: Přístroj Martindale a normu ČSN EN ISO 12947-2 Textilie - Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale – Část 2: Zjišťování poškození vzorku.

Metoda použitá v této normě slouží ke zjišťování úbytku hmotnosti u plošných textilií. Vzorek je upnut do volně otočných držáků a vystaven určitému přitlaku, při němž je odírán odíracím prostředkem, kterým je standardní textilie.



Obr 33: Přístroj pro odírací zkoušku. Převzato z [34]

Přístroje potřebné pro vykonání zkoušky jsou zkušební přístroj, pomocné materiály a váha s přesností na 1 mg. Ovzduší při zkoušce je stanoveno na normální ovzduší dle ČSN EN ISO 139. [33][35]

Ze zkoušeného materiálu se vybere laboratorní vzorek, ten je klimatizován v normálním ovzduší po dobu 18 hodin. Z laboratorního vzorku jsou odebrány zkušební vzorky. Zkušební vzorky jsou kruhové o průměru 38 mm. Rozměr odírací textilie jsou pro kruh 140 mm nebo čtverec o straně 140 mm. Rozměry podložky

pod odírací materiál je shodný s rozměry odírací textilie. Rozměry pěnové podložky na zkoušený materiál jsou shodné s rozměry vzorku. Testované vzorky se na uvedenou velikost upravují vyseknutím či vystřížením, důležité je, aby nedocházelo na hranách vzorku k odpadávání materiálu z důvodu přesnosti měření zkoušené hmotnosti. Hmotnost vzorku je zvážena před začátkem testování s přesností na 1 mg. [33]

Zkušební vzorky jsou uloženy do upínacího zařízení lícovou stranou dolů. U zkušebních vzorků o plošné hmotnosti nižší než 500 g/m^2 je na zkušební vzorek položena podložka z pěnového materiálu. [33]

Odírací textilie je položena na odírací stůl na předem připravenou plstěnou podložku. Obě vrstvy jsou stlačeny závažím o hmotnosti 2,5 kg, poté jsou zajištěny upínacím rámečkem a závaží je následně odstraněno. Odírací textilie se použije pro každou zkoušku nová. Obsahuje-li zkouška více než 50 000 otáček, vymění se odírací textilie vždy po 50 000 otáčkách. [33]

Na začátku zkoušky je zvolen počet otáček dle tabulky uvedené v normě a přístroj je uveden do chodu. Dle vybraného počtu celkových otáček se vzorek kontroluje i v průběhu zkoušky, vždy po stanoveném počtu otáček. Po provedení zkoušky se testovaný materiál vyjme, jemným kartáčem je očištěn od zbytků odřených vláken a je zvážen. Do protokolu o zkoušce jsou zaneseny údaje o případném žmolování, trhání či jiné nesoudržnosti materiálu. Z úbytků hmotnosti jednotlivých vzorků je vypočítán aritmetický průměr. Je možno po zkoušce zanezt do grafu hodnoty aritmetických průměrů, prováděla-li se zkouška pro několik různých počtů otáček. Graf poté zobrazuje úbytek hmotnosti v závislosti na počtu otáček, charakterizuje textilií a může předpovídat její chování. [33]

3.6.2 ČSN EN ISO 5470-2 (80 0852)

Textilie povrstvené pryží nebo plasty - Zjišťování odolnosti v oděru - Část 2: Oděrací přístroj Martindale.

Norma stanovuje postup dvou metod pro zjišťování odolnosti v oděru pro zkušební vzorky povrstvených textilií.

Metoda 1 - zkušební vzorky jsou upnuty v držácích.

Metoda má velice podobný průběh jako metoda pro zjišťování odolnosti v oděru nepovrstvených textilií, blíže popsána v kapitole 3.6.1, rozdílné jsou především rozměry vzorků a odírací materiál. Z ověřovaného materiálu jsou odebrány čtyři

zkušební vzorky libovolné velikosti, dostatečně velké pro upnutí ve stroji. Při testování oboustranně povrstvených materiálů a testování obou jejich stran je odebráno vzorků osm. Na držák vzorku je vyvíjena svislá síla, kterou je dosažen tlak mezi vzorkem a odíracím materiálem o velikosti 12 kPa. Při testování za mokra je odírací tkanina a vlněná plst zcela smočena. [39]

Metoda 2 – zkušební vzorky uložené na stole.

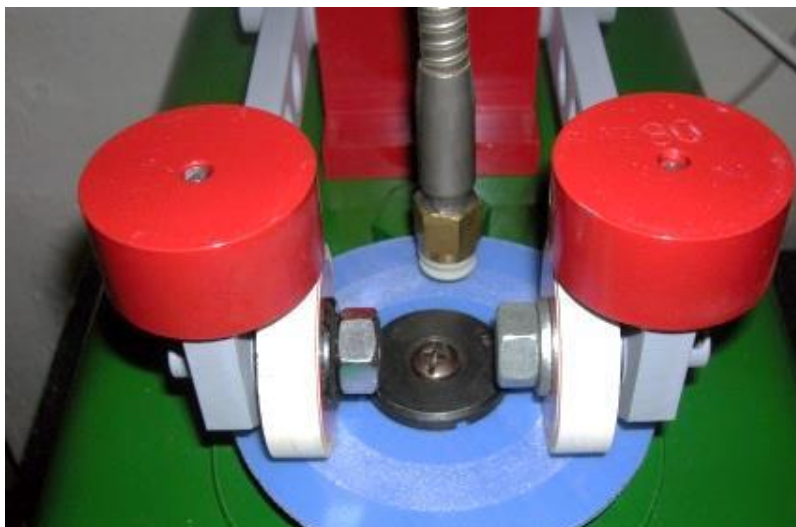
Pro tuto metodu jsou z testované textilie získány 4 čtvercové zkušební vzorky o délce strany 125 mm. U této metody jsou testovaný vzorek a odírací materiál zaměněny na svých pozicích. Na testovaný vzorek je z netestované strany nalepena oboustranně lepicí páska a testovaný vzorek je upnut k odíracímu stolu. Odírací textilie je vložena i s pěnovou podložkou do držáku a je přichycena svorkami. Při testování za mokra se testovaný vzorek polévá vodou do doby úplného stejnoměrného promočení. [39]

Pro obě metody: Je-li potřeba stanovit úbytek hmotnosti, je testovaný vzorek zvážen. Před testováním za sucha jsou vzorky klimatizovány nejméně 16 hodin. Testování za mokra klimatizování vzorků nevyžaduje. Míra poškození je vyjádřena na celočíselné stupnici v rozmezí 0 (žádné) až 5 (úplné). [39]

3.6.3 ČSN EN ISO 5470-1 (80 0852)

Textilie povrstvené pryží nebo plasty - Zjišťování odolnosti v oděru - Část 1: Taberův přístroj na zkoušení oděru.

Na *Obr 34* je znázorněn přístroj používaný pro zkušební metodu popsanou v této normě.



Obr 34: Taberův přístroj na zkoušení oděru. Převzato z [41]

Každý zkušební vzorek kruhového tvaru a průměru 114 ± 1 mm, s otvorem o průměru 6,35 mm ve svém středu, je zvážen s přesností na 1 mg. Vzorků je odebráno šest. Vzorky jsou opatřeny oboustranně lepící páskou, kterou jsou připevněny na otočný disk Taberova přístroje. Testovaný vzorek je obroušován dvěma brusnými kotouči s nastavitelnou přitlačnou silou. Při testu je obroušený materiál odsáván tryskami. Test je prováděn předem definovaným počtem otáček a po jejich uplynutí je zastaven. Je možné přístroj vypnout až v případě zcela obroušeného povrstvení nebo úplného probroušení zkoušeného materiálu. Po zkoušce se stanoví úbytek hmotnosti v mg na 100 cyklů. [40]

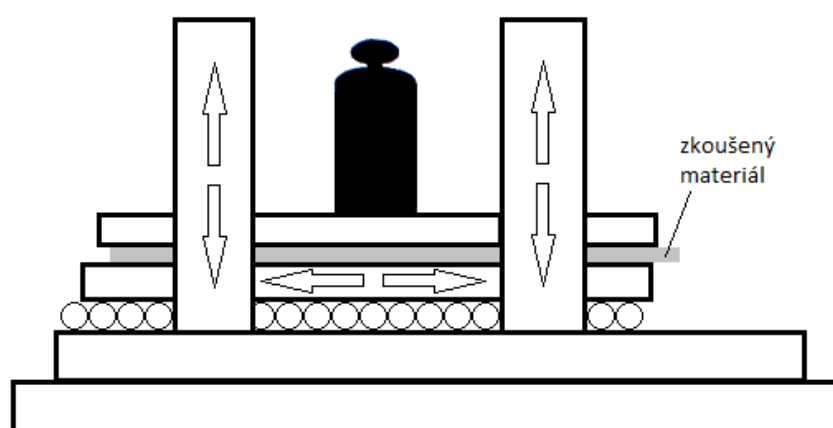
Norma dále uvádí možnost velkých rozdílů ve zkouškách, vzniklých nastavením odsávacích trysek a tedy možným zanesením brusných kotoučů, nepřesným umístěním protizávaží a tedy nastavením přitlaku brusných kotoučů a nedostatek informací z mezilaboratorních zkoušek. [40]

3.6.4 ČSN EN ISO 13427 (80 6136)

Geotextilie a výrobky podobné geotextiliím - Napodobení poškození oděrem (zkouška kluzným blokem). Norma je dostupná pouze v anglickém jazyce.

Testovací metoda popsaná v této normě určuje metodu, při které je testovaný vzorek odírán stanoveným tlakem odíracího přípravku.

Testovací přístroj obsahuje dvě rovnoběžné desky o velikosti 200 x 50 mm. Jedna deska vykonává pohyb rychlostí 90 cyklů/min v rozsahu 25 mm po ose rovnoběžnosti desek.



Obr 35: Testovací přístroj. Převzato z [42]

Druhá deska je z pohledu první fixní, je pohyblivá pouze ve směru kolmém k první desce, z důvodu nastavení přitlaku desek. Přitlak se nastavuje použitím závaží. Obě desky jsou vybaveny svorkami pro připevnění vzorku a odíracího

materiálu. Z testovaného materiálu je odebráno pět testovacích vzorků o rozměrech 50 x 600 mm. Vzorek je rozdělen na dva o rozměrech 50 x 300 mm. Jedna část vzorku je použita jako testovací vzorek a druhá jako referenční vzorek pro účely měření pevnosti v tahu.

Při klimatizaci vzorků je měřena hmotnost vzorků. Klimatizace probíhá do doby, než je rozdíl dvou po sobě následujících vážení menší než 0,25 %. Měření probíhají po 2 hodinách.

Při testování odírání je testovaný vzorek upnutý k horní desce pomocí zmíněných svorek. Odírací materiál je umístěn na pohyblivou (spodní) desku přístroje a taktéž je zabezpečen svorkami. Na horní desku je umístěno závaží o hmotnosti 6 kg. Po spuštění zařízení se vyčká 750 cyklů, nebo dokud není vzorek znatelně opotřebován. Odírací materiál je použit pouze pro jeden testovací vzorek.

Výsledky jsou určeny jako ztráta pevnosti v tahu s přesností na 1 %.

$$\text{ztráta pevnosti v tahu} = \frac{A - B}{A} \cdot 100 [\%] \quad (12)$$

kde:

- A pevnost v tahu referenčního vzorku,
- B pevnost v tahu testované vzorku.

4 Návrh testovacích postupů pro smart textile

Mnou navrhované postupy a zkušební metody uvedené v této kapitole převážně vychází z norem v předchozí kapitole a postupů použitých vývojovými týmy. Postupy, dostupné ve vydaných vědeckých člancích, používané výzkumnými týmy, jsou převážně nejasně popsané a týmy uvádí minimum informací o testech a jejich výsledcích.

Tato kapitola je členěna na tři části. První část se zabývá ovzduším, které je pro testování smart textilií důležité, především při získávání porovnatelných hodnot. Druhá nejpodstatnější část obsahuje metody pro měření elektrického odporu materiálů. Třetí část zahrnuje především zkoušky mechanických vlastností smart textilií.

4.1 Testovací ovzduší a klimatizace vzorků

Při testování smart textilií je obzvláště důležité, aby bylo stanoveno testovací ovzduší. Relativní vlhkost vzduchu a teplota ovlivňují hodnotu elektrického odporu.

Aby bylo možné provádět na materiálech reprodukovatelné zkoušky, musí být zkoušky prováděny při jednotně stanovené teplotě a relativní vlhkosti. Z tohoto důvodu navrhuji při testování parametrů v oblasti smart textilií stanovit tři hodnoty testovacího ovzduší

- normální testovací ovzduší,
- zimní testovací ovzduší,
- letní testovací ovzduší.

Tato tři testovací ovzduší vychází z předpokladu použití smart textilií. Normální testovací ovzduší je zvoleno jako ovzduší při použití textilie při běžné teplotě a relativní vlhkosti vzduchu. Hodnoty pro toto ovzduší jsou použity v normě ČSN EN ISO 139 a změna A1, v normě pro měření elektrického odporu kovů ČSN 42 0475 a normě pro stanovení elektrického odporu textilií ČSN 80 0059. Zimní testovací ovzduší vychází z hodnot, které se vyskytují v zimních měsících. Letní testovací ovzduší vychází z hodnot vyskytujících se převážně v letních měsících. Hodnoty jsou stanoveny za předpokladů, že oblast smart textilií bude používána především v nositelné elektronice, a proto zimní testovací ovzduší nedosahuje záporných hodnot teploty, neboť bude ovlivněna tělesnou teplotou.

Tato tři testovací ovzduší představují odlišné prostředí pro použití výrobků vyrobených z testovaných materiálů. Každý materiál by měl být otestován ve všech třech ovzduších. Hodnoty, kterých materiály budou dosahovat v těchto ovzduších, budou sloužit při výběru materiálu ke konkrétnímu použití v konkrétním ovzduší. Po dohodě zainteresovaných stran je vhodné doplnit testy v těchto třech ovzduších o testy v ovzduší s jinými, více extrémními hodnotami. Hodnoty mnou navrhovaných ovzduší jsou uvedeny v Tab 6: Hodnoty testovacích ovzduší.

Tab 6: Hodnoty testovacích ovzduší.

	teplota [°C]	relativní vlhkost [%]	toleranční pole	
			teplota [°C]	relativní vlhkost [%]
Normální testovací ovzduší	20,0	65,0	± 1,0	± 2,0
Zimní testovací ovzduší	5,0	22,5	± 1,0	± 2,0
Letní testovací ovzduší	35,0	50,0	± 1,0	± 2,0

Oproti normám pro textilie je stanovena přísnější tolerance pro teplotu i pro relativní vlhkost z důvodu velké ovlivnitelnosti výsledků měření.

Vzorky musí být klimatizovány před zkoušením podle své struktury. Vzorky v podobě nití či jednotlivých vláken je nutné klimatizovat po dobu nejméně 4 hodin. [44] Vzorky v podobě plošných textilií je nutné klimatizovat nejméně 24 hodin, což je hodnota uvedená v normách pro testování plošných textilií ČSN EN 1149-1 a ČSN EN 1735 (80 0859). Vzorky je výhodné v klimatizovaném ovzduší také zkoušet, obzvláště nitě a vlákna. Ovzduší, které je možné vytvořit v prostředí celé laboratoře, je z uvedených tří pouze normální testovací ovzduší. Pro ostatní dvě je důležité, aby zkouška proběhla co nejrychleji po vyjmutí vzorku z klimatizační komory.

Klimatizování testovaných vzorků by mělo probíhat při zkoušení všech vlastností, kromě mokřých variant zkoušek.

4.2 Měření elektrického odporu pro smart textilie

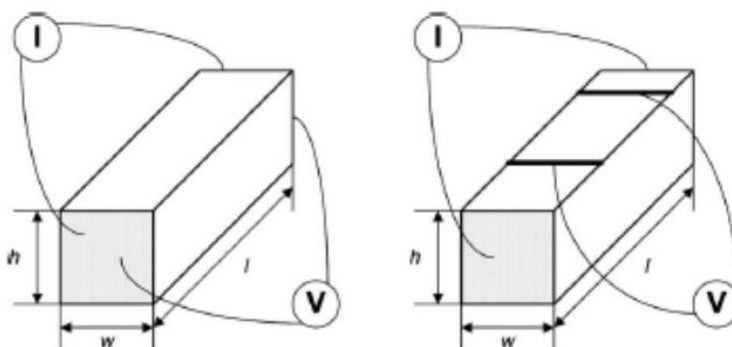
Elektrický odpor je nejdůležitější vlastnost vodivých cest ve smart textiliích. Měření elektrického odporu je v následujícím textu rozděleno na měření elektrického odporu tenkých vodičů (vodivá vlákna, tištěné vodivé motivy) a měření povrchového elektrického odporu (plošné textilie vyrobené z vodivých vláken, textilie plošně potažené vodivou vrstvou).

4.2.1 Metoda měření elektrického odporu tenkých vodičů

Pro měření elektrického odporu vláken je možno využít různých metod jako jsou můstkové metody, ohmmetr či multimetr, jak je uvedeno v normě ČSN 42 0475. Hodnoty elektrického odporu současných elektricky vodivých vláken jsou v rozsahu $10^{-1} \Omega/\text{m}$ až $10^5 \Omega/\text{m}$. Lze tedy u většiny vláken využít přístroj s rozsahem do $10^5 \Omega$. U přístrojů s tímto rozsahem uvádí norma ČSN EN 1149-1 přesnost 5 %. Tato norma se zabývá textilem, proto bych zvolil pro měření elektrického odporu přesnost z normy ČSN 42 0475, která je 0,1 %. Tato přesnost je dosažitelná používanými ohmmetry [45].

Varianty, jak změřit hodnotu elektrického odporu vlákna, jsou dvě. První varianta používá dvě sondy k přivedení proudu do vzorku a zároveň k měření napětí (*Obr 36 vlevo*). Tento způsob je citlivý na přechodový odpor proudových sond a měřené napětí obsahuje součet tří napětí – napětí vzniklé na měřeném úseku vlákna plus dvakrát napětí na přechodovém odporu proudových sond. Druhá varianta se čtyřmi

sondami (Obr 36 vpravo) napětí na přechodovém odporu proudových sond eliminuje. [24]



Obr 36: Znázornění měření elektrického odporu pomocí dvou a čtyř sondového systému. Převzato z[24]

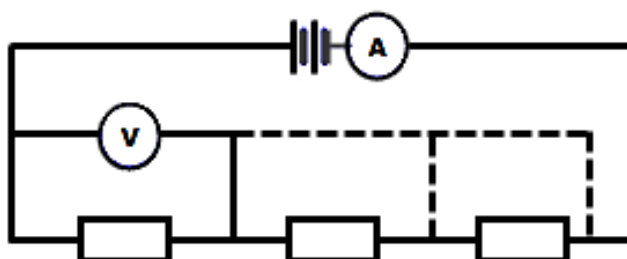
Délka vzorku je stanovena na $1 + 2 \cdot 0,2$ m. 1 m použitý pro měření elektrického napětí a 0,2 m na obou koncích vzorku, pro uchycení vzorku a připojení proudových sond. Používané jednotky elektrického odporu vláken jsou Ω/m . Hodnota délky pro měření napětí je 1,0 m a je výhodná z důvodu odečtení hodnoty přímo (nemusí se naměřená hodnota vynásobit a tím je menší chyba výsledku). Počet vzorků je nejméně 5. Měření na každém vzorku se provádí dvakrát. Mezi prvním a druhým měřením je měřený vzorek obrácen, aby došlo k obrácení směru proudu. Výsledný elektrický odpor jednoho vzorku je průměr dvou měření.

Výsledný odpor zkoušeného vlákna je aritmetický průměr všech zkoušených vzorků. V případě odlišnosti výsledku o více než 50 % od průměru je naměřená hodnota vyřazena a měření se musí opakovat na novém testovacím vzorku. Hodnota 50 % je určena z Tab 2, kde je uveden elektrický odpor vlákna $20 \pm 10 \Omega/\text{m}$.

Při nedostatečné délce zkoušeného materiálu lze použít k měření elektrického odporu vlákna metodu TLM (Transmission Line Method). U této metody se použije dostatečná délka vzorku. Délka vzorku je rozpočítána na potřebný počet stejných úseků. Minimální počet částí by měl být alespoň 5. Při větším počtu částí se zvyšuje přesnost metody. Postupně je měřen elektrický odpor úseků způsobem: je změřen elektrický odpor na prvním úseku, poté je změřen elektrický odpor na prvním a druhém úseku, dále je změřen elektrický odpor na prvním, druhém a třetím úseku současně. Při každém dalším měření je přidána délka jednoho úseku.

Výsledné hodnoty jsou zaneseny do grafu. V grafu je poté možné pomocí lineárního proložení zanesených bodů určit hodnotu elektrického odporu v délkách, které nebyly měřeny. Tato metoda je náročná na přesnost úseků. Metodou TLM lze

měřit elektrický odpor pomocí dvou i čtyř sond. V kapitole 5.2 *Ověření metody TLM na vodivých vláknech* je ověřeno, že výsledky dosažené touto metodou jsou odpovídající a metodu lze využít.



Obr 37: Metoda TLM za použití 4 sond.

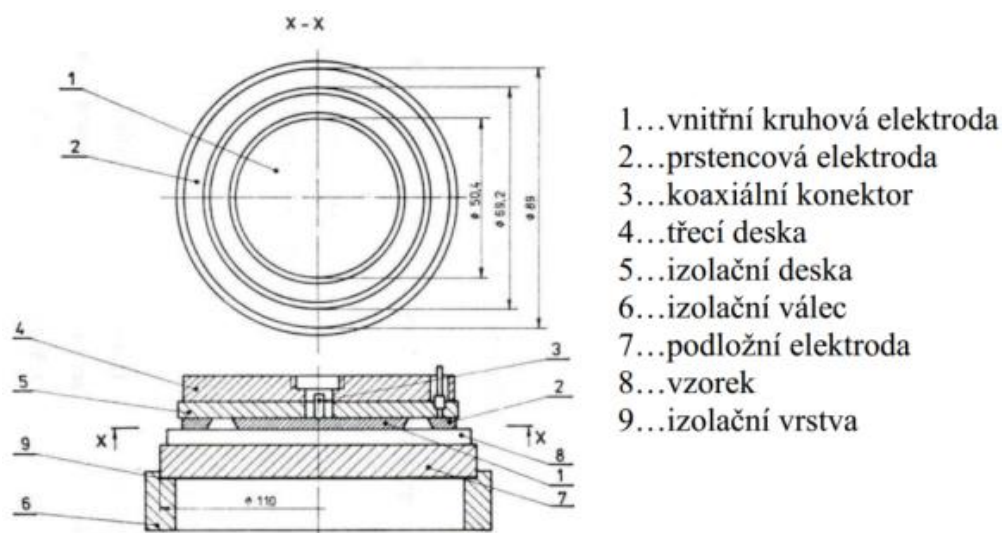
Při měření elektrického odporu vláken je důležité uvádět do protokolu o měření i metodu, která byla použita pro možnost případného ověření výsledků.

4.2.2 Metoda měření povrchového elektrického odporu

Metoda navrhovaná pro měření plošného odporu smart textilií vychází z textilních norem pro stanovení povrchového elektrického odporu ČSN 80 0059 a ČSN EN 1149-1.

Elektrody pro měření povrchového odporu (znázorněné na Obr 38) se umístí na dostatečně silnou izolační podložku, ta je umístěna na vodivém povrchu. Izolační podložka musí mít povrchový odpor nejméně $10^{14} \Omega$ a její rozměry musí být větší než rozměry elektrod pro měření. Vodivý povrch umístěný pod izolační podložkou musí mít opět větší rozměry než izolační podložka a musí být uzemněn.

Ohmmetr musí mít měřící rozsah do $10^4 \Omega$. Přesnost přístroje do 0,1 %. Počet vzorků je stanoven minimálně na 5 a jejich rozměry musí být větší než elektrody, z důvodu dobrého přiložení sondy a menší než rozměry izolační destičky, aby nedošlo k uzemnění při případném dotyku textílie a uzemněné vodivé podložky. Elektroda je zatížena závažím o hmotnosti 2,5 kg. Při měření povrchového odporu je použito napětí 10 V. Norma pro měření povrchového odporu textilií ČSN 80 0059 udává hodnotu 100 V, tuto hodnotu nelze při měření vodivých textilií využít z hlediska vysokých proudů, které mohou smart textílie poškodit.



Obr 38: Tříelektrodový systém pro měření povrchového odporu. Převzato z [21]

U běžných polymerových textilií se hodnoty pohybují v rozsahu 25 řádů [46]. Při měření blíže popsaném v kapitole 5.3 *Měření povrchového odporu textilií s vodivými vlákny* bylo zjištěno, že u vodivých materiálů je rozsah hodnot 4 řády.

Povrchový elektrický odpor je měřen pro každou stranu vodivé textilie zvlášť. Hodnota povrchového odporu R_s je vypočítána z n naměřených hodnot R_i geometrickým průměrem $R_s = \sqrt[n]{\sum_1^n R_i}$. Z hodnoty elektrického odporu je poté možno dopočítat hodnotu elektrické vodivosti.

4.3 Zkoušení mechanických vlastností smart textilie

Uvažuje-li o smart textilii jako o textilii, která bude používána k výrobě oděvů pro každodenní nošení, musí všechny součásti této textilie splňovat určitou odolnost vůči mechanickému namáhání. V ideálním případě by měli splňovat stejné normy jako normy pro běžné textilie. V následujícím textu budou popsány především úpravy, které by bylo vhodné na metodách provést, aby byly aplikovatelné nebo aby lépe ověřili vlastnosti smart textilu.

4.3.1 Metoda měření tuhosti a pružnosti dle normy ČSN 80 0858

Metoda měřící hodnoty tuhosti a pružnosti plošných textilií. Tato metoda je použitelná i pro elektricky vodivou textilii, protože při provádění metody nedochází k namáhání, ve kterém by se smart textilie lišila od běžné textilie. Metoda využívá 24 vzorků o rozměru 25 x 50 mm. Výsledky měření této metody jsou vyjádřeny číselně (odečteny ze stupnice), to poskytuje porovnatelnost s ostatními materiály

oproti textilním metodám, u kterých je například hodnocen vzhled textilie testujícím pracovníkem. Podrobnější postup této metody je uveden v odstavci 3.3.1.

Vhodné přizpůsobení této metody pro oblast elektricky vodivých textilií by bylo vyvinutí přístroje pro měření tuhosti, který by byl schopen měřit hodnotu elektrického odporu textilie během provádění testu tuhosti a pružnosti. Takto upravený přístroj by poskytl hodnoty, které by umožňovali výrobcům oděvu z textilie lépe určit materiál hodící se spíše do více namáhaných částí nebo naopak do méně namáhaných částí oděvu.

4.3.2 Metoda ploché smyčky při použití na elektricky vodivých textiliích

Metoda je založena na normě uvedené v odstavci 3.3.4 ČSN EN 1735 (80 0859) této práce.

Velikost vzorku v normě ČSN EN 1732 je stanovena na 600 x 100 mm, velikost vzorku elektricky vodivé textilie by bylo vhodné změnit na $(630 + (2 \times 20)) \times 180$ mm. Důvodem změny plochy vzorku je možnost tento vzorek rozdělit na čtvercové sektory o straně čtverce 90 mm a 2 x 20 mm je určeno na konce vzorku pro upnutí. Vzorek tedy bude rozdělen na 14 stejných čtverců tak, aby se nepřekrývaly. Tyto čtverce by byly jednoznačně označeny. V každém čtverci je na začátku zkoušky změřen a zaznamenán povrchový odpor, poté je vzorek přesunut na desku, jejíž povrch je posypán mastkem. Jeden konec je podél kratší strany vzorku upnut k desce, druhý konec vzorku přemístěn na první způsobem, aby vznikla smyčka a je také upnut. Po 5 minutách je změřena maximální výška smyčky. Po vyjmutí vzorku je opět v označených čtvercích změřen povrchový elektrický odpor. Hodnoty naměřené před testem a po testu by měli být stejné. Do protokolu o měření by měly být zaneseny hodnoty povrchového elektrického odporu a hodnota výšky smyčky. Materiál je možné měřit z rubové i lícové strany.

4.3.3 Metoda délky ohybu elektricky vodivých textilií

Metoda je založena na normě uvedené v odstavci 3.3.4 ČSN EN 1735 (80 0859) této práce.

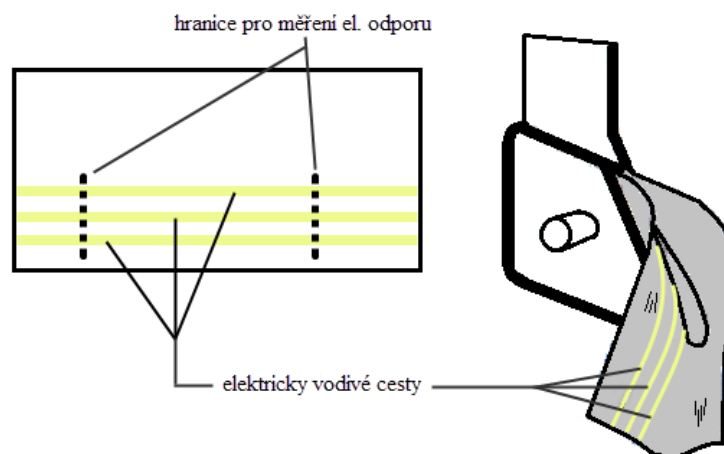
Vzorky mohou být odebrány z části textilie, která nemá ve své struktuře žádná elektricky vodivá vlákna či neobsahuje tištěné elektricky vodivé motivy. V tomto případě je možné postupovat dle metody v odstavci 3.3.4 ČSN EN 1735 (80 0859).

V případě odebrání vzorku obsahujícího elektricky vodivou cestu je vhodné změřit elektrický odpor této vodivé cesty pomocí jedné z metod uvedených v odstavci 4.2.1 *Metoda měření elektrického odporu tenkých vodičů*. Místa připojení svorek při měření elektrického odporu musí být označena. Vzorek má šířku 25 mm a délka musí být dostatečná pro provedení zkoušky. Po stanovení hodnoty délky ohybu je vzorek vyjmut. Následně je změřen elektrický odpor na označených místech. Hodnota elektrického odporu by měla být před zkouškou a po jejím provedení stejná, neboť zkouška není destruktivního charakteru a všechny vodivé cesty by neměly být zkouškou ovlivněny.

4.3.4 Metoda zjišťování odolnosti proti opakovanému ohybu

Tato metoda hodnotí testovaný materiál při jeho opakovaném ohýbání, je založena na normách ČSN 64 7029 a ČSN EN ISO 32100 (80 0894).

Vzorky použité při této metodě mají rozměr 70 x 45 mm z důvodu rozměrů čelistí flexometru. Vzorek je do horní čelisti flexometru upnut tak, aby vodivý motiv byl uvnitř (Obr 39). Vodivý motiv je tak při testování viditelný.



Obr 39: Vzorek upnutý v horní čelisti flexometru.

Před upnutím vzorku do čelistí je změřen elektrický odpor vodivých cest na takové vzdálenosti, aby nedošlo při uchycení vzorku v čelistech stroje k jejich ovlivnění vodivých cest. Tyto hranice jsou na materiálu vyznačeny. Po provedení stanoveného počtu ohybů je vzorek vyjmut z čelistí přístroje. Dojde-li k viditelnému poškození vodivých cest během průběhu zkoušky, je možné zkoušku přerušit dříve. Nejprve je zkontrolován vznik trhlin na rubové i lícové straně vzorku. Počet, délka a hloubka trhlin jsou pro každou stranu vzorku zaznamenány. Dále je změřen elektrický odpor vodivých cest na vyznačených hranicích. V případě předčasného

ukončení zkoušky není potřeba elektrický odpor měřit, vodivé cesty se označí jako přerušené.

4.3.5 Metoda podle De Mattii pro smart textilie

Metoda vychází z textilní normy uvedené v odstavci 3.3.5 ČSN EN ISO 7854 (80 4621) této práce.

Testovaný vzorek má rozměry 125 x 37,5 mm a je přehnut na stejně velké třetiny podél delšího rozměru. Velikost složeného vzorku před upnutím je tedy 125 x 12,5 mm. Povolí-li to rozložení vodivých cest na vzorku, jsou při přeložení vzorku umístěny na vnější straně, aby při provádění zkoušky byly viditelné a zkoušení při jejich porušení v průběhu mohlo být přerušeno.

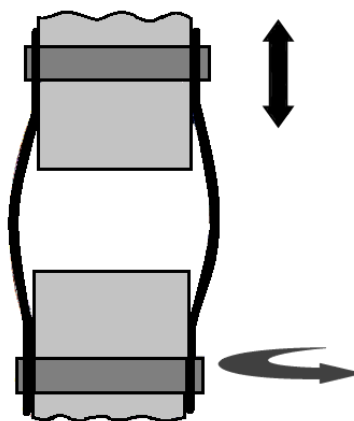
Před složením vzorku je změřen elektrický odpor vodivých cest na vzorku. Stejně jako u metody v předchozím odstavci je hodnota měřena mezi vyznačenými hranicemi, aby nedocházelo k deformaci vodivých cest při upínání vzorku. Po provedení určeného počtu zkoušek je opět změřena hodnota elektrického odporu vodivých cest na textilií.

Norma ČSN EN ISO 7854 (80 4621) ve svém textu uvádí špatnou reprodukovatelnost hodnocení výsledků zkoušek, protože u běžných textilií hodnocení probíhá posouzením opotřebením vzorku zrakem zkušební technika. Každý technik může hodnotit výsledky různě. Při použití metody pro smart textilie je reprodukovatelnost výsledků vysoká, neboť hodnoty naměřeného elektrického odporu budou v protokolu o měření uvedeny číselně.

4.3.6 Metoda mačkání a ohýbání pro smart textilie

Metoda je založena na normě uvedené v odstavci 3.3.5 ČSN EN ISO 7854 (80 4621) této práce. Tato norma uvádí dva podobné testy materiálů, k úpravě postupu byla vybrána metoda, která zkoušený materiál zatěžuje více.

Zkušební zařízení použité pro tuto metodu se skládá ze dvou válců. Každý z válců vykonává jiný pohyb. Spodní válec vykonává pouze rotační pohyb v rozsahu 90° a horní válec se pohybuje po ose kotoučů a přibližuje se k druhému až o 70 mm. Válce jsou vzdáleny 152,4 mm.



Obr 40: Řez vzorkem upnutým v čelistech přístroje.

Ze vzorku materiálu je vytvořen sešitím válec o průměru 64 mm, z důvodu upnutí vzorku mezi válce. Jsou-li na materiálu viditelné vodivé motivy, je materiál sešit a upnut tak, aby byly vodivé motivy po dobu testování viditelné. Jsou-li vodivé motivy viditelné, může být provedeno zkušební měření, které bude probíhat do doby, než bude viditelně přerušen elektricky vodivý motiv na vzorku.

Výsledky této metody jsou – elektrický odpor před namáháním materiálu, elektrický odpor po provedení určeného počtu namáhání, počet vzniklých vad a trhlin na materiálu a jejich rozměry.

4.3.7 Pevnost elektricky vodivých vláken v tahu

Metoda uvedená v následujícím odstavci je založena na normách ČSN EN ISO 5079 (80 0200), ČSN EN ISO 2062 (80 0700) a vlastních zkušenostech získaných při jejím ověřování, které je uvedeno v části 5.4 této práce.

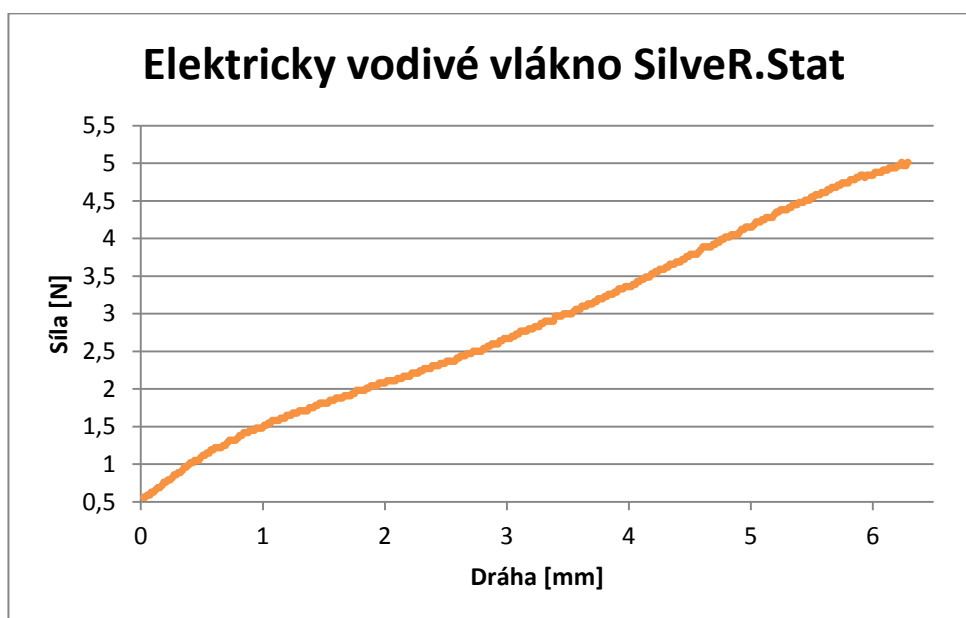
K provedení této zkoušky je potřeba stroj s konstantní rychlostí prodloužení, záznamové zařízení, které zaznamenává hodnoty síly a délky a zařízení pro vykreslení grafického průběhu závislosti síly a prodloužení. Záznamové zařízení a vykreslování grafického průběhu je většinou realizováno pomocí software na pc, které hodnoty zobrazuje během provádění zkoušky. Svorky, ve kterých je vlákno při zkoušce upnuto, musí obsahovat gumovou vložku, která dostatečně pevně vzorek uchytí a nepoškodí jej.

Vzorky mají délku 250 mm + délku potřebnou k uchycení vzorku. Počet vzorků je stanoven na 20. Rychlost posuvu čelistí, jak bylo zjištěno při ověřování metody, má malý vliv na proveditelnost zkoušky a je stanovena dle textilních norem na 100 % prodloužení za minutu.

Vzorek je odebrán z návínů a upnut do čelistí zkušecího stroje. Nejprve je vzorek upnut do horní čelisti, poté je upnut do spodní čelisti. Na zkušebním stroji je nastaveno předpětí 0,5 N, toto předpětí je důležité jako výchozí bod pro provádění zkoušky, aby všechna vlákna byla testována ze stejného výchozího bodu. Upnutý vzorek je označen na obou koncích co nejbližší čelistem, aby bylo po zkoušce možné určit, zda vzorek v čelistech přístroje neprokluzoval. Zkouška probíhá do okamžiku, ve kterém je vlákno přetrženo. Je-li to vyžadováno, je zkouška přerušena v okamžiku, kdy u vícevrstvých materiálů dojde k přetržení pouze části vzorku. Například u elektricky vodivých přízí obsahujících dvě vlákna může být zkouška přerušena po přetržení jednoho z vláken.

Po provedení zkoušky se provede lokalizace místa přetržení vlákna a zkontrolují se značky vytvořené u čelistí. Přetržené místo musí být ve vzdálenosti větší, než 5 mm od čelistí přístroje, vytvořené značky nesmí být více než 2 mm dále od čelistí, než byla jejich původní poloha. Není-li alespoň jedna z těchto podmínek splněna, je výsledek zkoušky označen jako neplatný a je provedeno měření na dalším vzorku.

Ze všech platných výsledků je spočítán aritmetický průměr. Do protokolu jsou uvedeny – tažnost vlákna, tržná síla a počet vyřazených (neplatných) výsledků. Hodnoty neplatných výsledků nemusí být součástí protokolu.



Obr 41: Průběh naměřený na vlákně SilveR.Stat

4.3.8 Měření závislosti elektrického odporu na počtu prodloužení

Metoda, která není uvedena v žádné textilní normě, ale mezi normami týkajícími se smart textilií by měla být zavedena. Metoda závislosti elektrického odporu

na počtu prodloužení elektricky vodivého vlákna by mohla být nazývána stárnutí materiálu při opakovaném prodloužení. Přesný postup měření metody a parametry jsou uvedeny v části 5.5 *Zkouška závislosti elektrického odporu a pružnosti*.

4.3.9 Odolnost vůči pracím cyklům

Výrobky v odvětví smart textile musí splňovat stejné normy a být stejně odolné vůči pracím cyklům jako běžné textilie. Norma stanovující postupy domácího praní a sušení je ČSN EN ISO 6330, blíže popsána v odstavci 3.5.1.

Prací cyklus je složen ze dvou částí, praní v automatické pračce a sušení. Automatická pračka pro testování odolnosti vůči pracím cyklům musí být jedna ze tří typů uvedených v normě, která pračky podrobně popisuje.

Sušení testovaných vzorků probíhá ve standardizovaných sušičkách, ve speciálních rámech určených k sušení textilu, nebo je využito metody sušení v závěsu.

Při testování smart textilií je důležité změřit parametry daného materiálu před provedením pracích cyklů. Parametry, které musí být měřeny vždy, jsou povrchový elektrický odpor a elektrický odpor vodivého motivu. Předpokladem je testování již hotového výrobku. Po provedení každých 5 pracích cyklů jsou změřeny testované parametry znovu, takto je postupováno až do přerušení vodivých cest na materiálu, nebo dosažení stanoveného počtu cyklů.

Po provedení testu je důležité uvedení všech parametrů, dle kterých lze z normy určit provedení postup praní a sušení. Výzkumníky, zabývajícími se touto problematikou, uvedené postupy praní nebyly v žádném případě zcela určující. Někteří ve své práci uvedli pouze použití postupů dle normy ISO 6330. V protokolu musí být uvedeno: typ referenční pračky, cyklus praní, doba pracího cyklu, postup sušení, doba a prostředí sušení, doplňkové textilie, detergenty a všechny odchylky od postupů uvedených v normě.

4.3.10 Odolnost smart textilií proti oděru

Testování odolnosti smart textilií proti oděru uvedené v následujícím odstavci vychází z norem pro běžné textilie ČSN EN ISO 12947-3 (80 0846) a změna Z1, ČSN EN ISO 5470-2 (80 0852) a ČSN EN ISO 13427 (80 6136).

Norma ČSN EN ISO 5470-1 (80 0852) uvedená taktéž v části 3.6 *Odolnost proti oděru*, není použita. Důvodem je pouze malá plocha, na níž dochází k oděru textilie,

kteřá má tvar mezikruží a nestálost metody, kteřá je způsobena zanášením brusných kotoučů, přítlakem brusných kotoučů a odsáváním obroušeného materiálu.

Metoda 1.

Metoda pomocí testovacího stroje Martindale. Při této metodě je testovaný vzorek upnutý v dolní části testovacího zařízení. Nejprve je umístěna pěnová podložka o stejné velikosti jako testovaný vzorek, následně je překryta vzorkem o rozměrech kruhu s poloměrem 70 mm nebo čtverce s délkou hrany 140 mm. Obě vrstvy jsou zatíženy závažím o hmotnosti 2,5 kg a zajištěny upínacím rámečkem. Závaží je po upnutí odstraněno. Do horního držáku přístroje je upnut odírací materiál. Upnutí testovaného vzorku v dolní čelisti je provedeno z důvodu umožnění měření vlastností při přerušení testu po určitém počtu otáček, upevněný vzorek není potřeba ze stroje snímat a po měření je přístroj uveden opět do chodu.

Metoda 2.

Metoda kluzným blokem. Tato metoda využívá testovací přístroj obsahující dvě obdélníkové desky o rozměrech 200 x 50 mm, mezi kterými je upevněn testovací materiál a odírací textilie. Zjednodušené schéma přístroje je zobrazeno na *Obr 35*. Testovaný vzorek je upevněn k horní desce přístroje, ta musí být vyrobena z elektricky nevodivého materiálu. Při dosažení určitého počtu cyklů přístroje je horní deska z přístroje sejmuta a parametry vzorku jsou přeměřeny při stále upnutém vzorku, aby nedocházelo k ovlivnění výsledků zkoušky snímáním a následným upínáním vzorku. Při testu je na horní desku přístroje umístěno závaží o hmotnosti 6 kg.

Důležité je při obou metodách pravidelně kontrolovat zanesení odírací textilie, kteřá musí být pravidelně měněna.

Hodnocení vzorků metod.

Hodnocení výsledků zkoušek je pro obě uvedené metody stejné, je možné použít pouze některé z uvedených možností, nebo použít všechna hodnocení zároveň.

Úbytek hmotnosti – tato hodnotící metoda vyžaduje váhu, kteřou je testovaný vzorek zvážen s přesností na 1 mg. Vzorek je před zkouškou zvážen a hodnota je zaznamenána. Důležité jsou okraje vzorku, ze kterých nesmí docházet k odpadávání materiálu, to by způsobovalo zkreslení výsledků metody. Po určeném počtu otáček je vzorek opět zvážen a je určen rozdíl obou hmotností. Při testování více vzorků je výsledek určen aritmetickým průměrem naměřených hodnot.

Pevnost v tahu – při využití hodnocení výsledků použitím zkoušení pevnosti v tahu je potřebný stroj s konstantní rychlostí prodloužení, uvedený například v odstavci 3.4.2 této práce. Dále musí být z testovaného materiálu vytvořeny dva totožné vzorky. Jeden testovací a druhý referenční. Na testovacím vzorku je provedena zkouška odolnosti proti oděru. Po vykonané zkoušce je vzorek vložen do čelistí přístroje pro vykonání zkoušky pevnosti v tahu. Zkouška pevnosti v tahu je provedena také na referenčním vzorku a hodnoty jsou poté vyjádřeny pomocí rovnice (12). Tato možnost hodnocení vlastností je destruktivní, proto se při použití více hodnotících metod použije jako poslední.

Optická – při této metodě je použito mikroskopu nebo lupy s dostatečným zvětšením materiálu. Vzniklá poškození jsou klasifikována v pěti skupinách od 1 do 5, kde 0 je nepoškozeno a 5 úplné poškození. Touto metodou mohou být zaznamenány poškození – změna barvy, odlupování materiálu, žmolkování, trhání či další změny ve struktuře materiálu.

Elektrický odpor – hodnoty elektrického odporu zkoušené textilie musí být změřeny před i po provedení jedné z metod testování odolnosti smart textilie proti oděru. Na textiliích je možné provést měření elektrického odporu elektricky vodivého motivu i měření povrchového elektrického odporu, obě měření jsou uvedena v kapitole 4.2. Měření je důležité provádět před i po testování na stejném místě textilie. To může být provedeno dvěma způsoby. První je nesmazatelné označení kontaktních bodů přímo na textili. Druhá je použití průsvitné folie, která je přiložena na testovaný vzorek. Na folii musí být označeny body, kdy byly umístěny elektrody a obrys vzorku. Při měření elektrického odporu před testováním vzorku, v průběhu testování po určitém počtu cyklů (například po každých 50 cyklech) a po testování je možné vynést naměřené hodnoty do grafu, ze kterého lze poté předpovídat možné chování vlastností textilie v následujících cyklech.

5 Ověření testovacích postupů

Testovací postupy, uvedené v této kapitole, vychází z metod uvedených v předchozí kapitole a slouží především k ověření uvedených postupů. Podstatné výsledky této kapitoly nejsou číselné hodnoty, ale ověření funkčnosti a proveditelnosti navrženého postupu a případné úpravy v metodě, aby byla aplikovatelná na smart textilie. Protože v postupech měření je nejdůležitější proveditelnost, byla z postupů vyřazena klimatizace vzorků a zkušební místnosti.

5.1 Měření elektrického odporu délkového vlákna

Přístroje použité při měření:

- multimetr Keithley 2010 - e. č. : ZCU20752,
- délkové měřítko,
- závaží.

Zkoušené elektricky vodivé nitě:

- SilveR.Stat (40 % PES, 2 x 13,5 tex),
- Elitex 110/f34_PA/Ag,
- Elitex 110/f34/2ply_PA/Ag,
- AmberStrand Fiber Z-166,
- Liberator Fiber 40.

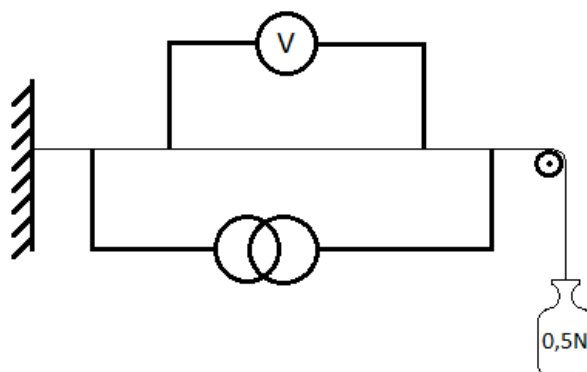
Všechna tato vlákna byla blíže popsána v kapitole 2.5 *Příklady elektricky vodivých vláken*.

Vzorky.

Délka vzorků byla různá pro různá vlákna, protože některé zkoušené materiály byly dodány výrobcem v návinu, některé byly dodány pouze jako vzorky o délce přibližně 20 cm. Počet vzorků je uveden v následujícím přehledu délek a počtu vzorků. V kapitole 4.2.1 *Metoda měření elektrického odporu tenkých vodičů* je uveden potřebný počet vzorků 5, z důvodu nedostatečného počtu vzorků byla některá vlákna měřena pouze na 4 vzorcích. U vláken, kde byl dostupný pouze jeden vzorek byl odpor měřen na 4 různých místech.

- SilveR.Stat – 1 m / 5 vzorků,
- Elitex – 1 m / 4 vzorky,
- Elitex 2ply – 1 m / 4 vzorky,
- AmberStrand – 10 cm / 1 vzorek,
- Liberator – 10 cm / 1 vzorek.

Ze zkoušených materiálů byly odebrány vzorky o příslušné délce. Vzorek byl vždy na jednom konci pevně upevněn a natažen silou 0,5 N dle schématu na *Obr 42*. Hodnota 0,5 N byla stanovena jako dostatečná pro natažení vlákna a splňuje podmínku, že vlákno Elitex může být vystaveno maximální síle při zpracování 150 cN (hodnota z *Tab 2*). Napětí bylo u vzorků měřících 1 m měřeno na vzdálenosti 1 m a proudové elektrody byly vzdáleny 10 cm od napěťových. U vzorků 10 cm bylo napětí měřeno na vzdálenosti 10 cm a proudové sondy vzdáleny 2 cm.



Obr 42: Schematické znázornění měření el. odporu 4 sondami.

Postup zkoušky.

Testovaný vzorek vlákna byl nejdříve upevněn a na jeho druhý konec bylo zavěšeno závaží. Následně byly k vláknu připevněny svorky a byl změřen elektrický odpor metodami 2 a 4 sond uvedenými v kapitole 4.2.1 *Metoda měření elektrického odporu tenkých vodičů*.

Výsledky.

Každá hodnota elektrického odporu R je složena z aritmetického průměru dvou hodnot totožného vzorku s reverzovaným směrem proudu. Proud byl reverzován mechanickým přepojením sond, aby došlo k zamezení vlivu případného nesprávného kontaktu svorky a vlákna. Hodnoty byly odečítány 30 s po připojení sond. V tabulkách výsledků (*Tab 10, Tab 11, Tab 12, Tab 13, Tab 14, Tab 15, Tab 16, Tab 17*) v příloze A jsou hodnoty uvedeny jako 1. hodnota, 2. hodnota a výsledný elektrický odpor vzorku R . Elektrický odpor testovaného materiálu R_c je určen jako aritmetický průměr odporů vzorků R . Hodnota $abs(1. - 2.) h$ je absolutní hodnota rozdílu první a druhé naměřené hodnoty. Sloupec *průměr abs* ve výsledkových tabulkách je vytvořený průměr hodnot rozdílů vyjádřený v procentech. Poslední dva zmíněné sloupce v tabulkách jsou vytvořeny pro ověření metod, kdy přesnější metoda musí mít na stejném dílu zkoušeného vzorku menší rozdíl hodnot. Metoda měření elektrického odporu 4 bodově má teoretické předpoklady být přesnější než při 2 bodovém měření. Toto tvrzení se ukázalo jako pravdivé. Při hodnotách elektrického odporu v jednotkách $k\Omega$ nebyl rozdíl 2 bodové a 4 bodové metody téměř žádný. Při hodnotách v jednotkách $ohmů$ je rozdíl výsledků obou metod výraznější. Grafické zpracování těchto výsledků zobrazuje *Graf 5* v příloze A.

Porovnání měřených výsledků s katalogovými.

Vlákno Elitex 110/f34_PA/Ag má udávanou hodnotu elektrického odporu $70 \pm 20 \Omega/\text{m}$. Při mnou provedených testech na tomto vlákne vychází hodnota přibližně dvojnásobná $145,68 \Omega/\text{m}$ při měření přesnější metodou pomocí 4 sond. Vlákno Elitex 110/f34/2ply_PA/Ag má udávanou hodnotu $20 \pm 10 \Omega/\text{m}$. Laboratorní výsledky ukázaly hodnotu $29,387 \Omega/\text{m}$, tedy hodnotu odpovídající udávané. Vlákno AmberStrand Fiber Z-166 má udávanou hodnotu $1 \Omega/\text{stopu} = 3,281 \Omega/\text{m}$. Výsledkem při testech $2,96103 \Omega/\text{m}$ byla naměřena hodnota nižší, než je udávaná výrobcem. Vlákno Liberator Fiber 40 má hodnotu udávanou výrobcem také $1 \Omega/\text{stopu}$. Naměřená hodnota byla $3,071 \Omega/\text{m}$ a také je menší, než hodnota udávaná výrobcem.

5.2 Ověření metody TLM na vodivých vláknech

Přístroje použité při měření:

- multimetr Keithley 2010 - e. č. : ZCU20752,
- délkové měřítko,
- závaží.

Zkoušené elektricky vodivé nitě:

- SilveR.Stat (40 % PES, 2 x 13,5 tex),
- Elitex 110/f34_PA/Ag,
- Elitex 110/f34/2ply_PA/Ag,
- AmberStrand Fiber Z-166,
- Liberator Fiber 40.

Vzorky.

Při ověření použitelnosti metody TLM pro využití na vodivých vláknech byla metoda ověřována na všech vzorcích vláken v délce 10 cm, u vzorků vláken SilveR.Stat a Elitex byla metoda testována i na délce vzorku 1 m. Při délce vzorku 10 cm bylo určeno 10 úseků měření, každý o délce 1 cm. Při délce vzorku 1 m bylo určeno 10 úseků o délce 10 cm.

Postup zkoušky.

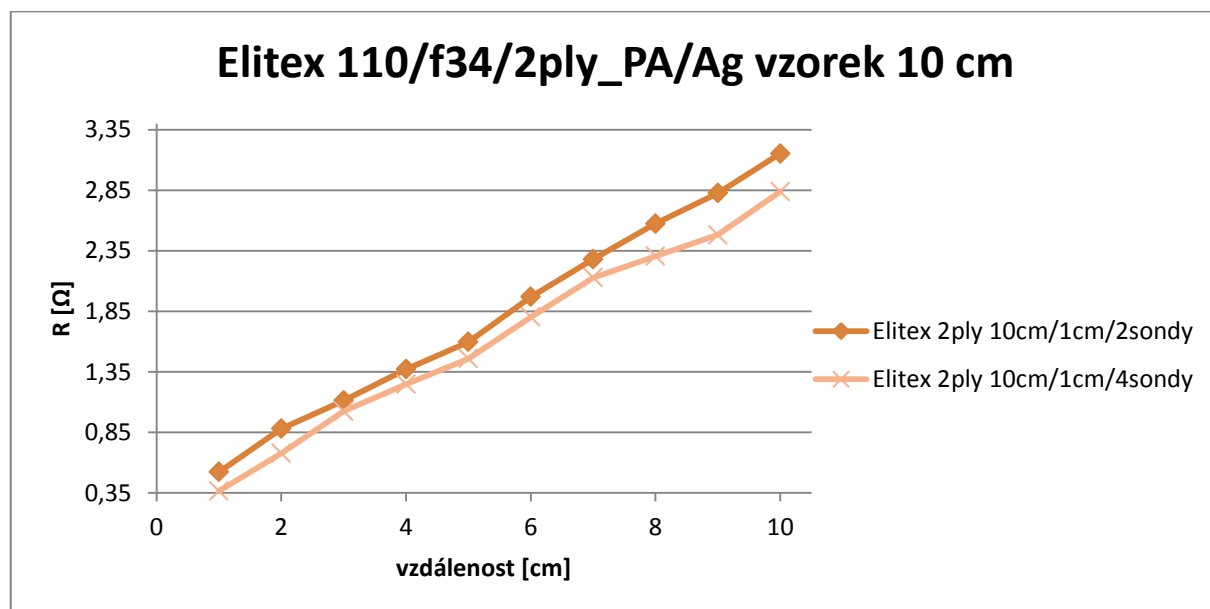
Měřené vlákno bylo napnuto a byly k němu připojeny svorky podle schématu na *Obr 42*. Pro vzorky o délce 10 cm byla hodnota elektrického odporu měřena nejprve pomocí 2 sond a po získání všech deseti hodnot byl stejný vzorek změřen pomocí 4 sond. Vzorky o délce 1 m byly měřeny nejprve pomocí 4 sond, poté byl vzorek vyměněn za jiný vzorek stejného materiálu a byla změřena metoda pomocí

2 sond. Tato změna vzorku mezi měřeními způsobila nemožnost přímého porovnání výsledků metod 2 a 4 sond. Výměnou vzorku byla ověřena větší lineárnost vykresleného průběhu při měření vzorku délky 1 m, protože bylo měřeno na více vzorcích.

Podrobnější postup měření této metody je uveden v odstavci 4.2.1 *Metoda měření elektrického odporu tenkých vodičů*.

Výsledky.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v *Tab 18, Tab 19* v příloze A. Pro vlákna AmberStrand a Liberator bylo naměřeno vždy 13 hodnot na úsecích délky 1 cm, tato dvě vlákna byla měřena pouze metodou 4 sond. Hodnoty pro vzorky délky 10 cm jsou vyobrazeny v grafech: *Graf 9, Graf 10, Graf 11, Graf 12 a Graf 13*. V legendách ke grafům je uvedeno značení podle následujícího klíče: (vlákno) (délka vzorku)/(délka úseku)/(počet sond). *Obr 43* zobrazuje reálný průběh naměřených hodnot pro vlákno Elitex 2ply o délce vzorku 10 cm. Při měření tohoto vlákna pomocí 2 sond byly naměřeny vyšší hodnoty než při měření pomocí 4 sond. Takovýto průběh byl očekáván dle teoretických znalostí. Podobný průběh vykazují všechna měřená vlákna. Průběh grafů vzorků o délce 10 cm je více zvlněný, protože u této délky vzorků je kladena vysoká přesnost na délky jednotlivých úseků vzorku.



Obr 43: Metoda TLM, 2 a 4 sondy, vlákno Elitex 2ply.

Rozdíl hodnot v metodách se dvěma a čtyřmi sondami je opět více znatelný u vodivých vláken s menší hodnotou elektrického odporu, tedy u vláken Elitex a Elitex 2ply (*Graf 11, Graf 12*) oproti vláknu Silver.Stat (*Graf 13*).

Testované vzorky o délce 1 m mají průběh zobrazen v *Graf 6*, *Graf 7*, *Graf 8*. Tento průběh je více lineární než u vzorků o délce 10 cm. Hodnoty metody, jak bylo zmíněno výše, pro 2 a 4 sondy nelze mezi sebou porovnávat z důvodu měření na jiném vzorku, z tohoto důvodu byly metodou se 4 sondami u vlákna SilveR.Stat (*Graf 6*) naměřeny vyšší hodnoty elektrického odporu. V případě, kdy by nebyl vzorek mezi měřeními vyměněn, by měly být přímky v grafu rovnoběžné a přímka naměřená pomocí 4 sond by obsahovala hodnoty odporů nižší o přechodový odpor proudových svorek.

I když je měřen vzorek vlákna o délce 10 cm, je potřeba výsledek uvést v jednotkách Ω/m . Při výpočtu hodnoty elektrického odporu budeme vycházet z rovnice lineární spojnice trendu, která je uvedena v *Graf 11* (použito vlákno Elitex 2ply, měření 4 sondami). Rovnice má tvar $y = 0,2683x + 0,1566$. Dosazením hodnoty $x = 100$ dostaneme $y = 26,83 + 0,1566 = 26,9866$. Hodnota elektrického odporu vlákna Elitex 2ply z hodnot naměřených metodou TLM na vzorku délky 10 cm je tedy $R = 26,9866\Omega/\text{m}$. Mnou naměřená hodnota při měření tohoto materiálu byla $29,387\Omega/\text{m}$ a výrobce udává $20 \pm 10\Omega/\text{m}$. Hodnoty naměřené přímo na vzorku o délce 1 m a hodnota dopočítaná jsou v mezích udávaných výrobcem, proto obě hodnoty i metody, kterými byly získány, lze označit za použitelné.

5.3 Měření povrchového odporu textilií s vodivými vlákny

Přístroje použité při měření:

- multimetr Keithley 2010 – e. č.: ZCU20752,
- sonda pro měření povrchového odporu Model 880,
- závaží na sondu 2,5 kg – použita sonda model 850.

Zkoušené materiály:

- pletenina oboustranně hladká 30 % SilveR.Stat / 30 % Shieldex / 40 % bavlna – vzorek č. 4,
- tkanina 60 % SilveR.Stat / 40 % PES – vzorek č. 5,
- tkanina 60 % Shieldex / 40 % PES – vzorek č. 6.

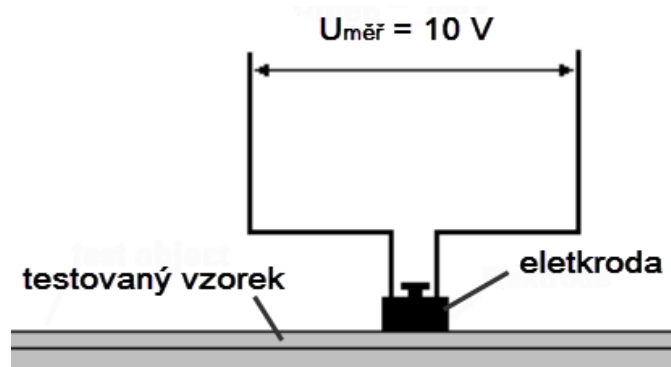
Zkušební vzorky.

Zkušební vzorky byly stanoveny jako místa na zkoušených materiálech, která neobsahovala přehyb či šev materiálu. Vzorky nebyly z materiálu vystřihovány z důvodu zničení zkoušeného materiálu, tuto možnost povoluje norma 3.2.3 ČSN EN 1149-1. Počet vzorků byl stanoven na 10. V průběhu zkoušky byl u materiálů

vykazujících velké rozdíly hodnot zvýšen na 12 z důvodu ověřování splnitelnosti podmínky z normy ČSN 80 0059, která stanovuje podíl maximální a minimální hodnoty v souboru výsledků - musí být menší než 3,2. Tato podmínka se při zpracování výsledků ukázala jako splnitelná i pro smart textilie. Materiály byly zkoušeny na povrchový elektrický odpor na rubové i lícové straně.

Postup zkoušky.

Postup byl prováděn dle navržené metody 4.2.2 *Metoda měření povrchového elektrického odporu*, který je již upraven o poznatky získané při testování proveditelnosti metody. Schématické znázornění zapojení je zobrazeno na Obr 44.

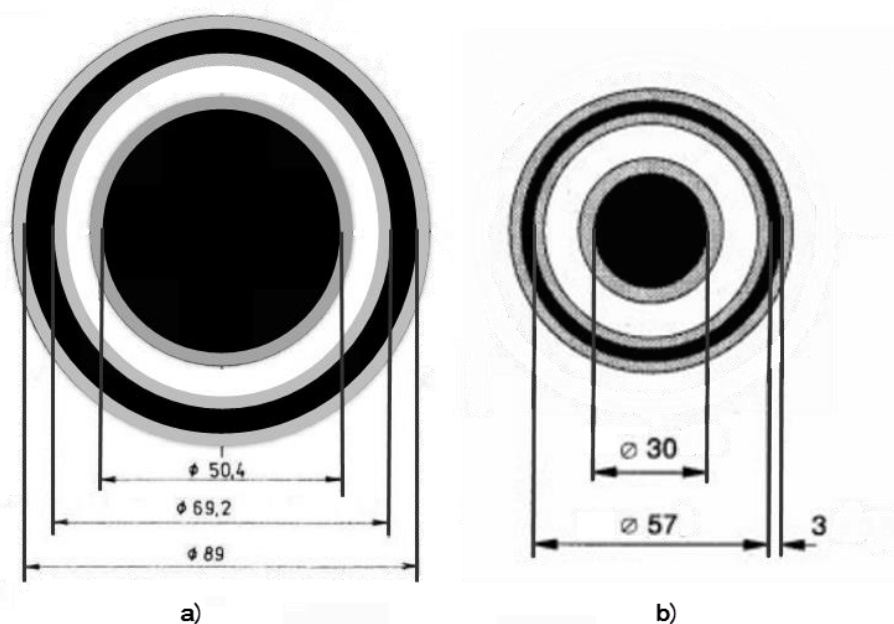


Obr 44: Znázornění zapojení měření povrchového odporu. Převzato z [47]

Výsledky.

Výsledky byly zpracovány do tabulek *Tab 20*, *Tab 21*, *Tab 22* v příloze B. V tabulkách sloupec *R* označuje naměřené hodnoty, *maximum* zobrazuje maximální hodnotu z použitých hodnot, *minimum* zobrazuje minimální hodnotu z použitých hodnot, *podíl max/min* je počítán z důvodu určení vyhovění zmíněnému kritériu (musí být menší než 3,2), *Rs* je geometrický průměr použitelných hodnot ze sloupce *R* a tedy výsledný povrchový odpor zkoušené strany materiálu.

V tabulkách v příloze B jsou některé hodnoty zobrazeny červeně. Tyto hodnoty byly vyřazeny ze souboru naměřených hodnot jako nepoužitelné. Určení použitelnosti hodnot probíhalo při zpracování dat. Při určení použitelnosti byl počítán podíl *max/min* a byly vyřazovány ty hodnoty, které tento podíl nejvíce ovlivnily. Toto vyřazování probíhalo do doby, dokud byl poměr větší než 3,2. Bylo nutné, aby v souboru dat zbyla čtyři použitelná data, která vyžaduje norma ČSN 80 0059. Toto kritérium bylo splněno u všech vzorků a je možné ho docílit vyšším počtem vzorků (v mém případě) nebo průběžným počítáním daného podílu (levnější varianta při získávání vzorků z materiálu jeho rozstříháním).



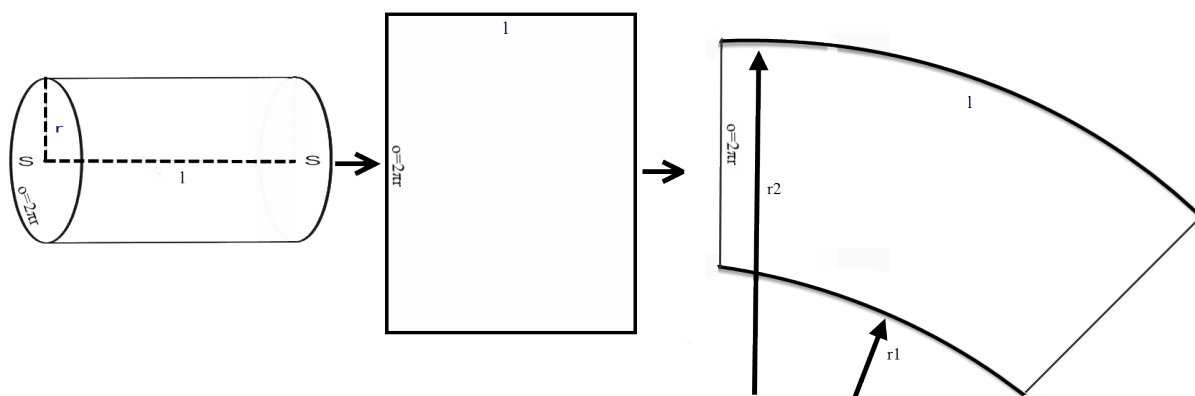
Obr 45: Sondy. a) sonda pro textilní průmysl
b) použitá sonda. Převzato z [28][29][47]

Z uvedeného Obr 45 je patrné, že hodnota zobrazená na měřicím přístroji, při použití jedné nebo druhé sondy, bude různá. Sonda Obr 45 a) je používána v textilním průmyslu a je uvedena v normách ČSN 80 0059 a ČSN EN 1149-1. Sonda Obr 45 b) je používána v elektrostatice. Obě tyto sondy testují hodnotu elektrického povrchového odporu na ploše mezikruží. Je tedy vhodné stanovit koeficient, který umožní přepočet. Přepočet by měl být možný mezi jakýmkoli koncentrickými sondami, neboť je závislý pouze na poloměrech sondy.

Základním vzorcem pro výpočet elektrického odporu je:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (13)$$

Tento vztah platí pro vodiče kruhového průřezu. Povrchový odpor je měřen pouze na povrchu materiálu, nepočítá se tedy s tloušťkou zkoušeného materiálu. Při zanedbání tloušťky materiálu je tedy možné plochu S nahradit obvodem vodiče (lze si představit, že všechen proud teče po povrchu vodiče s kruhovým průřezem).



Obr 46: Znáznornění rozvinutí pláště válce a jeho „vytvarování“ do mezikruží.

Rozvineme-li plášť válce, dostaneme vzdálenost rovnu obvodu. Tato vzdálenost je nyní vzdálenost elektrod a délka předchozího vodiče je délka obvodu kruhových elektrod. Protože obvod vnitřní elektrody a vnější elektrody je rozdílný, použijeme pro výpočet integrál. Spočtením proudové hustoty mezi oběma elektrodami a následnými kroky se dostaneme k integrálu od poloměru r_1 do poloměru r_2 . Proces rozvinutí a poloměry jsou znázorněny na Obr 46.

$$J = \frac{I}{S} \quad (14)$$

Plochu, jak bylo zmíněno, nahradíme jejím obvodem.

$$J = \frac{I}{2\pi r} \quad (15)$$

Napětí mezi elektrodami o poloměru r_1 a r_2 dostaneme pomocí integrace intenzity elektrického pole E .

$$U = \int_{r_1}^{r_2} E dr \quad (16)$$

kde intenzita elektrického pole je definována

$$E = J\rho \quad (17)$$

dosazením (15) do (17) a zároveň výslednou intenzitu do vztahu (16)

$$U = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\rho I}{2\pi r} dr = \frac{\rho I}{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r} dr = \frac{\rho I}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (18)$$

použijeme Ohmův zákon pro výpočet elektrického odporu

$$R = \frac{U}{I} \quad (19)$$

za napětí dosadíme výsledek z (18) a vykrátíme proud I

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (20)$$

při vyjádření měrné povrchové rezistivity ρ

$$\rho = \frac{2\pi}{\ln \frac{r_2}{r_1}} R \quad (21)$$

hledaná konstanta je ze vztahu (21) vše kromě elektrického odporu R

$$k = \frac{2\pi}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (22)$$

Při použití konstanty (22) lze porovnávat hodnoty povrchových odporů měřené různými koncentrickými sondami.

5.4 Zkouška tažnosti a pevnosti

Přístroje použité při měření:

- trhací stroj LabTest 3.030 – e. č.: ZCU21923,
- zaznamenávací zařízení (PC),
- délkové měřítko.

Zkoušené materiály:

- elektricky vodivá nit Silver.Stat (40% PES, 2x13,5 tex) – písmeno značení: s,
- textilní testovací nit žlutá – vzorek č. 2, písmeno značení: z,
- textilní testovací nit bílá – vzorek č. 3, písmeno značení: b.

Zkušební vzorky.

Zkušební vzorky byly odebrány z návinů v délkách 50 + 40 mm a 250 + 40 mm. Z délky vzorku je 40 mm určených k upnutí vzorku do čelistí trhacího stroje. Zkoušených vzorků bylo odebráno ve většině případů šest. V některých případech bylo měření prováděno až na patnácti vzorcích zkoušeného materiálu. Zkoušené materiály nebyly klimatizovány.

Postup zkoušky.

Zkouška prováděná při testování elektricky vodivých i nevodivých vláken byla prováděna za účelem ověření metody uvedené v kapitole 4.3.7 *Pevnost elektricky vodivých vláken v tahu*. Při zkoušce bylo důležité ověřit proveditelnost metody. Při testování byly použity kromě elektricky vodivého vlákna také dvě běžné textilní nitě blíže nespecifikovaných materiálů a jemností z důvodu zkoušení postupu na vláknech různého složení a různých jemností.

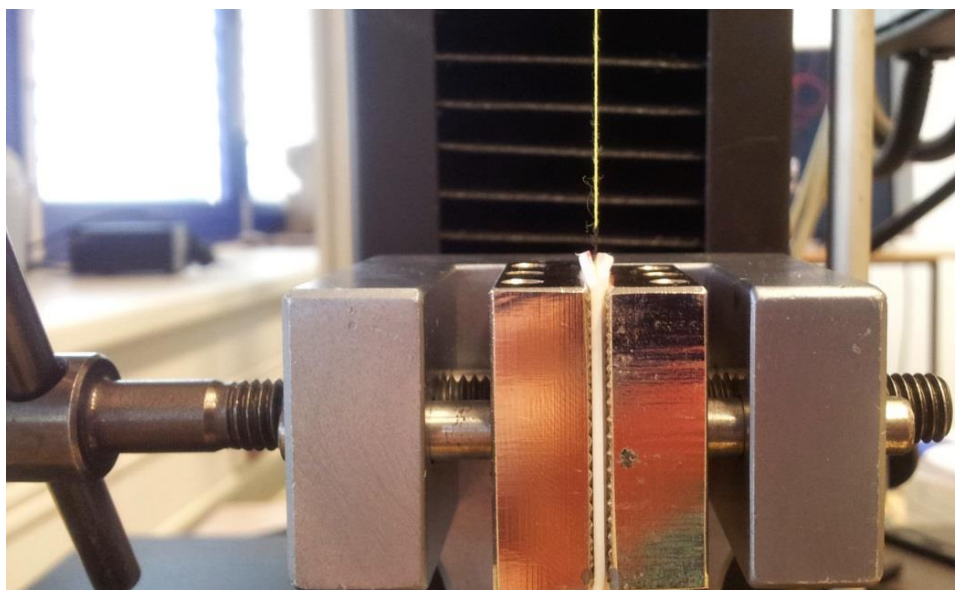
Na začátku zkoušky bylo potřeba nastavit čelisti trhacího stroje na potřebnou vzdálenost podle určené délky vzorku. Použité délky vzorku byly 50 mm a 250 mm

plus délka potřebná pro upnutí vzorku v čelistech. Jako první byla nastavena délka vzorku 50 mm. Pro všechny vzorky a délky byla nastavena rychlost posuvu čelistí na 40 mm/min, pro některé vzorky byla nastavena i jiná rychlost z důvodu testování možné závislosti. Vzorek byl upnut do čelistí, byla vytvořena značka (označující prokluz vlákna v čelistech) a otestován. Zaznamenávané hodnoty byly maximální síla [N], maximální prodloužení [mm] a pomocí sw byl vykreslován graf, ze kterého bylo možné odečíst případné prokluzování vlákna v čelistech. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v Tab 23 v příloze C.

Nejdůležitější výsledek pro zjištění funkčnosti metody je množství použitelných výsledků. Použitelný výsledek je takový, při kterém testované vlákno neprokluzovalo v čelistech trhacího stroje nebo nedošlo k přetržení testovaného vlákna přímo v čelistech nebo ve vzdálenosti menší než 5 mm od čelistí (ČSN EN ISO 2062 (80 0700)).

Provedené úpravy na testovacím postupu.

Při vložení vzorku do čelistí přístroje docházelo k přetržení vzorku v čelistech při každém testovacím pokusu. Důvodem pro tento jev bylo oslabení vlákna tlakem čelistí. Při řešení problému bylo vyzkoušeno několik způsobů, jak problém eliminovat. Možnost, při které se podařilo problém eliminovat, bylo použití tenkých gumových podložek umístěných mezi čelisti a zkoušený vzorek. Uchycení vzorku, které problém vyřešilo, je zobrazeno na následujícím obrázku.



Obr 47: Čelisti přístroje s upnutým vzorkem a gumovými podložkami.

Při ověřování proveditelnosti metody bylo zkoumáno také prokluzování vzorku v čelistech. Prokluzování vzorku je patrné z grafu, který je při zkoušce průběžně vykreslován na monitoru. Pro testovací účely bylo toto tvrzení ověřeno pomocí značky na zkoušeném vlákne. Na vlákne zkoušeném na

Obr 47 je patrná značka, která označuje polohu vlákna. Značka byla vytvořena pomocí popisovače v těsné blízkosti čelisti. Na obrázku je vlákno, které neprokluzovalo. Došlo-li by k prokluzu vlákna, posunula by se značka nahoru. Značku je vhodné zkontrolovat po přetržení vlákna, při určování platnosti výsledku. Tato metoda je vhodná pro použití i bez zařízení vykreslující graf průběhu.

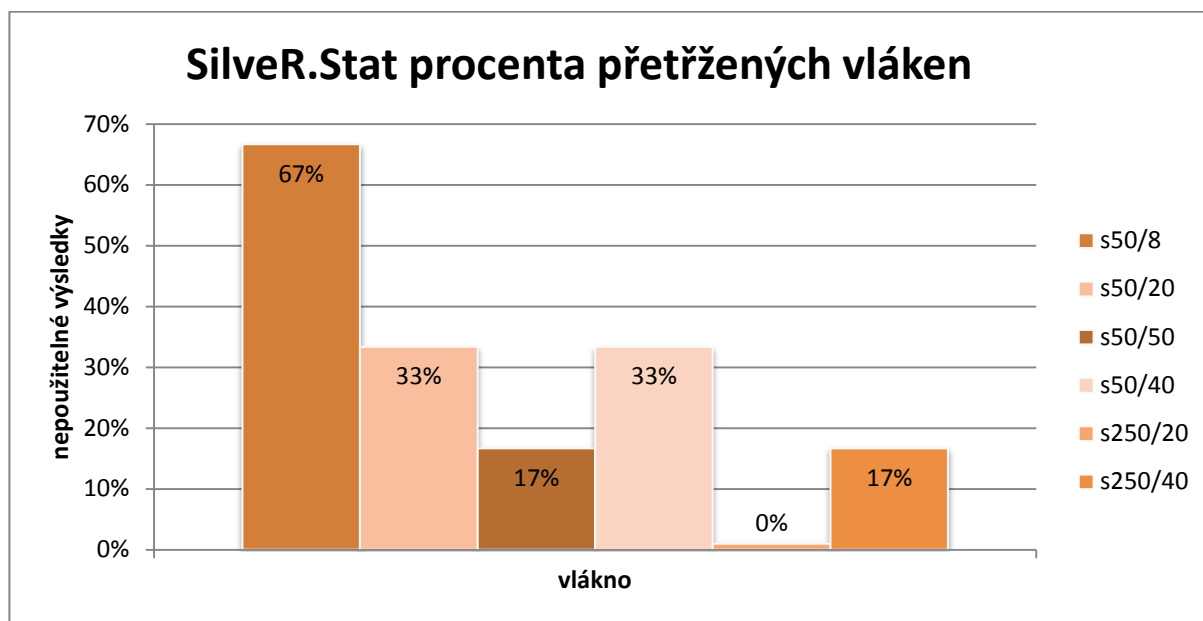
Výsledky.

Tabulka naměřených hodnot je v příloze C. Hodnoty v tabulce jsou hodnoty naměřené na třech uvedených testovaných vláknech. Výsledky měření prováděných při pokusech o eliminaci problémů s přetržením vzorků ve svorkách a prokluzu vzorků nejsou v tabulce uvedeny. V tabulce *Tab 23: Naměřené a nastavené hodnoty.* jsou hodnoty (červeně), které jsou nevyhovující. U nevyhovujících výsledků došlo i přes provedená opatření k přetržení vlákna ve svorkách nebo k prokluzu vlákna většímu než 2 mm (uvádí norma ČSN EN ISO 2062 (80 0700)). Nemožnost dosáhnout 100 % použitelnosti výsledků je uvedena i v textilních normách. Je tedy důležité místo přetržení a prokluz kontrolovat.

Z naměřených výsledků byly vytvořeny grafy.

Graf 1 ukazuje nepoužitelné výsledky vyjádřené v procentech pro vlákno SilverR.Stat pro různé délky a rychlost posuvu čelistí. Značení vláken v grafech je vždy (vlákno)(délka)/(rychlost posuvu čelistí), tedy například s50/8 – vlákno SilverR.Stat, délka vzorku 50 mm, rychlost posuvu čelistí 8 mm/min.

Graf 1: Procentuální vyjádření neplatných výsledků. Vodivé vlákno.



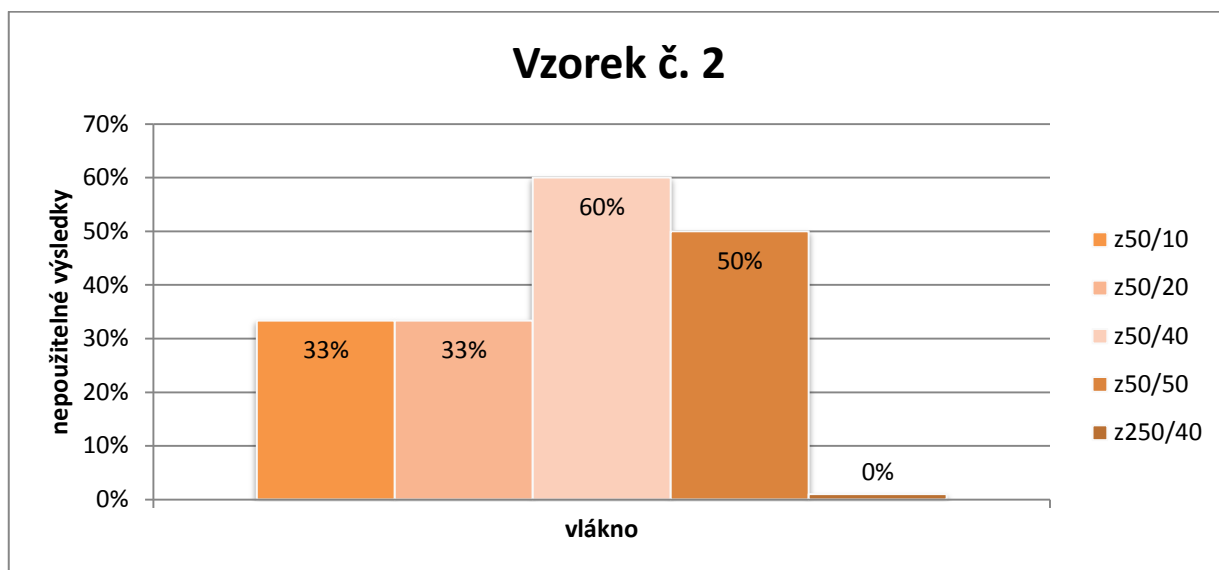
Vlákno SilveR.Stat mělo při délce vzorku 250 mm a rychlosti posuvu čelistí 20 mm/min všechny výsledky testů platné. Při délce vzorku 50 mm a rychlosti 8 mm/min byla platné pouze 33 % výsledků. Z hodnot pro vzorky s50/20, s50/40, s50/50 lze soudit, že při délce vlákna 50 mm má rychlost čelistí velice malý vliv na použitelnost výsledků. Totéž platí pro vlákna s250/20 a s250/40. U elektricky vodivého vlákna SilveR.Stat je tedy nejdůležitějším parametrem, který zvyšuje platnost výsledků, délka vzorku.

Tab 7: Průměrné hodnoty pro elektricky vodivé vlákno SilveR.Stat.

vlákno	tažnost [mm]	tažnost [%]	síla [N]
s50/8	6,925	13,85	4,88
s50/20	6,333	12,67	4,86
s50/40	6,924	13,85	5,22
s50/50	6,308	12,62	4,70
s250/20	21,865	8,75	3,72
s250/40	24,716	9,89	4,53

V Tab 7 jsou uvedeny hodnoty pro vlákno SilveR.Stat. Hodnoty jsou počítány jako aritmetický průměr platných hodnot z Tab 23 v příloze C.

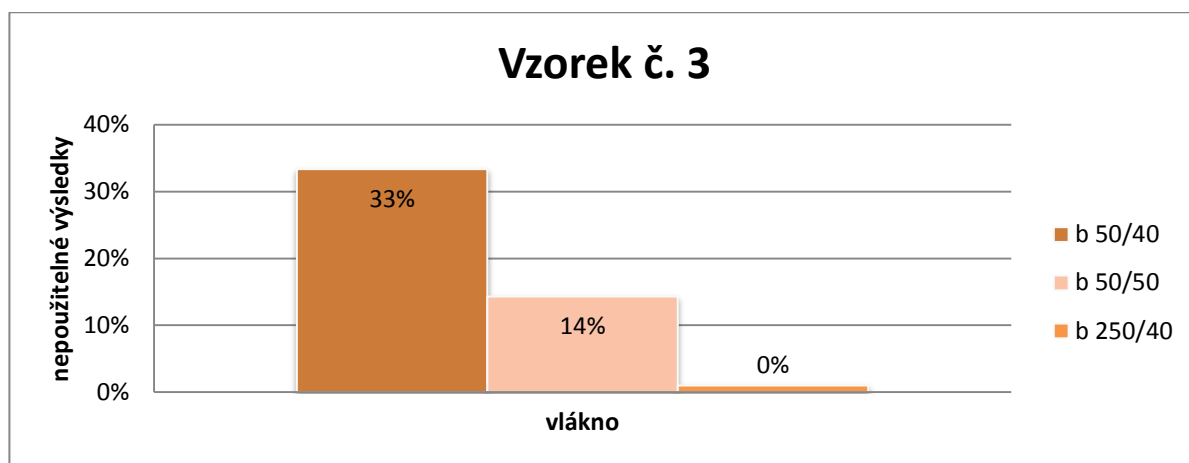
Graf 2: Procentuální vyjádření neplatných výsledků. Vzorek č. 2.



Výsledky vzorku č. 2 (Graf 2) na použitelnost výsledků jsou obdobné jako u vlákna SilveR.Stat. Při délce vzorku 50 mm záleželo na rychlosti posuvu čelistí velmi málo, procentuálně nejvyšší nepoužitelné výsledky byly při rychlosti 40 mm/min. Tato rychlost není nejvyšší ani nejnižší z testovaných, tento výsledek tedy nedokazuje závislost nevyhovujících výsledků v závislosti na rychlosti posuvu čelistí. Vzorek č. 3 má také 100 % použitelnost výsledků při délce 250 mm.

Při ověřování metody se ukázal být nejdůležitější parametr délka vzorku, která je tímto doporučena na 250 mm.

Graf 3: Procentuální vyjádření neplatných výsledků. Vzorek č. 3.



5.5 Zkouška závislosti elektrického odporu a pružnosti

Přístroje použité při měření:

- trhací stroj LabTest 3.030 – e. č.: ZCU21923,
- PC (pro nastavení cyklu pružnosti),

- multimetr Keithley 2010 (ohmmetr),
- délkové měřítko.

Zkoušené materiály:

- elektricky vodivá nit SilveR.Stat (40 % PES, 2 x 13,5 tex).

Zkušební vzorky.

Pro měření elektrického odporu při této metodě je vhodné použít délku vzorku 100 cm. V rozsahu trhacího stroje nebyla délka 100 cm umožněna. Byla tedy zvolena délka 60 cm + 20cm. 60 cm byla vzdálenost čelistí stroje, 20 cm je přidáno z důvodu měření odporu pomocí čtyř sond, proudové sondy byly vzdáleny 10 cm na každé straně a odpor byl měřen na zatěžovaných 60 cm.

Postup zkoušky.

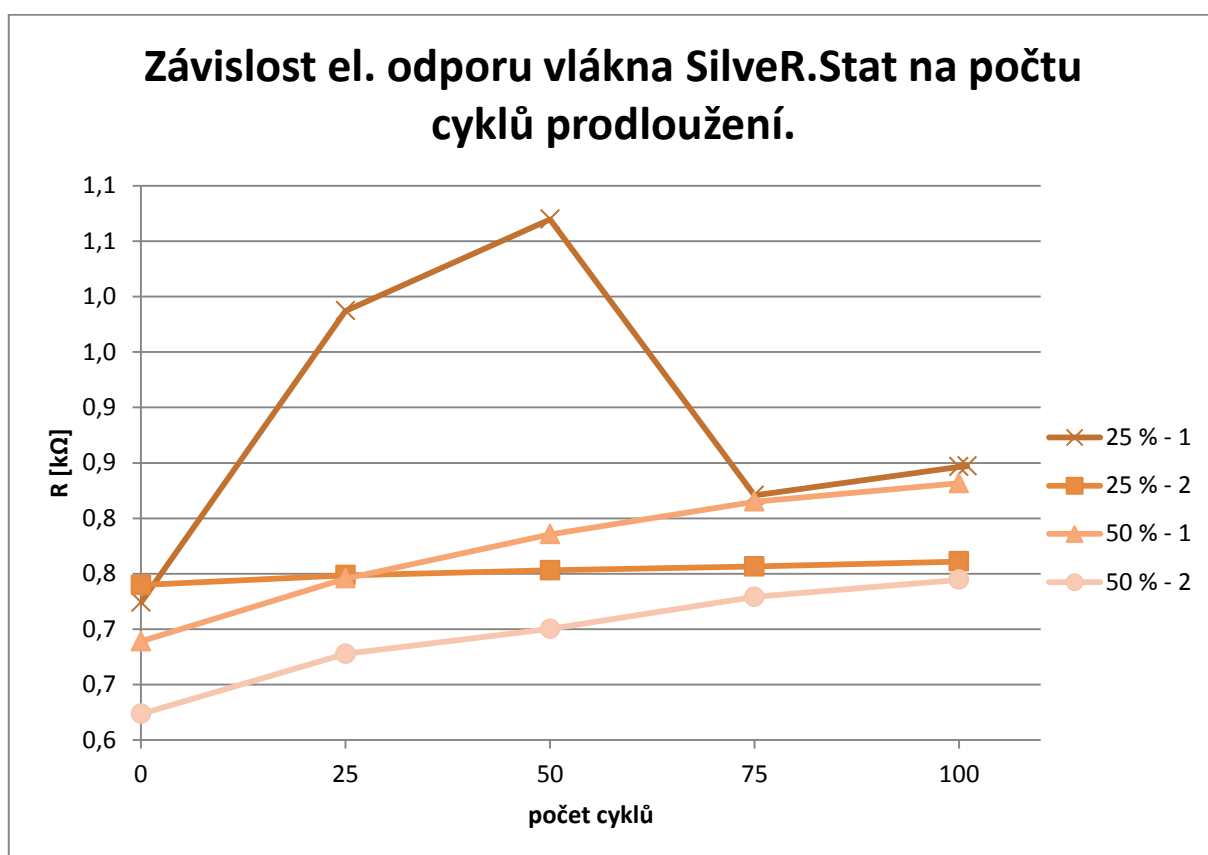
Na začátku byly na zkušebním vzorku vyznačeny popisovačem body, které byly vzdáleny 60 cm z důvodu měření elektrického odporu a namáhání na stále stejném místě vzorku. Bylo provedeno měření elektrického odporu vzorku a výsledek tohoto měření byl stanoven jako elektrický odpor vlákna bez namáhání. Na vzorku stejného vlákna stejné délky bylo změřeno prodloužení vlákna při přetrhu, aby byla zjištěna délka cyklického namáhání vzorku. Vzorek o délce 60 cm byl při zkoušce prodloužen o 47,19 mm. Tato hodnota byla stanovena jako 100 % prodloužení. Následně bylo vypočítáno prodloužení 25 % $prodloužení = \frac{25}{100} \cdot 47,19 = 11,7975 \cong 12 \text{ mm}$. Vzorek byl namáhán v cyklech. Délka vzorku při jednom cyklu byla vždy ze 600 mm zvětšena na 612 mm a zpět. Po každých 25 cyklech byl na vzorku změřen elektrický odpor. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab 24 v příloze D. Elektrický odpor byl měřen pomocí systému 4 sond. Vlákno bylo při měření elektrického odporu napnuto silou 0,5 N. Schematické znázornění měření je zobrazeno na Obr 42. Měření byla vždy provedena dvě, v tabulce s naměřenými hodnotami jsou uvedeny jako 1. hodnota a 2. hodnota. Mezi měřeními byl obrácen směr proudu ve vlákne (byly manuálně přepojeny svorky). Elektrický odpor byl vypočítán jako aritmetický průměr těchto dvou hodnot.

Elektrický odpor vlákna byl měřen vždy ihned po dokončení skupiny cyklů. Po každé skupině cyklů bylo na vlákne viditelné prodloužení, při posledním cyklu (po 100 cyklech) bylo vlákno změřeno ihned a po 5 minutové relaxaci, po které vlákno získalo zpět svou původní délku. Tento časový rozdíl se ukázal jako nepotřebný, neboť vlákno mělo téměř shodný elektrický odpor ihned po ukončení

napínacích cyklů i po 5 minutách relaxace. 5 minutová relaxace vlákna tedy byla provedena pouze u prvního měřeného vzorku (v *Graf 4 – 25 % - 1*).

První měření vlákna po zanesení do grafu ukázalo neočekávaný průběh hodnoty elektrického odporu. Z tohoto důvodu byla provedena další tři měření. Hodnoty pro tato tři měření jsou uvedeny v *Tab 25, Tab 26, Tab 27* v příloze D. Po vynesení hodnot uvedených v grafu jako *25 % - 2* (prodloužení 25 % maxima – druhý vzorek) je patrné, že prodloužení 25 % má na vlákno SilveR.Stat malý vliv a elektrický odpor s přibývajícím počtem cyklů roste velmi pomalu. Z tohoto důvodu bylo prodloužení nastaveno na 50 % maximální hodnoty a byly změřeny hodnoty na dalších dvou vzorcích – *50 % - 1* a *50 % - 2*. Z průběhu hodnot v grafu je zřejmé, že 50 % prodloužení má na růst elektrického odporu větší vliv. Vzorky vlákna SilveR.Stat ve všech případech zůstaly neporušené a nedošlo k přerušení vedení elektrického proudu.

Graf 4: Výsledky cyklického prodlužování vlákna do 25% a 50 % maximálního prodloužení.



6 Závěr

Spolehlivost vodivých motivů v textilních substrátech je velice důležitá, zajímavá a rozsáhlá problematika. Při rozsáhlosti tématu je zřejmé, že všechny části tohoto tématu nemohou být popsány do stejné hloubky. Hlavní přínos této diplomové práce je v nalezení zkušebních postupů, které lze využít při sestavování norem pro odvětví smart textile. Ne všechny postupy uvedené v normách či prostudované literatuře byly pro účely této práce použitelné a velká část práce věnovaná tomuto tématu spočívala v získávání informací z použitých postupů různých vývojových týmů, které ve svých pracích uvádí velmi obecné parametry provedených zkoušek. Na základě jimi uváděných zkoušek není možné ověřit výsledky a mnohdy ani provést zkoušku z důvodu nedostatku informací ohledně zkušebního postupu.

Ve 4. kapitole této diplomové práce jsou uvedeny především modifikace postupů, které umožňují použití postupů v odvětví smart textilií. U některých norem pro textilní průmysl je nemožné výsledek kvantifikovat, součástí navrhovaných modifikací je snaha tuto skutečnost odstranit a výsledky tak vždy vyjadřovat pomocí měřitelných veličin.

V části ověřování navrhovaných postupů byla ověřena proveditelnost postupů na vzorcích některých materiálů uvedených v teoretické části práce. Ověřeny byly především postupy týkající se elektrických vlastností smart textilií. Při ověřování byly zjištěny potřebné modifikace navrhovaných postupů a tyto modifikace byly do postupů doplněny. Tato část diplomové práce také obsahuje zpracování výsledků, kterých testované materiály dosáhly a jejich porovnání s parametry udávanými výrobcí.

Hodnoty výsledků testování mechanických vlastností, kterých dnešní smart textilie dosahují, by se v budoucnu měli přibližovat hodnotám, kterých dosahují textilní materiály. Hodnoty výsledků elektrických vlastností se budou naopak přibližovat hodnotám, kterých je dnes dosahováno v elektronice.

V době konečných úprav probíhajících na této diplomové práci začíná evropská komise pro technickou normalizaci – CEN zpracovávat první normu týkající se smart textilií. V připravované normě půjde o definice, názvosloví, klasifikaci a aplikace. Tato skutečnost vypovídá o aktuálnosti tématu této práce.

Použitá literatura a informační zdroje

- [1] Meissner, B., Zilvar V.. *Fyzika polymerů: Struktura a vlastnosti polymerních materiálů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987, 306 s.
- [2] *Vliv lehčené struktury na elektrické vlastnosti polymerních kompozitů s elektrovedivými plnivými* [online]. 2012 [cit. 2013-12-14]. ISSN 1104-1109. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2012_12_1104-1109.pdf
- [3] Xia C., L. Lee, J., Widya, T., Christopher Macosko, Polyurethane nanocomposites foams: processing, structure and properties, *Polymer*, Volume 46, Issue 3, 26 January 2005, ISSN 0032-3861. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032386104011322>
- [4] *R.Stat - Technical Fibres* [online]. 1999 [cit. 2013-11-13]. Dostupné z: <http://www.r-stat.fr>.
- [5] Použití vláken: souhrn vlastností. *Eltex* [online]. 2003 [cit. 2013-11-13]. Dostupné z: <http://www.skolatextilu.cz/vlakna/index.php?page=15>.
- [6] Vlastnosti vláken. *Katedra textilních materiálů* [online]. 2006 [cit. 2013-11-13]. Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/20060106/VlastnostiVlaken-prednaska7.pdf>.
- [7] Inteligentní materiály aneb smart materials. ONDRUCH, Pavel. Chempoint [online]. 2011 [cit. 2013-12-05]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/inteligentni-materialy-aneb-smart-materials>
- [8] Andrlé, Michal. Technologie a budoucnost: Chytré materiály, které mění svět. *21. století* [online]. 2011 [cit. 2013-12-05]. Dostupné z: <http://21století.cz/blog/2011/03/23/technologie-a-budoucnost-chytre-materialy-ktere-meni-svet/>
- [9] Sodomka. Současný stav v oboru inteligentních a interaktivních textilií [online]. 2006, 14. 2. 2007 [cit. 2013-12-05]. Dostupné z: <http://www.mateo.ntc.zcu.cz/doc/Stav.doc>
- [10] Vlastnosti vláken. *Katedra textilních materiálů* [online]. 2006 [cit. 2014-02-13]. Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/20060106/VlastnostiVlaken-prednaska9.pdf>.
- [11] Tvarování textilních materiálů. [online]. [cit. 2014-02-18]. Dostupné z:

- <http://media1.webgarden.cz/files/media1:510591294b7b4.pdf.upl/tepeln%C3%A9+p%C5%99echody,sorpce,viskozita.pdf>.
- [12] Verstraeten, S. *Electrically conductive yarn comprising metal fibers* [patent]. US 6957525. Uděleno 13. 05. 2003. Dostupné z: <https://www.google.com/patents/US6957525>.
- [13] *Textile world* [online]. 2014 [cit. 2014-02-26]. ISSN 0040-5213. Dostupné z: <http://www.textileworld.com/>.
- [14] Rehnby, W., Gustafsson, M. a Skrifvars, M.. *Coating of Textile Fabrics with Conductive Polymers for Smart Textile Applications* [online]. [cit. 2014-03-04]. Dostupné z: <http://bada.hb.se/bitstream/2320/4110/2/RehnbyGustafssonSkrifvarsAmbience08.pdf>.
- [15] Yang, K., Torah, R., Wei, Y., Beeby, S. a Tudor, J.. Waterproof and durable screen printed silver conductive tracks on textiles. *Textile Research Journal* [online]. 2013-11-28, vol. 83, issue 19, s. 2023-2031 [cit. 2014-03-03]. DOI: 10.1177/0040517513490063. Dostupné z: <http://trj.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/0040517513490063>.
- [16] Karaguzel, B., Merritt, C. R., KANG, T., Wilson, J. M., Nagle, H. T., Grant, E., Pourdeyhimi B.. Flexible, durable printed electrical circuits. *Journal of the Textile Institute* [online]. 2009-03-09, vol. 100, issue 1, s. 1-9 [cit. 2014-03-04]. DOI: 10.1080/00405000802390147.
- [17] Gimpel, S., Mohring, S., Muller, H., Neudeck, A., Scheibner, W.. Textile-Based Electronic Substrate Technology. *Journal of Industrial Textiles* [online]. 2004-01-01, vol. 33, issue 3, s. 179-189 [cit. 2014-03-06]. DOI: 10.1177/1528083704039828. Dostupné z: <http://jit.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/1528083704039828>.
- [18] ČSN EN ISO 139. *Textilie. Normální ovzduší pro klimatizování a zkoušení*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [19] ČSN EN ISO 139 změna A1. *Textilie. Normální ovzduší pro klimatizování a zkoušení*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [20] ČSN IEC 721-2-1. *KLASIFIKACE PODMÍNEK PROSTŘEDÍ. Část 2: Podmínky vyskytující se v přírodě. Teplota a vlhkost vzduchu*. Praha: Český normalizační institut, 1995.
- [21] ČSN 80 0059. *Textilie. Stanovení elektrického odporu*. Praha: Český normalizační institut, 1986.

- [22] ČSN 42 0475. *Zkoušení kovů. Stanovení měrného elektrického odporu a vodivosti*. Praha: Český normalizační institut, 1984.
- [23] *Produktion textiler Flächen und Spezialfaden* [online]. 2006 [cit. 2014-04-02]. Dostupné z: <http://www.imbut.de/>.
- [24] Rebouillat, S., Lyons, M. E. G. Measuring the Electrical Conductivity of Single Fibres. In: *International Journal of electrochemical science* [online]. 2011-11-01, vol. 6, s. 5731-5740 [cit. 2014-03-06].
- [25] Dhawan, A., Seyam, A. M., Ghosh, T. K., Muth, J. F.. Woven Fabric-Based Electrical Circuits: Part I. *Textile Research Journal* [online]. 2004-10-01, vol. 74, issue 10, s. 913-919 [cit. 2014-04-09]. DOI: 10.1177/004051750407401011. Dostupné z: <http://trj.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/004051750407401011>.
- [26] Schwarz, A., Kazani, I., Cuny, L., Hertleer, C., Ghekiere, F., De Clercq, G., De Mey, G., Van Langenhove, L.. Electro-conductive and elastic hybrid yarns – The effects of stretching, cyclic straining and washing on their electro-conductive properties. *Materials* [online]. 2011, vol. 32, 8-9, s. 4247-4256 [cit. 2014-04-10]. DOI: 10.1016/j.matdes.2011.04.021.
- [27] ČSN ISO 6330. *Textilie. Postupy domácího praní a sušení pro zkoušení textilií*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [28] ČSN 80 0858. *Zkoušení tuhosti a pružnosti plošných textilií*. Praha: Český normalizační institut, 1974.
- [29] ČSN EN ISO 1421. *Textilie povrstvené pryží nebo plasty. Stanovení pevnosti a tažnosti*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [30] ČSN EN ISO 5079. *Textilie – Vlákna. Zjišťování pevnosti a tažnosti jednotlivých vláken při přetrhu*. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [31] ČSN EN 1149-1. *Ochranné oděvy - Elektrostatické vlastnosti. Zkušební metoda pro měření povrchového měrného odporu*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [32] ČSN 64 7029. *Zkoušení syntetických usní. Stanovení odolnosti proti opakovanému ohybu*. Praha: Český normalizační institut, 1980.
- [33] ČSN EN ISO 12947-3. *Textilie - Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale – Část 3: Zjišťování úbytku hmotnosti*.

- Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [34] Waar moet u op letten?. *Smits Design Center* [online]. 2011 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z:http://www.totaalwonen.nl/waarop_letten.
- [35] ČSN EN ISO 12947-3 změna Z1. *Textilie - Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale – Část 3: Zjišťování úbytku hmotnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [36] ČSN EN ISO 32100. *Textilie povrstvené pryží nebo plasty - Fyzikální a mechanické zkoušky - Stanovení odolnosti v ohybu flexometrickou metodou*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [37] ČSN EN 1735. *Textilie povrstvené pryží nebo plasty - Zjišťování ohebnosti*. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [38] ČSN EN ISO 7854. *Textilie povrstvené pryží nebo plasty: Zjišťování odolnosti proti poškození ohybem*. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [39] ČSN EN ISO 5470-2. *Textilie povrstvené pryží nebo plasty - Zjišťování odolnosti v oděru - Část 2: Oděrací přístroj Martindale*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [40] ČSN EN ISO 5470-1. *Textilie povrstvené pryží nebo plasty - Zjišťování odolnosti v oděru - Část 1: Taberův přístroj na zkoušení oděru*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [41] Zkušební Technika - taberův přístroj - zjišťování odolnosti v oděru. *Zkušební Technika, Jan Řezáč* [online]. 1999 [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: <http://www.zkusebni-technika.cz/taber.htm>.
- [42] ČSN EN ISO 13427. *Geotextilie a výrobky podobné geotextiliím -Napodobení poškození oděrem (zkouška kluzným blokem)*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [43] Textilní zkušebnictví: část V. *Technická Univerzita v Liberci* [online]. 2011 [cit. 2014-04-14]. Dostupné z:http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/20120424/zkt6_11.pdf.
- [44] ČSN EN ISO 2062. *Textilie - Nitě na návinech - Zjišťování pevnosti a tažnosti jednotlivých nití při přetrhu pomocí přístroje s konstantní rychlostí prodloužení (CRE)*. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [45] *Kalibrační přístroje, Měřicí přístroje, Průmyslová automatizace* [online]. 2014 [cit. 2014-04-20]. Dostupné z:<http://www.meatest.cz/>.

- [46] Zkoušky kompozitních materiálů - TechNet: Vybrané testování metody. *TechNet | Nové materiály a technologie* [online]. 2013 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: http://technet.tul.cz/wp-content/uploads/2013/01/KMT_testovani.pdf.
- [47] Technical Information: Surface Resistance Probe, Model 880. In: *Ing. Milan Soukup SMtronic* [online]. 1999 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: http://www.smtronic.cz/editor/filestore/File/pristroje/testery/7220.880_surface_resistance_probe_880_en.pdf.
- [48] Bulletin - Choosing the RIGHT flex testing machine. *Welcome to SATRA - the world's leading research and technology organisation for consumer products* [online]. 2014 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: https://www.satraproducts.co.uk/bulletin/article_view.php?id=159.
- [49] *Shieldex Trading* [online]. 2012 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.shieldextrading.net>.
- [50] *Metal Clad Fiber - Home* [online]. 2011 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.metalcladfibers.com>.
- [51] Taber Fabric Stiffness Tester (Bending & Stiffness). *Taber Industries - Home Page* [online]. 2014 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.taberindustries.com/fabric-stiffness>.

Seznam příloh

- Příloha A Naměřené hodnoty měření elektrického odporu vláken a graf průměru absolutních hodnot rozdílů
- Příloha B Hodnoty měření povrchového odporu
- Příloha C Výsledky vláken při zkoušce pevnosti v tahu
- Příloha D Naměřené hodnoty závislosti elektrického odporu na počtu cyklů pružnosti vlákna SilveR.Stat

Příloha A – Naměřené hodnoty měření elektrického odporu vláken a graf průměru absolutních hodnot rozdílů

Tab 8: Měření 2 sondami. Vlákno Silver.Stat.

číslo vzorku	1. hodnota	2. hodnota	R [kΩ/m]	Rc [kΩ/m]	abs(1.-2.)h	průměr abs [%]
1	1,343	1,342	1,3425	1,19330	0,0010	0,2200
2	1,123	1,121	1,1220		0,0020	
3	1,174	1,181	1,1775		0,0070	
4	1,176	1,176	1,1760		0,0000	
5	1,149	1,148	1,1485		0,0010	

Tab 9: Měření 4 sondami. Vlákno Silver.Stat.

číslo vzorku	1. hodnota	2. hodnota	R [kΩ/m]	Rc [kΩ/m]	abs(1.-2.)h	průměr abs [%]
1	1,340	1,340	1,340	1,19410	0,0000	0,2200
2	1,133	1,125	1,129		0,0080	
3	1,181	1,181	1,181		0,0000	
4	1,174	1,175	1,175		0,0010	
5	1,147	1,145	1,146		0,0020	

Tab 10: Měření 2 sondami. Vlákno Elitex 110/f34_PA/Ag.

číslo vzorku	1. hodnota	2. hodnota	R [kΩ/m]	Rc [kΩ/m]	abs(1.-2.)h	průměr abs [%]
1	0,1658	0,1722	0,16900	0,13749	0,0064	0,8075
2	0,1334	0,1264	0,12990		0,0070	
3	0,1310	0,1270	0,12900		0,0040	
4	0,1295	0,1146	0,12205		0,0149	

Tab 11: Měření 4 sondami. Vlákno Elitex 110/f34_PA/Ag.

číslo vzorku	1. hodnota	2. hodnota	R [kΩ/m]	Rc [kΩ/m]	abs(1.-2.)h	průměr abs [%]
1	0,1522	0,1328	0,1425	0,14568	0,0194	1,4400
2	0,1735	0,1649	0,1692		0,0086	
3	0,1455	0,1730	0,1593		0,0275	
4	0,1107	0,1128	0,1118		0,0021	

Tab 12: Měření 2 sondami. Vlákno Elitex 110/f34/2ply_PA/Ag.

číslo vzorku	1. hodnota	2. hodnota	R [Ω/m]	Rc [Ω/m]	abs(1.-2.)h	průměr abs [%]
1	29,6191	29,0702	29,34465	29,56786	0,5489	67,1675
2	25,9441	25,0831	25,51360		0,8610	
3	29,9232	29,1722	29,54770		0,7510	
4	34,1284	33,6026	33,86550		0,5258	

Tab 13: Měření 4 sondami. Vlákno Elitex 110/f34/2ply_PA/Ag.

číslo vzorku	1. hodnota	2. hodnota	R [Ω/m]	Rc [Ω/m]	abs(1.-2.)h	průměr abs [%]
1	32,2730	31,7755	32,0243	29,38693	0,4975	55,1000
2	24,0808	24,1526	24,1167		0,0718	
3	29,2600	27,7527	28,5064		1,5073	
4	32,8367	32,9641	32,9004		0,1274	

Tab 14: Měření 2 sondami. Vlákno AmberStrand Fiber Z-166.

číslo vzorku	1. hodnota	2. hodnota	R [Ω/m]	Rc [Ω/m]	abs(1.-2.)h	průměr abs [%]
1	4,21200	4,22870	4,220350	4,16768	0,0167	7,7550
2	3,98760	4,12010	4,053850		0,1325	
3	4,19200	4,27590	4,233950		0,0839	
4	4,12400	4,20110	4,162550		0,0771	

Tab 15: Měření 4 sondami. Vlákno AmberStrand Fiber Z-166.

číslo vzorku	1. hodnota	2. hodnota	R [Ω/m]	Rc [Ω/m]	abs(1.-2.)h	průměr abs [%]
1	2,79140	2,78810	2,789750	2,96103	0,0033	5,1900
2	3,03760	3,04320	3,040400		0,0056	
3	3,04900	3,19510	3,122050		0,1461	
4	2,91820	2,86560	2,891900		0,0526	

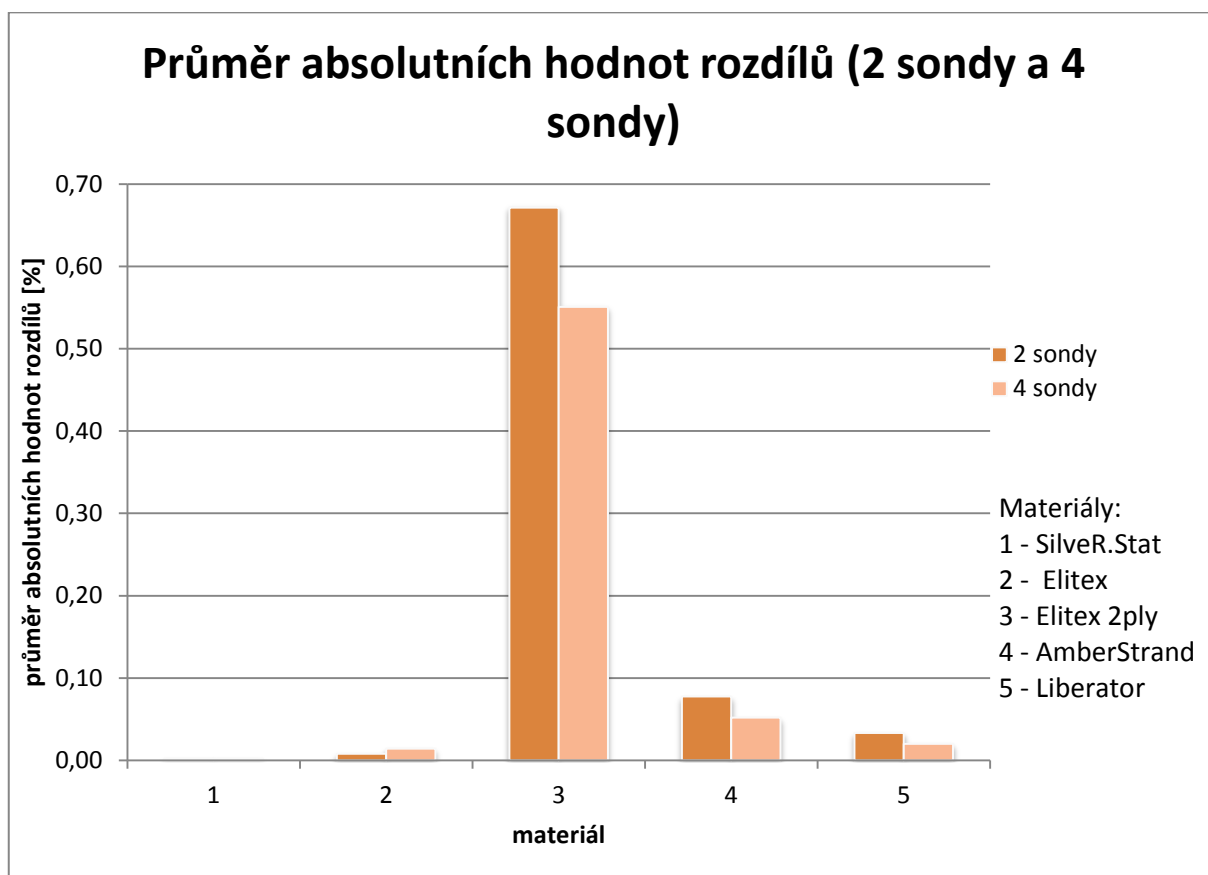
Tab 16: Měření 2 sondami. Vlákno Liberator Fiber 40.

číslo vzorku	1. hodnota	2. hodnota	R [Ω/m]	Rc [Ω/m]	abs(1.-2.)h	průměr abs [%]
1	4,00310	4,05230	4,027700	4,19684	0,0492	3,3275
2	4,19320	4,22120	4,207200		0,0280	
3	4,11020	4,14920	4,129700		0,0390	
4	4,41430	4,43120	4,422750		0,0169	

Tab 17: Měření 4 sondami. Vlákno Liberator Fiber 40.

číslo vzorku	1. hodnota	2. hodnota	R [Ω/m]	Rc [Ω/m]	abs(1.-2.)h	průměr abs [%]
1	3,01240	3,02870	3,020550	3,07145	0,0163	2,0200
2	3,07570	3,07070	3,073200		0,0050	
3	3,07730	3,07160	3,074450		0,0057	
4	3,14450	3,09070	3,117600		0,0538	

Graf 5: Srovnání metod 2 a 4 sond.



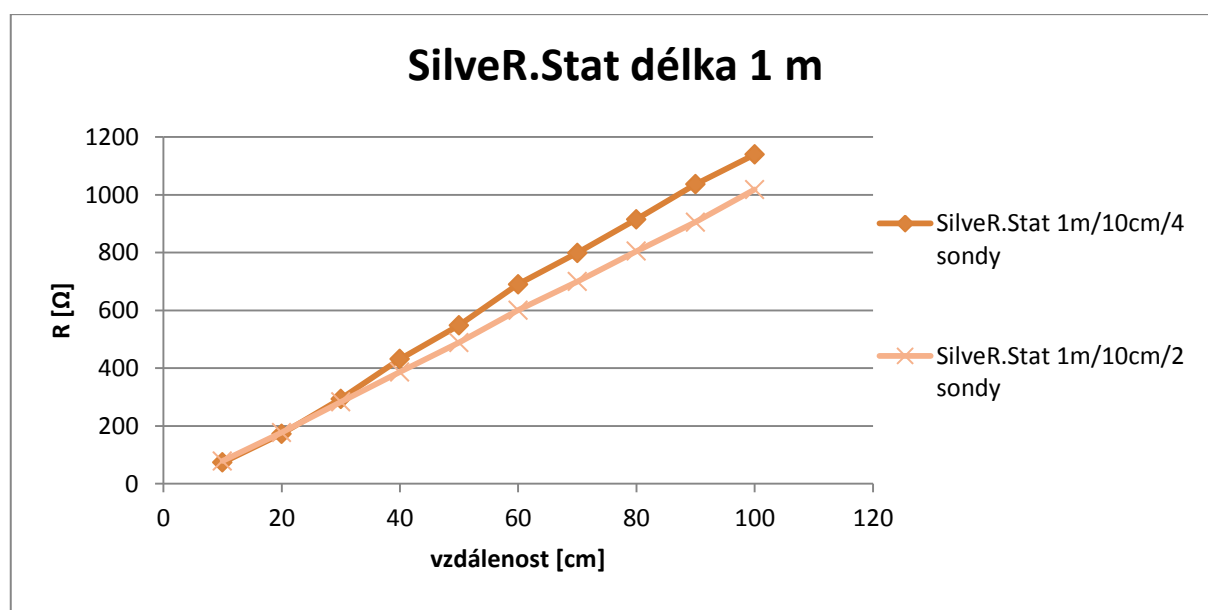
Tab 18: Hodnoty měření el. odporu. Metoda TLM, vzorky 1 m.

	<i>SilveR.Stat</i>	<i>SilveR.Stat</i>	<i>Elitex 2ply</i>	<i>Elitex 2ply</i>	<i>Elitex</i>
	2 sondy	4 sondy	2 sondy	4 sondy	4 sondy
vzdálenost [cm]	R[Ω]				
10	78,342	73,686	3,444	2,351	12,323
20	177,398	172,640	6,617	6,097	23,251
30	282,740	293,504	10,194	9,015	30,065
40	386,787	431,445	13,010	11,736	41,771
50	488,337	548,230	15,757	14,753	60,266
60	600,512	690,426	19,006	17,311	74,352
70	699,599	798,657	22,199	19,761	82,972
80	804,920	915,372	26,167	21,807	99,798
90	905,072	1036,333	29,138	24,518	112,365
100	1018,230	1139,415	33,982	28,319	130,862

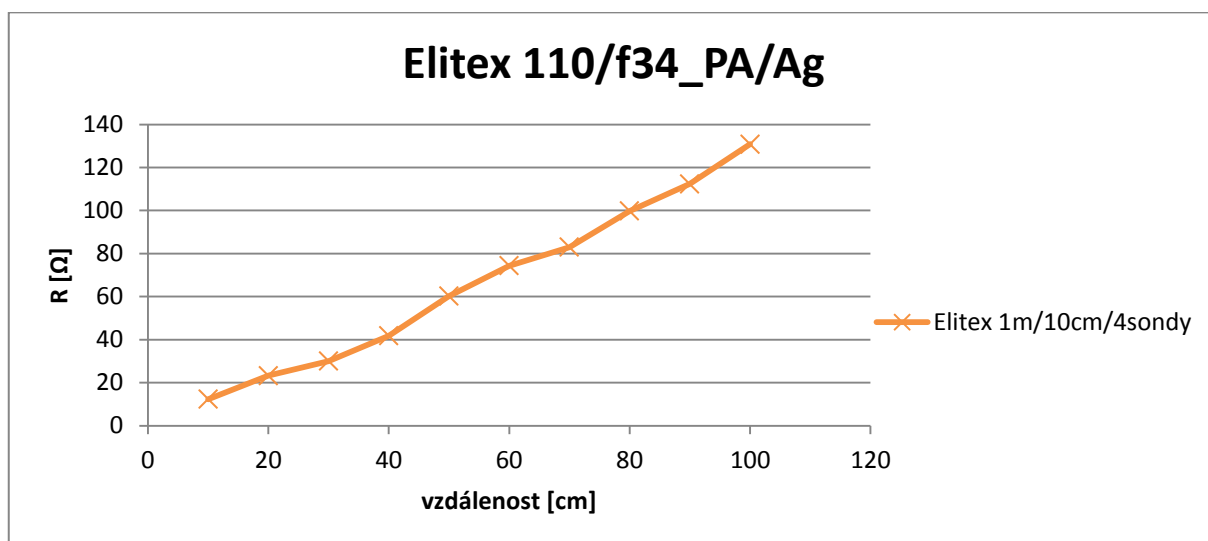
Tab 19: Hodnoty měření el. odporu vláken. Metoda TLM, vzorky 10 cm.

délka [cm]	AmberStrand	Liberator	Elitex		SilveR.stat		Elitex 2ply	
	4 sondy		2 sondy	4 sondy	2 sondy	4 sondy	2 sondy	4 sondy
	R[Ω]							
1	0,1538	0,1398	1,3362	1,1423	11,5098	13,1660	0,5233	0,3651
2	0,1744	0,1740	2,0229	1,7792	19,3152	20,2629	0,8803	0,6767
3	0,2024	0,2000	2,7842	2,5172	34,2512	32,4420	1,1128	1,0238
4	0,2542	0,2363	3,5797	3,4062	52,5394	48,7215	1,3717	1,2467
5	0,3014	0,2644	4,1270	3,8458	70,1311	69,3032	1,5965	1,4583
6	0,3171	0,2863	4,6712	4,3822	83,8848	84,7210	1,9697	1,8024
7	0,3347	0,3155	5,0842	5,0882	96,7358	99,4840	2,2803	2,1280
8	0,3610	0,3469	5,4173	5,2725	107,343	110,147	2,5731	2,3053
9	0,3975	0,3811	6,2931	6,3048	117,392	120,911	2,8254	2,4810
10	0,4320	0,4313	6,6678	6,7312	126,910	129,170	3,1529	2,8372
11	0,4451	0,4513						
12	0,4836	0,4952						
13	0,5230	0,5209						

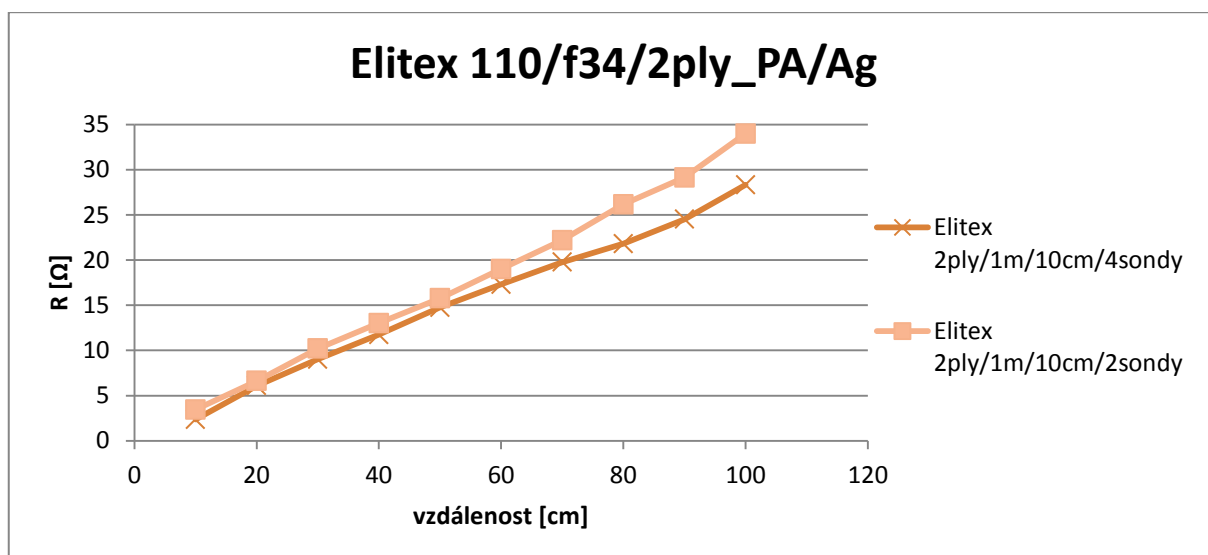
Graf 6: Vlákno SilveR.Stat, vzorek 1 m. Metoda TLM pomocí 2 a 4 sond.



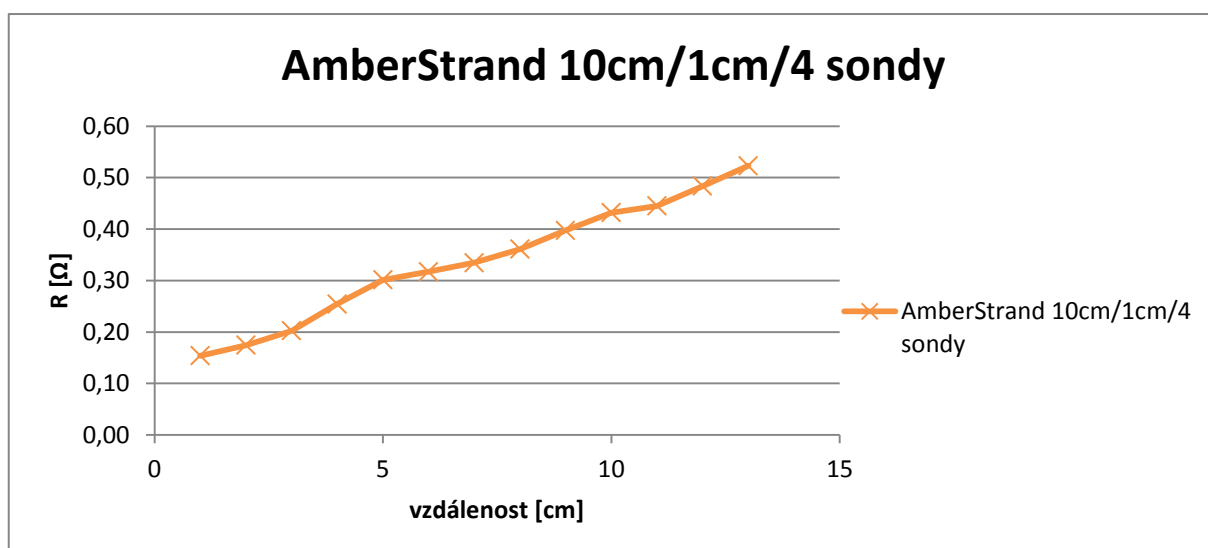
Graf 7: Vlákno Elitex 110/f34_PA/Ag, vzorek 1 m. Metoda TLM pomocí 4 sond.



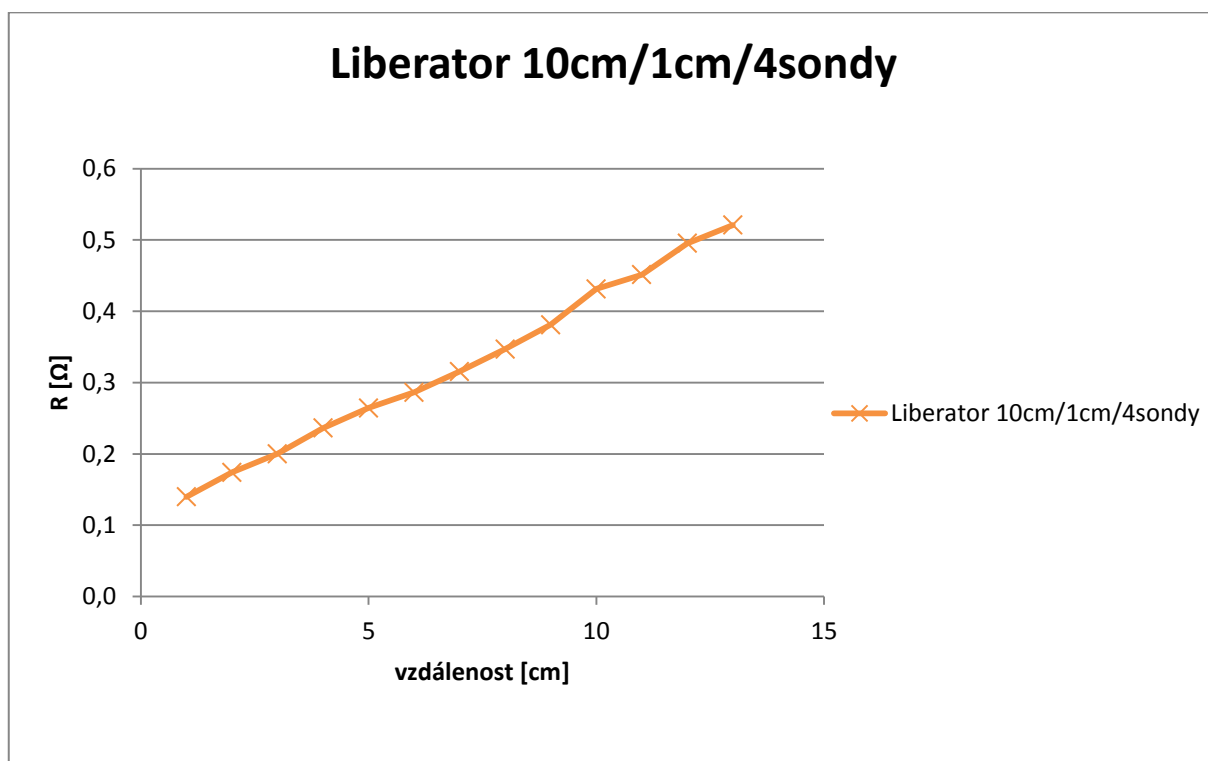
Graf 8: Vlákno Elitex 110/f34/2ply_PA/Ag. Metoda TLM pomocí 2 a 4 sond.



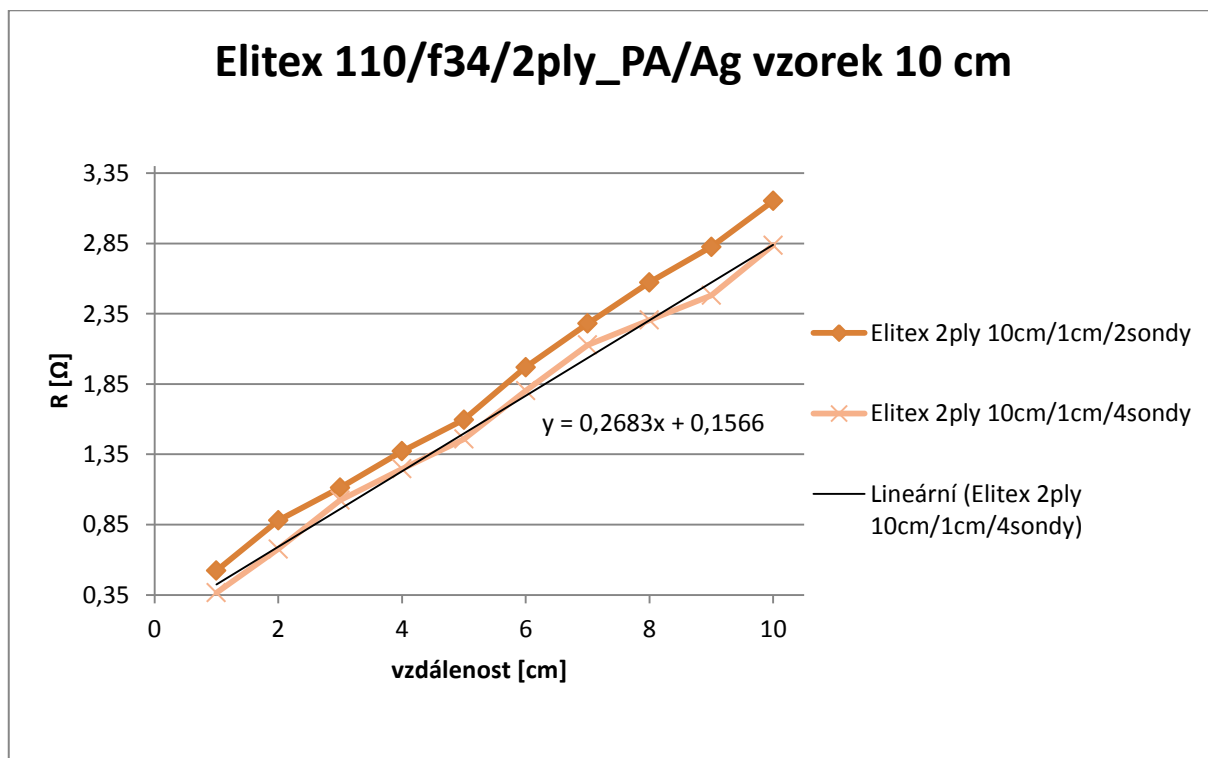
Graf 9: Metoda TLM pomocí 4 sond. AmberStrand Fiber Z-166.



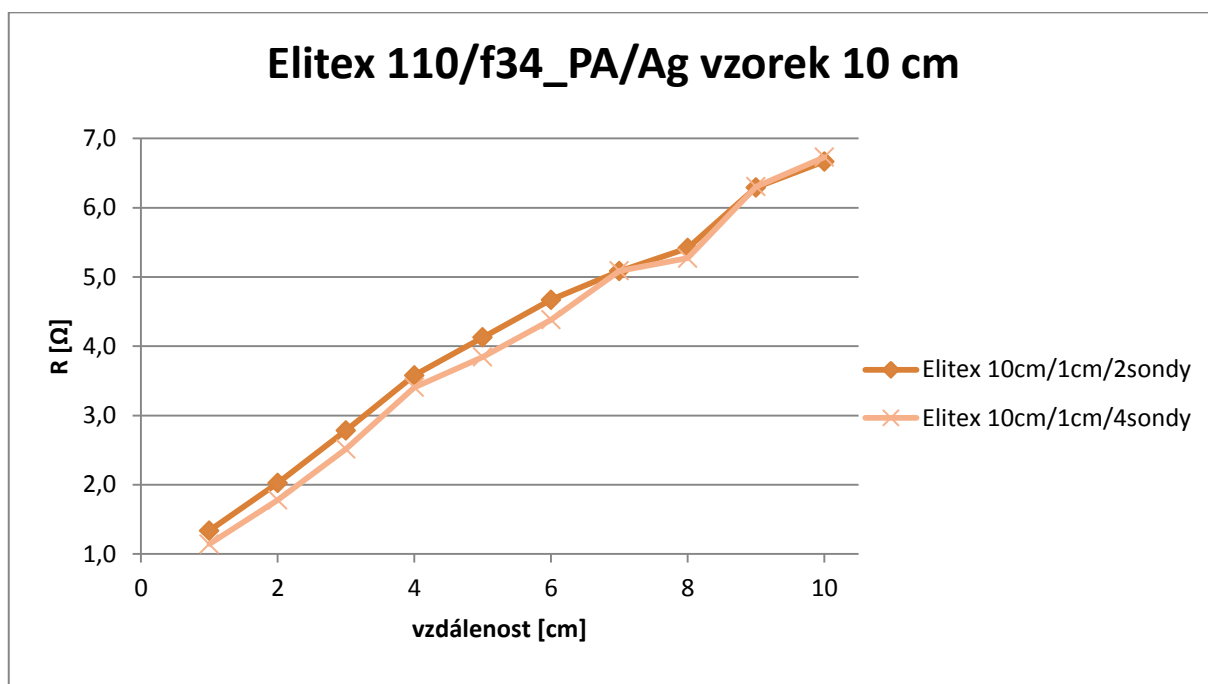
Graf 10: Metoda TLM pomocí 4 sond. Liberator Fiber 40.



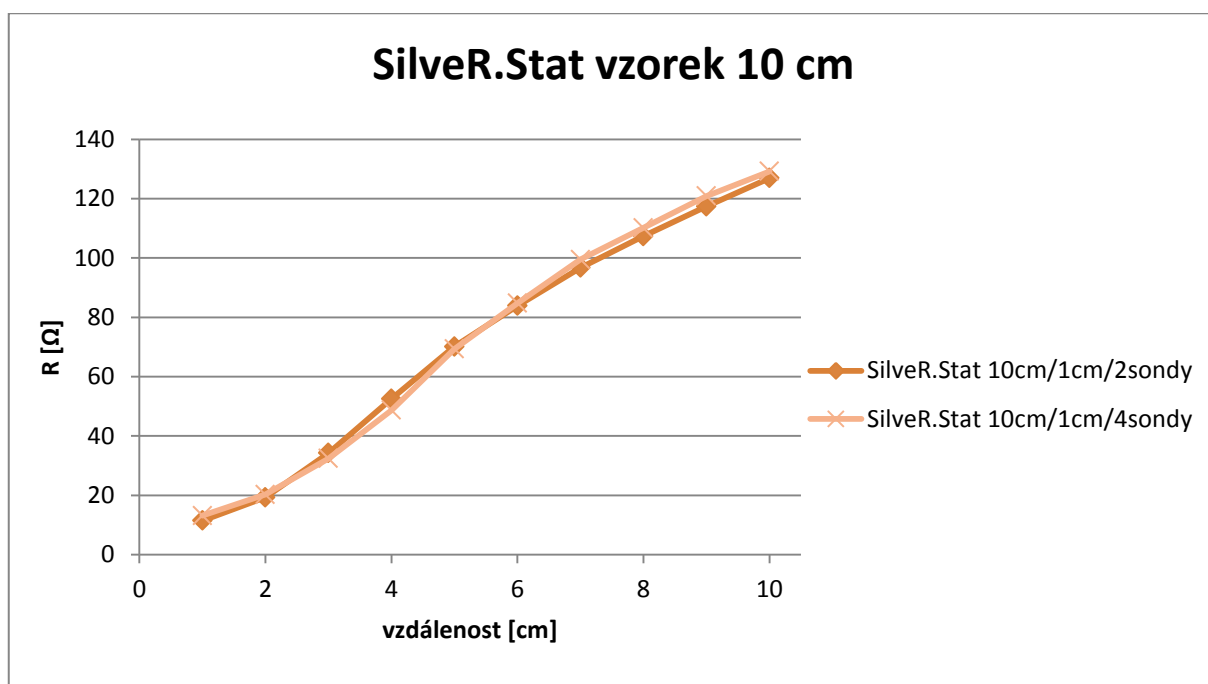
Graf 11: Metoda TLM. Vlákno Elitex 2ply – 10 cm vzorek 2 a 4 sondy.



Graf 12: Metoda TLM. Vlákno Elitex, délka vzorku 10 cm, 2 a 4 sondy.



Graf 13: Metoda TLM. Vlákno SilveR.Stat, vzorek 10 cm měřeno 2 a 4 sondami.



Příloha B – Hodnoty měření povrchového odporu

Tab 20: Naměřené hodnoty povrchového odporu. Vzorek č.4.

č	R [Ω]	vzorek 4	líc	č	R [Ω]	rub	
1	32,16	maximum	37,84	1	9,91	maximum	19,76
2	19,51	minimum	14,56	2	8,54	minimum	7,82
3	14,56	podíl max/min	2,60	3	7,82	podíl max/min	2,53
4	20,62			4	11,32		
5	21,54	Rs [Ω]	24,08	5	16,72	Rs [Ω]	11,42
6	26,32			6	12,12		
7	21,27			7	19,76		
8	31,72			8	12,30		
9	37,84			9	9,76		
10	11,41			10	10,52		

Tab 21: Naměřené hodnoty povrchového odporu. Vzorek č.5.

č	R [Ω]	vzorek 5	líc	č	R [Ω]	rub	
1	39,6	maximum	240,10	1	86,12	maximum	86,12
2	44,6	minimum	84,31	2	82,59	minimum	41,43
3	240,1	podíl max/min	2,85	3	41,43	podíl max/min	2,08
4	136,6			4	148,70		
5	128,2	Rs [Ω]	142,3	5	212,70	Rs [Ω]	64,21
6	84,3			6	74,15		
7	127,7			7	65,92		
8	196,0			8	188,70		
9	182,2			9	1396,40		
10	104,1			10	45,15		
				11	69,16		
				12	133,40		

Tab 22: Naměřené hodnoty povrchového odporu. Vzorek č.6.

č	R [Ω]	vzorek 6	líc	č	R [Ω]	rub
1	226,4	maximum	654,30	1	69,71	maximum 377,30
2	359,2	minimum	226,40	2	299,50	minimum 153,70
3	419,2	podíl max/min	2,89	3	153,70	podíl max/min 2,45
4	1665,8			4	220,50	
5	654,3	Rs [Ω]	341,45	5	377,30	Rs [Ω] 246,44
6	13610,0			6	228,90	
7	1337,8			7	202,30	
8	1280,1			8	1522,30	
9	128,3			9	372,60	
10	235,0			10	67,83	
11	351,7			11	219,50	
12	293,5			12	231,20	

Příloha C – Výsledky vláken při zkoušce pevnosti v tahu

Tab 23: Naměřené a nastavené hodnoty.

Číslo vzorku	F_{max} [N]	A_{max} [mm]	A_{max} [%]	Vzorek	Délka vzorku [mm]	Rychlost posuvu čelistí [mm/min]
silverRstat	5,14	6,79	13,58	SilverR.Stat	50	50
silverRstat	4,45	6,25	12,50		50	50
silverRstat	5,07	6,93	13,86		50	50
silverRstat	4,97	6,59	13,18		50	50
silverRstat	5,01	6,24	12,48		50	50
silverRstat	4,02	5,53	11,06		50	50
silverRstat	4,84	6,40	12,80	SilverR.Stat	50	8
silverRstat	4,61	6,84	13,68		50	8
silverRstat	5,14	7,01	14,02		50	8
silverRstat	5,50	7,45	14,90		50	8
silverRstat	5,70	8,42	16,84		50	8
silverRstat	4,28	6,65	13,30		50	8
silverRstat	4,78	27,02	10,81	SilverR.Stat	250	40
silverRstat	4,71	24,31	9,72		250	40
silverRstat	4,58	24,75	9,90		250	40
silverRstat	4,65	26,00	10,40		250	40
silverRstat	3,89	21,75	8,70		250	40
silverRstat	3,92	21,50	8,60		250	40
silverRstat	4,05	22,87	9,15	SilverR.Stat	250	20
silverRstat	3,39	20,86	8,34		250	20
silverRstat	4,61	6,24	12,48	SilverR.Stat	50	20
silverRstat	4,65	6,00	12,00		50	20
silverRstat	5,53	6,14	12,28		50	20
silverRstat	4,88	6,19	12,38		50	20
silverRstat	4,38	6,31	12,62		50	20
silverRstat	5,57	6,59	13,18		50	20
silverRstat	5,34	6,41	12,82	SilverR.Stat	50	40
silverRstat	5,90	7,57	15,14		50	40

<i>silverRstat</i>	4,68	7,35	14,70		50	40
<i>silverRstat</i>	5,53	7,00	14,00		50	40
<i>silverRstat</i>	4,97	6,25	12,50		50	40
<i>silverRstat</i>	5,14	6,53	13,06		50	40
<i>silverRstat</i>	5,04	6,76	13,52		50	40
<i>pokus obyč.ž</i>	8,37	41,62	16,65	vzorek č. 2	250	40
<i>pokus obyč.ž</i>	10,48	54,91	21,96		250	40
<i>pokus obyč.ž</i>	12,39	52,07	20,83		250	40
<i>pokus obyč.ž</i>	9,95	50,05	20,02		250	40
<i>pokus obyč.ž</i>	11,00	49,45	19,78		250	40
<i>pokus obyč.ž</i>	10,57	45,74	18,30		250	40
<i>pokus obyč.ž</i>	9,78	11,90	23,80	vzorek č. 2	50	10
<i>pokus obyč.ž</i>	9,88	14,08	28,16		50	10
<i>pokus obyč.ž</i>	9,72	13,19	26,38		50	10
<i>pokus obyč.ž</i>	10,38	13,38	26,76		50	10
<i>pokus obyč.ž</i>	10,01	11,81	23,62		50	10
<i>pokus obyč.ž</i>	11,76	13,32	26,64		50	10
<i>pokus obyč.ž</i>	10,80	15,15	30,30	vzorek č. 2	50	20
<i>pokus obyč.ž</i>	10,80	13,93	27,86		50	20
<i>pokus obyč.ž</i>	14,46	13,06	26,12		50	20
<i>pokus obyč.ž</i>	10,94	14,16	28,32		50	20
<i>pokus obyč.ž</i>	11,53	14,47	28,94		50	20
<i>pokus obyč.ž</i>	11,92	13,82	27,64		50	20
<i>pokus obyč.ž</i>	12,12	13,51	27,02	vzorek č. 2	50	40
<i>pokus obyč.ž</i>	16,34	14,35	28,70		50	40
<i>pokus obyč.ž</i>	11,56	11,78	23,56		50	40
<i>pokus obyč.ž</i>	12,62	13,64	27,28		50	40
<i>pokus obyč.ž</i>	14,63	14,00	28,00		50	40
<i>pokus obyč.ž</i>	10,57	12,55	25,10		50	40
<i>pokus obyč.ž</i>	14,39	14,57	29,14		50	40
<i>pokus obyč.ž</i>	11,40	12,34	24,68		50	40
<i>pokus obyč.ž</i>	9,49	12,50	25,00		50	40

<i>pokus obyč.ž</i>	12,29	15,21	30,42		50	40
<i>pokus obyč.ž</i>	11,76	13,17	26,34	vzorek č. 2	50	50
<i>pokus obyč.ž</i>	10,34	11,58	23,16		50	50
<i>pokus obyč.ž</i>	12,19	14,87	29,74		50	50
<i>pokus obyč.ž</i>	16,57	16,84	33,68		50	50
<i>pokus obyč.ž</i>	11,60	14,86	29,72		50	50
<i>pokus obyč.ž</i>	16,40	16,51	33,02		50	50
<i>pokus obyč.</i>	25,10	6,76	13,52	vzorek č. 3	50	40
<i>pokus obyč.</i>	20,78	6,50	13,00		50	40
<i>pokus obyč.</i>	19,24	5,85	11,70		50	40
<i>pokus obyč.</i>	19,90	5,39	10,78		50	40
<i>pokus obyč.</i>	19,53	4,87	9,74		50	40
<i>pokus obyč.</i>	21,61	6,03	12,06		50	40
<i>pokus obyč.</i>	18,87	6,02	12,04		50	40
<i>pokus obyč.</i>	19,30	5,83	11,66		50	40
<i>pokus obyč.</i>	20,75	6,29	12,58		50	40
<i>pokus obyč.</i>	20,46	6,28	12,56		50	40
<i>pokus obyč.</i>	23,29	7,09	14,18		50	40
<i>pokus obyč.</i>	24,67	6,70	13,40		50	40
<i>pokus obyč.</i>	19,76	6,24	12,48		50	40
<i>pokus obyč.</i>	20,82	6,25	12,50		50	40
<i>pokus obyč.</i>	23,91	7,05	14,10		50	40
<i>pokus obyč.</i>	19,27	23,79	9,52	vzorek č. 3	250	40
<i>pokus obyč.</i>	20,95	26,41	10,56		250	40
<i>pokus obyč.</i>	21,28	25,83	10,33		250	40
<i>pokus obyč.</i>	22,79	26,37	10,55		250	40
<i>pokus obyč.</i>	19,01	24,82	9,93		250	40
<i>pokus obyč.</i>	17,72	21,20	8,48		250	40
<i>pokus obyč.</i>	15,28	20,73	8,29		250	40
<i>pokus obyč.</i>	17,39	22,41	8,96		250	40
<i>pokus obyč.</i>	18,02	21,96	8,78		250	40
<i>pokus obyč.</i>	19,34	5,98	11,96	vzorek č. 3	50	50

<i>pokus obyč.</i>	20,09	6,68	13,36		50	50
<i>pokus obyč.</i>	20,52	6,53	13,06		50	50
<i>pokus obyč.</i>	20,88	7,30	14,60		50	50
<i>pokus obyč.</i>	21,64	6,82	13,64		50	50
<i>pokus obyč.</i>	23,45	6,88	13,76		50	50
<i>pokus obyč.</i>	26,78	7,65	15,30		50	50

Příloha D – Naměřené hodnoty závislosti elektrického odporu na počtu cyklů pružnosti vlákna Silver.Stat

Tab 24: Hodnoty elektrického odporu. Vzorek 25 % - 1.

	1. hodnota [kΩ]	2. hodnota [kΩ]	R [kΩ]
<i>před namáháním</i>	0,725861	0,722371	0,7241160
<i>po 25 cyklech</i>	0,987259	0,986981	0,9871200
<i>po 50 cyklech</i>	1,067400	1,072020	1,0697100
<i>po 75 cyklech</i>	0,821116	0,820120	0,8206180
<i>po 100 cyklech</i>	0,846752	0,846171	0,8464615
<i>po 100 cyklech(5min)</i>	0,847387	0,846737	0,8470620

Tab 25: Hodnoty elektrického odporu. Vzorek 25 % - 2.

	1. hodnota [kΩ]	2. hodnota [kΩ]	R [kΩ]
<i>před namáháním</i>	0,739237	0,740315	0,7397760
<i>po 25 cyklech</i>	0,750059	0,747028	0,7485435
<i>po 50 cyklech</i>	0,754136	0,752120	0,7531280
<i>po 75 cyklech</i>	0,757701	0,755511	0,7566060
<i>po 100 cyklech</i>	0,761174	0,760853	0,7610135

Tab 26: Hodnoty elektrického odporu. Vzorek 50 % - 1.

	1. hodnota [kΩ]	2. hodnota [kΩ]	R [kΩ]
<i>před namáháním</i>	0,689362	0,688602	0,6889820
<i>po 25 cyklech</i>	0,745794	0,745589	0,7456915
<i>po 50 cyklech</i>	0,788500	0,782715	0,7856075
<i>po 75 cyklech</i>	0,814850	0,815282	0,8150660
<i>po 100 cyklech</i>	0,833170	0,830183	0,8316765

Tab 27: Hodnoty elektrického odporu. Vzorek 50 % - 2.

	1. hodnota [kΩ]	2. hodnota [kΩ]	R [kΩ]
<i>před namáháním</i>	0,623658	0,623555	0,6236065
<i>po 25 cyklech</i>	0,678199	0,677119	0,6776590
<i>po 50 cyklech</i>	0,699212	0,701369	0,7002905
<i>po 75 cyklech</i>	0,728189	0,730168	0,7291785
<i>po 100 cyklech</i>	0,744830	0,744166	0,7444980