

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra technologií a měření**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Dlouhodobé testování vlivu mechanického opotřebení a  
údržby na elektrické parametry vyšíváných prvků**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David ČECH**

Osobní číslo: **E17N0005P**

Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**

Název tématu: **Dlouhodobé testování vlivu mechanického opotřebení a údržby na elektrické parametry vyšíváných prvků**

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. Prostudujte problematiku smart textilií a vypracujte přehled výrobků využívajících smart textilie z hlediska jejich dlouhodobého používání.
2. Proveďte rešerši metod a postupů používaných při testování smart textilních výrobků.
3. Navrhněte testovací postupy.
4. Zjistěte vliv parametrů vyšíváných elektronických prvků na jejich dlouhodobou spolehlivost.
5. Proveďte kritické zhodnocení dosažených výsledků a zformulujte doporučení pro praxi v této oblasti.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Mattila, H.R.: Intelligent textiles, and clothing, 2006
2. Schneegass, S.: Smart textiles - Fundamentals, Design and Interaction, 2017
3. elektronické informační zdroje

Vedoucí diplomové práce: Ing. Daniela Moravcová, Ph.D.

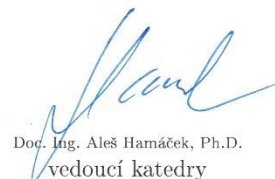
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: 5. října 2018

Termín odevzdání diplomové práce: 30. května 2019



Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.  
děkan



Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 5. října 2018

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá spolehlivostí vyšíváných elektronických prvků v textiliích. Jsou zde popsány smart textilie a smart textilní výrobky. V následující kapitole jsou uvedeny některé normy využívané při testování textilií. V třetí kapitole je navrženo pět testů smart textilií, jedná se o testy v klimatické šokové komoře, testy ohybu, testy oděru, testy umělým potem a prací testy. Ve čtvrté kapitole jsou tyto testy provedeny. V závěru práce jsou zhodnocené výsledky prováděných testů a popsána doporučení k dalšímu testování a praxi.

## **Klíčová slova**

Chytrá textilie, tkanina, vodivá nit, příze, smart textilní výrobky, Kelvinova měřicí metoda, vyšíváné elektronické prvky, šoková komora, testy ohybu, testy oděru, testy umělým potem, prací testy, textilní normy.

## **Abstract**

This diploma thesis deals with the reliability of embroidered electronic elements in textiles. There are described smart textiles and smart textiles products. In next chapter are listed some standards which are used in textile testing. In the third chapter are designed five smart textile tests, these are tests in climatic shock chamber, bending tests, abrasion tests, tests with synthetic sweat and washing tests. In the fourth chapter these tests are realized. In conclusion of this thesis are summarized results of these realized tests and there are described recommendations for another testing and practice.

## **Key words**

Smart textile, fabric, conductive thread, yarn, smart textile products, Kelvin measuring method, embroidered electronic elements, shock chambre, bending tests, abrasion tests, synthetic sweat tests, washing tests, textile standards.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 27.5.2019

Bc. David Čech

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce Ing. Daniele Moravcové, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Také bych rád poděkoval přátelům, přítelkyni a celé své rodině, za velkou podporu po dobu mého studia.

# Obsah

<b>OBSAH .....</b>	<b>8</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>11</b>
<b>1 SMART TEXTILIE.....</b>	<b>13</b>
1.1 DĚLENÍ SMART TEXTILIÍ.....	13
1.1.1 Pasivní smart textilie.....	13
1.1.2 Aktivní smart textilie.....	13
1.1.3 Velmi chytré textilie.....	13
1.2 VODIVÉ NITĚ .....	13
1.2.1 Přidávání uhlíku nebo kovů.....	14
1.2.2 Použití vodivých polymerů.....	14
1.2.3 Nanášení vodivých látek.....	14
1.3 POUŽITÍ SMART TEXTILIÍ .....	14
1.3.1 Sport .....	14
1.3.2 Zdravotnictví a péče o zdraví.....	15
1.3.3 Bezpečnostní složky.....	16
1.4 SPOLEČNOSTI ZABÝVAJÍCÍ SE SMART TEXTILIEMI.....	17
1.4.1 Applycon .....	17
1.4.2 Ohmatex.....	18
1.4.3 AiQ Smart Clothing.....	19
<b>2 METODY A TESTOVACÍ POSTUPY.....</b>	<b>20</b>
2.1 DEFINICE PROSTŘEDÍ .....	20
2.1.1 ČSN EN ISO 139.....	20
2.2 STANOVENÍ ELEKTRICKÉHO ODPORU .....	21
2.2.1 ČSN EN 16812 .....	21
2.3 ZMĚNY PROSTŘEDÍ.....	21
2.3.1 ČSN EN 60068-2-14.....	21
2.4 MECHANICKÉ OPOTŘEBENÍ .....	22
2.4.1 ČSN 64 7029 .....	22
2.4.2 ČSN EN ISO 12947 .....	23
2.5 ODOLNOST VŮČI POTU .....	25
2.5.1 ČSN EN ISO 105-E04.....	25
2.6 ODOLNOST VŮČI PRANÍ.....	26
2.6.1 ČSN EN ISO 6330.....	26
2.7 TESTOVACÍ POSTUP IPC.....	27
2.7.1 IPC-WP-024.....	27
<b>3 NÁVRH TESTOVACÍCH POSTUPŮ.....</b>	<b>29</b>
3.1 TESTOVÁNÍ ODOLNOSTI V KLIMATICKÉ ŠOKOVÉ KOMOŘE.....	29
3.2 TESTOVÁNÍ ODOLNOSTI PROTI OHYBU .....	30
3.3 TESTOVÁNÍ ODOLNOSTI PROTI ODĚRU .....	30
3.4 TESTOVÁNÍ ODOLNOSTI PROTI POTU .....	31
3.5 TESTOVÁNÍ ODOLNOSTI PROTI PRACÍM CYKLŮM .....	31
<b>4 VLASTNÍ MĚŘENÍ .....</b>	<b>33</b>
4.1 SPECIFIKACE VZORKŮ .....	33
4.2 ČTYŘVODIČOVÁ METODA .....	35
4.3 VÝPOČET MÍRY POŠKOZENÍ NITĚ .....	36
4.4 VYHODNOCOVÁNÍ DAT .....	37
4.5 KLIMATICKÁ ŠOKOVÁ KOMORA .....	38
4.5.1 Porovnání druhu použité hybridní nitě.....	39



4.5.2	Porovnání použitých látek .....	40
4.6	ODOLNOST PROTI OHYBU .....	41
4.6.1	Porovnání druhu použité hybridní nitě.....	41
4.7	ODOLNOST PROTI ODĚRU .....	42
4.7.1	Porovnání druhu použité hybridní nitě.....	43
4.8	ODOLNOST PROTI POTU .....	44
4.8.1	Porovnání druhu použité hybridní nitě.....	44
4.9	ODOLNOST PROTI PRACÍM CYKLŮM .....	46
4.9.1	Porovnání druhu použité hybridní nitě.....	49
4.9.2	Porovnání látek .....	52
<b>ZÁVĚR .....</b>		<b>54</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....</b>		<b>56</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>		<b>1</b>

## Úvod

Předložená diplomová práce se zabývá dlouhodobým testováním vlivu mechanického opotřebení a údržby na elektrické parametry vyšíváných prvků smart textilií. Tato práce je dělena do čtyř hlavních kapitol.

V první části jsou rozebrány smart textilie jako takové. Jsou zde naznačeny metody výroby vodivých vláken používaných pro vyšívání prvků. Dále jsou zde popsány oblasti využití smart textilií společně s uvedenými smart textilními výrobky a několika společnostmi zabývajícími se touto tematikou.

Druhá část pojednává o metodách a postupech a případných potenciálně použitelných normách pro testování smart textilních výrobků.

V třetí části jsem se pokusil navrhnout několik testovacích postupů, které by mohly být využity při hodnocení smart textilních výrobků z hlediska spolehlivosti. Navrženými postupy jsou testy v klima-komoře, testy ohybu a oděru, testy odolnosti vůči potu a prací testy.

Ve čtvrté kapitole jsou tyto navržené testy uskutečněny a vyhodnoceny. Dále jsou zde popsány vzorky, na kterých bylo měření prováděno, je zde popsána čtyřvodičová metoda měření odporu použitá při testech a také jakým způsobem byla naměřená data zpracována.

V závěru práce je formulováno celkové kritické zhodnocení naměřených skutečností a dále jsou zde popsána případná doporučení pro další testování a praxi.

## Seznam symbolů a zkratek

53	.....	nit se čtyřmi měděnými drátky potaženými stříbrem
25A	.....	nit s osmi mosaznými drátky
7A	.....	nit s jedním nerezovým drátkem
ASTM	.....	American Society for Testing and Materials
c	.....	molární koncentrace [mol/l]
CD	.....	Compact Disc
CEN	.....	Evropský výbor pro normalizaci
ČSN	.....	Česká technická norma
d	.....	délka [m]
DIN	.....	Německý ústav pro průmyslovou normalizaci
EKG	.....	elektrokardiografie
EMG	.....	elektromyografie
EN	.....	Evropská norma
ESA	.....	Evropská kosmická agentura
GPS	.....	Global Positioning System
HRV	.....	Heart rate variability
IPC	.....	International Paper Community
ISO	.....	Mezinárodní organizace pro normalizaci
LED	.....	elektroluminiscenční dioda
m	.....	hmotnost [kg]
n	.....	otáčky [ot/min]
ob	.....	vzor obdélník
obHR	.....	vzor obdélník se zkosenými hranami
p	.....	tlak [Pa]
pH	.....	hodnota vyjadřující kyselost či zásaditost roztoku [-]
PVC	.....	polyvinylchlorid
R	.....	odpor [ $\Omega$ ]
R <sub>C</sub>	.....	odpor niti s určitým počtem přetržených drátků [ $\Omega$ ]
R <sub>D</sub>	.....	odpor jednoho drátku v niti [ $\Omega$ ]
RFID	.....	Radio Frequency Identification
T	.....	teplota [ $^{\circ}$ C]
t	.....	čas [s]

u ..... počet přetržených drátků [-]  
us..... vzor úsečka  
USB ..... Universal Serial Bus  
v ..... počet drátků v niti [-]  
V ..... objel [l]  
vln10 ..... vzor vlnka (11,15 mm)  
vln5 ..... vzor vlnka (22,3 mm)  
WP ..... White Paper  
 $\rho$  ..... plošná hustota látky [g/m<sup>2</sup>]

# 1 Smart textilie

Smart textilie lze definovat jako látky, které rozšiřují možnosti běžných textilií. Tyto textilie snímají okolní mechanické, tepelné, chemické, elektrické, magnetické nebo jiné podněty, na které následně reagují. [1][2]

## 1.1 Dělení smart textilií

Podle způsobu reakce na vnější podmínky mohou být chytré textilie děleny do tří skupin, a to pasivní smart textilie, aktivní smart textilie a velmi chytré textilie. [1]

### 1.1.1 Pasivní smart textilie

Pasivní smart textilie jsou takové, které jen zaznamenávají změny okolního prostředí. Jedná se tedy spíše o senzory, které detekují, co se událo. Jako například změny barev, teploty nebo tvaru. [1]

### 1.1.2 Aktivní smart textilie

Přidáme-li k pasivním smart textiliím akční členy, dostáváme druhou skupinu smart textilií, a to sice aktivní smart textilie. Tyto textilie disponují tedy nejen senzory, ale i akčními členy. Akční členy reagují na okolní vlivy a dokáží tak měnit a regulovat danou funkci textilie. Může to být například vyhřívání oblečení, které reguluje výhřev podle okolní teploty a teploty pod oděvem. [3][4]

### 1.1.3 Velmi chytré textilie

Třetí skupinou jsou velmi chytré textilie, které zvládají obě funkce jako předešlé tkaniny. Jsou tedy jak senzory, tak akčními členy. Mají však ještě třetí funkci, a to schopnost adaptovat a přizpůsobit se na okolní prostředí. [1]

## 1.2 Vodivé nitě

Důležitým prvkem smart textilií jsou vodivé nitě, které mohou zajišťovat různé funkce. Mohou být použity jako přírodní vodiče pro napájení, dále se mohou použít pro přenos informací, ale také jako samotné vyhřívací prvky.

Klasické nitě vyráběné především z polyesteru a bavlny, jsou velmi dobrými izolanty a nejsou proto vhodné pro vedení elektrického proudu. Je tedy potřebné tyto nitě pomocí různých metod upravit na nitě vodivé. Jednou z metod je přidání kovů nebo uhlíku v různých formách (drátky, vlákna, částice) do struktury nitě. Další metody jsou použití vodivých polymerů nebo nanášení vodivých látek. [5]

### 1.2.1 Přidávání uhlíku nebo kovů

Přidáním různých kovů nebo uhlíku do struktury textilních nití je možné jim dodat vodivé vlastnosti. Používá se například stříbro, ocel nebo nikl, které jsou do struktury nitě vkládány ve formě drátů nebo vláken. Uhlíková nebo uhlíkem plněná vlákna také niti propůjčují dobré vodivé vlastnosti. Nízký elektrický odpor, který se pohybuje v rozmezí od jednotek  $\Omega/m$  až do jednotek  $k\Omega/m$ , je u těchto vláken výhodou. Problémem však může být nutnost upravení parametrů šití, jako například jeho rychlosti. [5]

### 1.2.2 Použití vodivých polymerů

Mezi vodivé polymery patří například polyanilin, polyvinylalkohol, polypyrrol nebo polyamid 11. Přesto, že byl polyanilin objeven již před 150 lety, získává si v poslední době pozornost díky jeho tepelné a chemické stabilitě a vysoké elektrické vodivosti v poměru k ostatním vodivým polymerům. Celkově se vodivým polymerům dostává neustále větší pozornosti, jelikož jejich použití je výhodné v aplikacích, kde je požadována flexibilita, nízká hmotnost a vodivost. Tato oblast vodivých nití je však stále ve vývoji. [5]

### 1.2.3 Nanášení vodivých látek

Povlakování nevodivého materiálu materiálem vodivým je také jeden ze způsobů, jak vytvořit vodivou nit. Jádro tvořené nevodivým materiálem typicky bavlna, polyester nebo nylon, poskytuje niti její flexibilitu. Nanesený plášť niti poskytuje její vodivost. K nanášení vodivého pláště se běžně používají materiály jako je uhlík, nikl, měď, zlato, stříbro nebo titan. Odpor těchto vláken je závislý zejména na použitém materiálu pláště a na jeho tloušťce. Tyto nitě jsou dobře použitelné v klasických šicích strojích, nicméně některé parametry šití musí být upraveny. [5][6][7]

## 1.3 Použití smart textilií

V dnešní době, se smart textilie začínají využívat v různých odvětvích. Například ve zdravotnictví, armádě, ale také ve sportu.

### 1.3.1 Sport

Sport je jednou z důležitých oblastí vývoje smart textilií. Do chytrého oblečení používaném ve sportu může být implementováno několik funkcí, jako je monitorování srdečního tepu, dýchání, tělesné teploty a dalších fyziologických parametrů. Dále může být také sledován počet udělaných kroků, potažmo ušlá vzdálenost. Chytré sportovní oblečení může také elektricky stimulovat svalstvo a zaznamenávat aspekty výkonu sportovce jako jsou například tlak chodidla nebo specifické pohyby kloubů. Tím vším chrání sportovce a předchází se tak jeho zraněním. [4]

Turisté v horách používající chytré vložky do bot se zabudovaným GPS mohou být například v případě potřeby vystopováni horskou záchrannou službou. Rukavice s výhřevem nebo rukavice s LED diodami mohou být například použity cyklisty pro zahřátí nebo lepší viditelnost za tmy. [4]

### **Běžecská čepice Kalenji**

Běžecská čepice Kalenji disponuje sluchátky s mikrofonem a je možné díky ní při běhu poslouchat hudbu nebo přijímat hovory. Spojení s telefonem je zajištěno pomocí Bluetooth. Ovládací tlačítka pro přijetí hovoru a práci s hudbou jsou po straně čepice. Výrobce na tuto čepici udává dvouletou záruku a zároveň specifikuje možnosti čištění. Čepici je možné prát v pračce na maximálně 30 °C, nesmí být však bělena, sušena v bubnové sušičce, žehlena a čištěna chemicky. Před každým praním je také nutné sluchátka z čepice vyjmout. [8]

### **Vložky do bot**

Vložky do bot SmartSole mají v sobě zabudovanou GPS, která umožňuje sledování pohybu. Vložky je možné použít pro sledování a ochranu dětí nebo také pro sledování turistů či horolezců, kteří se ztratili nebo potřebují lékařskou pomoc. Vložky jsou voděodolné, mohou být tedy použity v mokřím prostředí a s přirozenou vlhkostí nohou, nicméně úplné ponořování do vody není doporučováno, tudíž praní nepřipadá v úvahu. Nepříznivý vliv na dlouhodobé používání tohoto výrobku má také vysoká váha uživatele (přes 110 kg), přebíjení baterie a velké ohýbání při manipulaci a vkládání vložek do bot. [9]

### **Sportovní tričko**

Toto sportovní tričko od společnosti Emglare dokáže monitorovat tepovou frekvenci a EKG během sportovních a jiných aktivit. Má v sobě zabudovanou baterii až pro 16 h výdrže a disponuje bezdrátovým nabíjením. S telefonem je spojeno bezdrátově pomocí technologie Bluetooth 4.0. Pro toto tričko je doporučené ruční praní s maximální teplotou 30 °C, je povolené žehlení, avšak s maximální teplotou 110 °C. Žehlení pomocí páry se nedoporučuje a je zakázáno bělení a čištění skvrn rozpouštědly. [10]

## **1.3.2 Zdravotnictví a péče o zdraví**

Rozvoj smart textilních monitorovacích systémů má dopad v oblasti péče o zdraví ve formě takzvané telemedicíny. Smart textilie dovolují, aby fyziologické signály byly neustále po celý den sledovány. To napomáhá například v případech, kdy by byl pacient nucen navštěvovat lékaře s vyšší periodicitou. Příkladem může být sledování dýchání, EKG, EMG nebo fyzické aktivity. [4]

### **Hexoskin**

Hexoskin je chytré oblečení, které zvládá měřit a sledovat mnoho životních funkcí. Mezi tyto sledované funkce patří EKG, srdeční tep, HRV, frekvence dýchání, počet kroků, spánek a další. Oblečení je připojeno přes Bluetooth k telefonu a na jedno nabití vydrží sbírat data až 30 hodin. Hexoskin lze prát v pračce, je rychleschnoucí a protizápachový. [11]

### **Eight sleep**

Společnost Eight sleep dodává speciální chytré matrace The Pod, tyto matrace dokáží regulovat svoji teplotu od 13 °C do 46 °C pro lepší spánek, a to každé poloviny zvlášť. Matrace také umí monitorovat spánek a podle toho dotyčného vzbudit v optimální čas. Dokáže také komunikovat s telefonem nebo chytrou domácností. [12] Jelikož matrace není voděodolná ani vodotěsná, výrobce doporučuje použití vodotěsného chrániče matrace. Výrobek nelze tedy prát ani čistit žádnými agresivními chemickými prostředky jako je bělidlo nebo čpavek. Vhodným způsobem čištění je použití mýdlových bublin vytvořených smícháním vody a prostředku na mytí nádobí. Další možností je použití rozprašovače s octovou vodou a rychlé otření savým hadříkem.

### **1.3.3 Bezpečnostní složky**

Po celém světě bezpečnostní složky zjišťují, jak by mohly být smart textilie užitečné pro zvýšení jejich bezpečnosti a efektivnosti. V extrémním prostředí a hazardních situacích je potřeba zpracovávat informace v reálném čase kvůli zlepšení ochrany a přežití lidí pracujících v těchto podmínkách. V takových situacích je požadováno sledovat životní funkce osob a také jejich okolní prostředí jako mohou být například toxické plyny. [4]

Jednou z velkých novinek je chytrý hasičský oblek SmartPRO2, který sleduje teplotu uvnitř i vně obleku, srdeční tep hasiče nebo také jeho pozici. Tento oblek se v těchto chvílích testuje a v průběhu roku 2019 by měl být uveden na trh. [2]

Na takovýchto projektech dříve pracovaly hlavně výzkumné týmy na univerzitách. V poslední době se však na trhu smart textilií a smart textilních výrobků objevuje čím dál tím více i menších firem, které se specializují na tento segment trhu. Některé z nich jsou vypsány v následující kapitole.



## 1.4 Společnosti zabývající se smart textiliemi

### 1.4.1 Applycon

Applycon je česká společnost založená v roce 2005 jako vývojová a výrobní firma zabývající se nositelnou elektronikou, inteligentními textiliemi, konektorovou technikou a kabelovou konfekcí. Nabízí komplexní řešení inženýringu, a to především v elektronice, mechatronice, měřící a přístrojové technice a v oblasti smart textilií. Firma aktivně spolupracuje s univerzitami a dalšími výzkumnými organizacemi i na několika mezinárodních projektech. [13]

Společnost má již dlouholetou zkušenost v oboru integrace elektroniky do textilu a vyvinula vlastní pratelné kabelové propojení, které je zárukou dlouhotrvající funkčnosti a stability jejich výrobků. Applycon také nabízí firmám tzv. „řešení na klíč“ od návrhu až po realizaci v oboru inteligentního textilu. Produkty, na kterých Applycon spolupracoval, jsou například vyhřívané systémy kostelních lavic, vyhřívané boty, ponožky a rukavice. Světelný výstražný systém bund, signalizační bundy pro cyklisty, inteligentní obleky pro hasiče nebo bunda se zabudovaným komunikačním systémem. [14]

Společnost se zabývá také návrhem nových typů průmyslových konektorů, jejich krytů a vylepšováním starých modelů. To obnáší zastříkávání kabelů a konektorů pomocí plastů, řešení odstínění a návrhy nových kabelových svazků. [15]



Obr. 1: Produkty, na kterých se Applycon podílel (hasičský oblek, vyhřívaná rukavice, komunikační systém). Převzato z [14]

### 1.4.2 Ohmatex

Ohmatex je dánská společnost s patnáctiletými zkušenostmi se smart textiliemi, která se dnes věnuje produktům a řešením pro integraci elektroniky do textilu. Společnost má v současné době například uzavřený kontrakt s Evropskou kosmickou agenturou (ESA), na vývoj oděvu pro monitorování svalové aktivity astronautů během jejich výcviku na mezinárodní vesmírné stanici. [16]

Jednou z oblastí portfolia firmy jsou textilní kabely, které poskytují komfortní a praktické způsoby zavedení elektroniky do oděvů a chytrých nositelných zařízení. Tyto kabely jsou charakterizovány značnou měkkostí a pevností. S přidáním konektivity k textilní stuze zůstávají zachovány tradiční vlastnosti textilu jako je pružnost, struktura, barevná stálost nebo omyvatelnost. Textilní kabely mohou být začleněny do oděvů nebo použity externě pro kabely ke sluchátkům a mobilním zařízením. Tyto kabely mohou být také přizpůsobeny v mnoha směrech, ať už se jedná o design, počet vodičů, implementování koaxiálního kabelu nebo samozhášivost ohně. [17]

Další oblastí, které se společnost věnuje jsou konektory a jejich implementace do textilních materiálů. Ohmatex vyvinul několik způsobů pro připojení standardních konektorů k textilním kabelům pomocí tavných materiálů tak, že jsou vodotěsné a vhodné pro integraci do textilií. Poskytují standardní jack konektory, své unikátně vyvinuté omyvatelné konektory nebo tenké mikro USB konektory. [17]



Obr. 2: Produkty Ohmatex (zleva: konektor, textilní kabel). Převzato z [17]

### 1.4.3 AiQ Smart Clothing

Společnost AiQ Smart Clothing je asijským výrobcem chytrých textilií sídlící na Taiwanu. Firma má ve svém portfoliu několik výrobků jako je například BioMan<sup>+</sup>, AiQ-Synetrial, RFID prádelní tagy nebo textilní kabely.

Produkt BioMan<sup>+</sup> je oděv pro horní část těla a je základem pro velký počet chytrých textilních řešení. Skládá se z elektrod sledujících elektrickou aktivitu lidského těla, vodivých vláken pro přenos těchto signálů a modulu určeného ke zpracování a přenosu těchto dat. Produkt byl také ověřen několika společnostmi poskytujícími moduly pro měření EKG a srdečního tepu. [18]

Dalším produktem společnosti je oblečení, které se používá pro tzv. motion capture, což je proces převedení pohybu skutečného objektu do digitální podoby. Spojením firem AiQ a Synetrial vzniká produkt, který může pomáhat v odvětvích jako je například sport, fyzioterapie nebo zábava. [19]

AiQ Smart Clothing také nabízí různé textilní kabely jak pro analogové, tak digitální signály. V jejich portfoliu se nachází pružné, vysoce odolné a pratelné kabely. [19]



Obr. 3: Produkty AiQ Smart Clothing (zleva: BioMan<sup>+</sup>, AiQ-Synetrial). Převzato z [18][19]

## 2 Metody a testovací postupy

Výrobci smart textilií a smart textilních výrobků mají snahu zachovat hlavní výhody klasických textilií jako je jejich flexibilita, prodyšnost a samozřejmě také jejich snadná omyvatelnost a udržovatelnost. K těmto vlastnostem se poté snaží přidávat elektroniku a rozšiřovat tak potenciál textilií. Přidání elektroniky však ubírá takové textilii na možnostech čištění, proto v dnešní době většina výrobků disponuje odnímatelnou elektronickou částí. Po odejmutí je pak možné čistit a udržovat textilii jako obyčejnou. Největší pokrok byl však proveden díky integraci vodivých cest do textilie, ať už v podobě senzorů, napájecích cest nebo jiné.

Problémem je, že v dnešní době v této oblasti stále neexistuje dostatečné množství standardů, které by říkaly výrobcům, jak postupovat. Nicméně je zde několik skupin, které na této problematice pracují. Například komise ASTM pracuje na standardu ohledně terminologie. [20][21] Taktéž Německý ústav pro průmyslovou normalizaci DIN ve spolupráci s Evropským výborem pro normalizaci CEN pracují na druhé verzi normy zabývající se definicí, dělením a aplikací smart textilií. [22] Dalším příkladem může být společenství IPC, které vytvořilo možný návod pro praní smart textilií. [23] V mé práci jsem se zaměřil na hledání norem, doporučení a různých návodů na testování smart textilií a případné použití norem o testování klasických textilií pro smart textilie.

### 2.1 Definice prostředí

#### 2.1.1 ČSN EN ISO 139

ČSN EN ISO 139. Textilie – Normální ovzduší pro klimatizování a zkoušení. [24]

Předmětem normy je vymezení hodnot a používání ovzduší pro zjišťování fyzikálních vlastností a pro klimatizování textilií. Norma udává několik definic a termínů, jako je například relativní vlhkost, tolerance, mezní hodnoty a tak dále. [24]

V normě je uvedeno normální ovzduší, které je definováno teplotou 20 °C a relativní vlhkostí 65 %. Dále je pak definováno alternativní normální ovzduší, které je rozděleno díky změně A1 na specifické normální ovzduší s teplotou 23 °C a vlhkostí 50 % a na tropické normální ovzduší s teplotou 27 °C a relativní vlhkostí 65 %. Toto alternativní normální ovzduší smí však být použito pouze v případě, že se domluví zainteresované strany. [24]

Norma dále udává požadavky na měřící zařízení jako je rozlišení minimálně 0,1 °C teploty nebo lepší a rozlišení 0,1 % vlhkosti nebo lepší. Také určuje nejistoty měření pro teplotu  $\pm 0,5$  °C nebo lepší a pro relativní vlhkost  $\pm 2$  % nebo lepší. [24]

## 2.2 Stanovení elektrického odporu

### 2.2.1 ČSN EN 16812

ČSN EN 16812. Textilie a textilní výrobky – elektricky vodivé textilie – Stanovení lineárního elektrického odporu vodivých drah. [25]

Tato norma vydaná v listopadu roku 2016 je převzatá Evropská norma EN 16812 publikovaná v dubnu 2016 Evropským výborem pro normalizaci. Je zde popsána testovací metoda pro měření elektrického odporu vodivých struktur v textilu, například vláken nebo vytištěných drah včetně toho, co má obsahovat zpráva. [25]

Měření elektrického odporu se provádí pomocí čtyřvodičové (Kelvinovy) metody za použití stejnosměrného proudového zdroje. Měření touto metodou je možné dvěma způsoby. První způsob je za pomoci čtyř elektrod a druhý způsob za pomoci dvou elektrod. Norma doporučuje použití způsobu se čtyřmi elektrodami, který je méně náročný na dodatečné výpočty, avšak způsob se dvěma elektrodami nevyklučuje. K samotnému měření je zapotřebí buď stabilní proudový zdroj a voltmetr nebo je možné použít ohmmetr podporující čtyřvodičové měření. Dále jsou potřeba čisté, nezoxidované a neponičené kontaktní elektrody, kalibrovaný metr a izolační podložka. [25]

Ve výsledné zprávě pak nesmí chybět několik zásadních informací o provedeném měření, jako je identifikace laboratoře kde měření probíhalo, identifikace vzorků, specifikace použitých měřidel, datum a další. [25]

## 2.3 Změny prostředí

### 2.3.1 ČSN EN 60068-2-14

ČSN EN 60068-2-14. Zkoušení vlivů prostředí – Část 2-14: Zkoušky – Zkouška N: Změna teploty. [26]

Předmětem této normy je zkouška, která zjišťuje schopnost součástí, zařízení nebo jiných předmětů odolávat rychlým změnám teploty okolí. Tyto rychlé změny mohou u zařízení docházet v důsledku jeho přemístění z teplých vnitřních prostor do venkovních prostor o nižších teplotách nebo naopak. Ke změnám teploty může docházet také při ochlazení deštěm nebo ponořením do vody, u zařízení pracujících vně letadel nebo za specifických podmínek při skladování nebo přepravě. [26]

Norma dále definuje jeden zkušební cyklus jako přechod teploty zařízení z laboratorní teploty na první teplotu expozice, poté na teplotu druhou a zpátky na teplotu laboratoře. Dále udává, že teplota laboratoře, vysoká teplota, nízká teplota, doba expozice, doba přemístění nebo rychlost změny a počet zkušebních cyklů tvoří parametry zkoušky. Norma také uvádí tři různé postupy zkoušky a říká kdy jaký postup použít. [26]

Prvním postupem je zkouška Na: Rychlá změna teploty s předepsanou dobou přemístění. Tato zkouška testuje schopnost součástek, zařízení či jiných předmětů vydržet rychlé změny teplot okolního vzduchu nebo vhodného inertního plynu. Tato zkouška se doporučuje pro hodnocení vlastností po určitém počtu tepelných cyklů, pro určení vhodnosti mechanických součástek a materiálů a pro hodnocení způsobilosti mechanických součástek odolávat umělému namáhání. [26]

Druhá zkouška Nb: Změna teploty se stanovenou rychlostí změny zkoumá schopnost součástek odolávat teplotním změnám a/nebo během těchto změn fungovat. Tato zkouška se doporučuje v případech hodnocení elektrických a mechanických vlastností během teplotních změn. [26]

Jako třetí je zkouška Nc: Rychlá změna teploty, metoda se dvěma kapalinovými lázněmi, kde se vzorek střídavě vkládá do lázně se studenou kapalinou a poté do lázně s kapalinou vysoké teploty. Tato zkouška je vhodná pro stejné účely jako zkouška Na. [26]

## **2.4 Mechanické opotřebení**

### **2.4.1 ČSN 64 7029**

ČSN 64 7029. Zkoušení syntetických usní. Stanovení odolnosti proti opakovanému ohybu. [27]

Tato norma stanovuje odolnost poromerů (materiály s tkanou nebo netkanou hlavní složkou potaženou polyuretanem nebo PVC) a koženek proti ohybu při laboratorní nebo snížené teplotě. Odolnost proti ohybu je důležitým hodnotícím kritériem z důvodu životnosti při použití. Vzorek je namáhán ohybem při laboratorní nebo snížené teplotě a následně vyhodnocen z lícové i rubové strany. [27]

Norma stanovuje zkušební podmínky jako je zkušební teplota  $23 \pm 2$  °C, relativní vlhkost vzduchu  $50 \pm 5$  % a za těchto podmínek doporučené počty ohybů 5000, 10 000, 20 000, 50 000, 100 000, 150 000 a 200 000. Pokud testujeme vzorky při snížené teplotě (0, -5, -10, -15, -20, -25, -30 °C) doporučené počty ohybů jsou 2000, 5000, 10 000, 20 000, 50 000 a 100 000. Vzorky je nutné před testem nejméně 15 minut temperovat. [27]

Potřebné pomůcky k testu jsou vysekávací nůž na vzorky o rozměru 70 mm x 45 mm. Lupa zvětšující alespoň 6krát, opatřená měřítkem. Délkové měřítko s rozlišením na 1 mm, chladicí zařízení a zkušební přístroj tzv. flexometr. Flexometr je složen ze dvou hlavních částí, čelistí. Horní upínací čelist je pohyblivá a pohybuje se po trajektorii kruhové výseče do úhlu  $22,5^\circ$  rychlostí  $100 \pm 5$  ohybů za minutu. Dolní čelist je pevná a nepohyblivá. [27]

Před zkouškou se odeberou tři vzorky v podélném směru a tři vzorky v příčném směru. Horní pohyblivá čelist se nastaví do základní polohy, vzorek se přehne napůl podél delší strany a upne se tak do čelisti. Druhá strana vzorku se přehne dolů, složí se rubovou stranou dovnitř a bez velkého napínání se upne do dolní čelisti. Po uběhnutí určeného počtu ohybů se vzorek vyjme a ohodnotí se jeho lícová i rubová strana pomocí tabulky uvedené v normě. [27]

Po zkoušce je nutné vypracovat zápis, který obsahuje označení zkoušených vzorků, odkaz na normu, zkušební teplotu a počet provedených ohybů, vyhodnocenou odolnost vzorků, popis případných odchylek od normy a datum provedené zkoušky. [27]

#### **2.4.2 ČSN EN ISO 12947**

Norma ČSN EN ISO 12947. Textilie – Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale popisuje způsob testování a vyhodnocování odolnosti textilií vůči odírání a je rozdělena do čtyř částí [28][29][30][31]

Část 1: Přístroj Martindale. Tato část definuje několik základních pojmů, jako jsou například oděrová otáčka nebo kontrolní interval. Dále je zde vysvětlena podstata zkoušky. Kruhový vzorek se odírá v přístroji při určitém zatížení o oděrací textilní prostředek pohybem po trajektorii Lissajousova obrazce. V neposlední řadě je zde popsán samotný přístroj Martindale a jeho sestavení a údržba. [28]

Část 2: Zjišťování poškození vzorku. Část 2 specifikuje postup stanovení počtu otáček do úplného poškození vzorku. Kontrola probíhá ve stanovených fixních intervalech. Tato metoda je použitelná pro všechny textilní látky zahrnující i netkané textilie. Výjimkou jsou textilie s nízkou odolností proti oděru. Dále jsou v této části zavedené pojmy jako například vlákno, pletená látka, netkaná textilie nebo opotřebená oblast. [29]

Kruhový vzorek je v držáku připevněn spolu s pěnovou podložkou a vystaven definovanému zatížení. Pokud má však vzorek hmotnost na jednotku plochy větší než  $500 \text{ g/m}^2$  pěnová podložka není potřeba. Zatížení vzorku je  $795 \pm 7 \text{ g}$  pro pracovní textilie, čalounictví, ložní prádlo a textilie pro technické využití. Pro oděvní textilie a domácnost je zátěž  $595 \pm 7 \text{ g}$ . Držák vzorku je volně otočný kolem osy kolmé k ploše vzorku. Po vzorku se poté pohybuje oděrací textilie opisující Lissajousovy obrazce. [29]

V normě jsou dále popsány zařízení a materiály použité při zkoušce jako například šablona, zvětšovací zařízení nebo zařízení pro napnutí a upevnění látky. Velká část normy je věnována podrobnému popisu výběru, přípravy a připevnění vzorků. Výstupem zkoušky je poté zpráva obsahující výsledky. [29]

Část 3: Zjišťování úbytku hmotnosti. Zkouška probíhá obdobně jako u části 2, s tím rozdílem, že při stanovených intervalech se zjišťuje úbytek hmotnosti látky. Intervaly jsou zvoleny podle tabulky uvedené v normě a výsledků dosažených při zkoušce podle ČSN EN ISO 12947-2. Kromě zkušebního přístroje a dalších pomocných materiálů uvedených v normě ČSN EN ISO 12947-1 je zapotřebí váha s přesností na 1 mg. [30]

Z jednotlivých úbytků hmotnosti se vypočítají aritmetické průměry a jsou vyneseny do grafu v závislosti na počtu otáček. Tento graf je součástí protokolu o zkoušce a vypovídá o odolnosti textilie. V protokolu jsou dále uvedeny informace o vzorku, průběhu zkoušky, odchylkách od normy a výsledky jednotlivých zkoušek. [30]

Část 4: Hodnocení změny vzhledu. Tato metoda je vhodná pro všechny druhy plošných textilií, netkaných textilií a také pro textilie s nízkou odolností proti oděru. Vzorek textilie je odírán o oděrací prostředek při zatížení  $198 \pm 2 \text{ g}$ . Zkouška probíhá buď do odsouhlaseného počtu otáček, nebo do odsouhlasené změny vzhledu povrchu látky. Podle tabulky a podle otáček očekávaných pro požadovanou změnu vzhledu se určí intervaly hodnocení vzhledu. Pokud ještě nedošlo ke změně, pokračuje se ve zkoušce, je však nutné, aby se vzorky a držáky umístily na stejné místo, odkud byly odebrány. Jelikož je možné, že vzorky nemuseli mít na začátku stejný vzhled, musí se tyto rozdíly uvést do protokolu. Do protokolu se také uvádí struktura a popis vzorků, zkušební řady, podrobnosti o použité metodě, výsledky zkoušky a odchylky od postupu. [31]





Obr. 4: Přístroj Martindale. Převzato z [32]

## 2.5 Odolnost vůči potu

### 2.5.1 ČSN EN ISO 105-E04

ČSN EN ISO 105-E04. Textilie – Zkoušky stálobarevnosti – Část E04: Stálobarevnost v potu. [33]

Tato norma představuje metodu zjišťování vlivu lidského potu na barvu textilií všech druhů a forem. Na zkoušené vzorky látky spolu s doprovodnými tkaninami se nechají působit dva různé roztoky obsahující histidin, poté se usuší a vyhodnotí se jejich změna barvy v porovnání s šedou stupnicí nebo přístrojově. [33]

Norma uvádí několik nezbytných zařízení a materiálů, jako je například zkušební zařízení. Toto zařízení se skládá z rámu z nerezové oceli. Do tohoto rámu je vsazeno 5 kg těžké závaží o podstavě 60 mm x 115 mm, které na vzorky působí přtlakem  $12,5 \pm 0,9$  kPa. Vzorky jsou vloženy mezi dvě destičky (přibližně 60 mm x 115 mm x 1,5 mm) tvořené sklem nebo akrylovou pryskyřicí. Pokud je v průběhu zkoušky závaží odebráno, je nutné, aby zařízení svou konstrukcí zachovalo stanovený přtlak. Dále je pro normu potřebná sušárna, alkalický a kyselý roztok potu (složení uvedené v normě), neobarvitelná tkanina (pokud je potřebná), šedé stupnice pro hodnocení, spektrofotometr nebo kolorimetr, sada 11 destiček ze skla nebo z akrylové pryskyřice a nádoba z inertního materiálu s plochým dnem. Posledním potřebným materiálem jsou doprovodné tkaniny, buď jedna vícevlákná nebo dvě jednovlákná. [33]

Norma dále popisuje podobu zkušební vzorku a umožňuje zkoušení jak plošných textilií, tak také nití nebo volných vláken. Vzorek plošné textilie velikosti  $40 \pm 2 \text{ mm} \times 100 \pm 2 \text{ mm}$  se lícem přiloží k jedné vícevlákně doprovodné tkanině nebo vloží mezi dvě jednovlákně tkaniny o stejné velikosti jako vzorek a sešije se na jedné z kratších stran. Pokud se mají zkoušet délkové textilie, odebere se množství rovnající se přibližně polovině hmotnosti doprovodných textilií. Tyto nitě se pak vloží buď mezi vícevlákně a neobarvitelnou tkaninu a sešijí se po všech stranách, nebo mezi dvě jednovlákně tkaniny a taktéž se sešijí po všech stranách. [33]

Zkušební postup je takový, že se vzorek nejprve vloží do nádoby s plochým dnem a zalije se alkalickým roztokem. V tomto roztoku s  $\text{pH } 8 \pm 0,2$  se ponechá při pokojové teplotě po dobu 30 minut a občasně promíchá, aby došlo k celkovému smočení. Poté se vzorek zbaví přebytečné kapaliny a vloží se mezi dvě destičky a do zkušební zařízení. Stejný postup se aplikuje také pro roztok kyselý s  $\text{pH } 5,5 \pm 0,2$  a pak se zkouší v samostatném zařízení. Následně se zkušební zařízení vloží na 4 h do sušárny předeřáté na teplotu  $37 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  tak, aby vzorky byly buď ve vodorovné, nebo svislé poloze. Po uplynutí 4 h se vzorek rozevře (po odpáráání švů, kromě jedné z kratších stran, pokud je to nutné) a suší se na vzduchu při maximální teplotě  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  tak, aby se jeho dvě nebo tři části dotýkaly jen v sešitém místě. Poté se vzorek vyhodnotí za pomoci šedých stupnic nebo přístrojů k tomu určených. [33]

Po zkoušce je nutné vypracovat protokol, který obsahuje údaje jako je odkaz na normu, údaje o vzorcích číselnou hodnotu změny odstínu a číselné hodnoty zapouštění do každého druhu doprovodné tkaniny, pokud byla jednovlákně a pokud vícevlákně tak do každého druhu vlákna. [33]

## 2.6 Odolnost vůči praní

### 2.6.1 ČSN EN ISO 6330

ČSN EN ISO 6330. Textilie – Postupy domácího praní a sušení pro zkoušení textilií. [34]

Norma ČSN EN ISO 6330 je platná od listopadu 2012 a je překladem evropské normy EN ISO 6330:2012. Dokument popisuje postupy domácího praní a sušení určené k testování textilií. Postupy zde popsány jsou vhodné pro plošné textilie, oděvy nebo jiné textilní výrobky, které podstupují domácí praní a sušení. [34]

V normě je uvedeno několik postupů pro různé typy praček a několik způsobů sušení. Pračky jsou děleny na tři typy a to na: plnění zepředu, plnění shora (typ aligátor) a plnění

shora (typ pulzátor). Způsoby sušení jsou rozděleny do šesti skupin, následovně: v závěsu, v závěsu odkapáváním, v rozprostřeném stavu, v rozprostřeném stavu odkapáváním, plochým lisem a v bubnové sušičce. Samotná zkouška poté musí obsahovat, jak postup praní, tak i sušení. [34]

Norma se dále také zabývá použitými činidly. Uvádí šest rozdílných referenčních detergentů rozdělených podle toho, jestli jde o práškový nebo tekutý, jestli detergent obsahuje opticky zjasňovací prostředky nebo ne a jestli jsou v něm obsaženy enzymy nebo je bez enzymů. Dále uvádí tvrdost, tlak a teplotu vody, která je přiváděná na vstupu do referenční pračky. Tvrdost musí být nižší než 0,7 mmol/l vyjádřená jako uhličitán vápenatý, tlak nesmí být nižší než 150 kPa a teplota musí být  $20 \pm 5$  °C. [34]

Proces praní se zvolí podle typu použité pračky. Pokud bude následně materiál sušen v bubnové sušičce nebo se bude zjišťovat úbytek hmotnosti, je nutné ho před praním zvážit. Materiál se poté vloží do pračky spolu s dostatečným množstvím doplňkových textilií, aby se dosáhlo celkové suché hmotnosti  $2 \pm 0,1$  kg. Následně je přidán referenční detergent. Po praní jsou vzorky opatrně vyndány a následuje sušení podle zvoleného postupu. [34]

Konečný protokol musí obsahovat odkaz na normu, typ použitého přístroje a zvolený postup praní a sušení, typ použitého detergentu, celkovou suchou hmotnost a hmotnost doplňkových textilií, údaje o všech odchylkách od normy a ty použitých doplňkových textilií. [34]

## 2.7 Testovací postup IPC

### 2.7.1 IPC-WP-024

IPC-WP-024. Spolehlivost a omyvatelnost smart textilních struktur – Přípravenost na trh. [23]

IPC tedy International Paper Community vytvořilo tento tzv. White Paper (WP), který se zaměřuje na problematiku domácího praní chytrých textilií, přesněji na vliv pracích cyklů na vodivá postříbřená polyamidová vlákna. Domácí praní je voleno z důvodu, jelikož ve většině případů koncový zákazník tyto výrobky bude prát v domácích podmínkách. Protože při praní na vzorek působí několik degračních faktorů, byly zde provedeny také testy žmolkování a oděru. [23]

Pro praní byla vybrána pračka Miele W3240 a zvolen program na hedvábí, který poskytuje jemné praní. Otáčky praní byly 15 ot/min a odstředění 400 ot/min. Celkový čas praní byl 36 minut a množství vody 16 litrů. Bylo použito 1,25 g/l komerčního detergentu s optickým rozjasňovačem, enzymy a fosfáty. Po každém cyklu bylo prádlo sušeno

v místnosti s teplotou  $20 \pm 2$  °C a vlhkostí  $65 \pm 4$  %. [23]

Z těchto testů bylo zjištěno, že po dvou pracích cyklech byl lineární odpor vodivých vláken téměř zdvojnásoben a dále rostl. Zdvojnásobení odporu proběhlo také po 1 000 žmolkovacích cyklech nebo po 2 000 oděrových cyklech. [23]

### 3 Návrh testovacích postupů

V této kapitole budou popsány navržené testovací metody a postupy pro zkoušení smart textilií. Tyto metody a postupy jsou ve většině případů inspirovány normami a postupy zabývajícími se testováním a zkoušením klasických textilií popsanych v předchozí kapitole. Zkoušky jsou zde řazeny podle toho, jak by mohl teoreticky vypadat případný životní cyklus takového smart textilního výrobku.

#### 3.1 Testování odolnosti v klimatické šokové komoře

Jako první jsem navrhl vzorky podrobit testování teplotním šokem v klimatické komoře. Předpokládám, že na začátku životního cyklu bude výrobek uchovávan ve skladu, kde na něj mohou během roku střídavě působit velmi vysoké letní teploty nebo také velmi nízké zimní teploty. Tento cyklus je simulován v klima-komoře, kde jsou vzorky vystavovány střídavě vysokým a nízkým teplotám

Pro testování odolnosti vzorků jsem se rozhodl využít klimatickou šokovou komoru VT<sup>3</sup> 7012 S2 od firmy Vötsch industrietechnik (Obr. 5) a mezní teploty nastavit na 85 °C a na -20 °C. Tyto teploty jsem zvolil s přihlédnutím ke skutečným teplotám, které mohou při skladování, případně při přepravě, nastat. Jeden cyklus zahrnuje působení teploty 85 °C po dobu 15 min, změnu teploty během 10 s a působení teploty -20 °C po dobu 15 min. V tomto režimu je doba trvání 100 teplotních cyklů přibližně jeden týden.



Obr. 5: Klima-komora VT<sup>3</sup> 7012 S2

### 3.2 Testování odolnosti proti ohybu

Dalším milníkem v životnosti smart textilních výrobků je jejich samotné nošení a používání. V místech jako jsou například lokty a kolena dochází k opakovanému ohýbání a neustálému namáhání textilie. Proto jsem jako druhý test zvolil test ohybu.

Pro testování jsem se rozhodl využít přístroj, který opakovaně oddaluje a přibližuje jednu pohyblivou podložku k druhé pevné (Obr. 6). Mezi tyto dvě podložky lze umístit vzorek, který je namáhán určitým počtem cyklů natažení a smrštění. Jelikož samotný vzorek by se při pohybu přístroje pouze propadával a nebyl by příliš ohýbán, je nutné jej nejdříve upravit. Na látku jsem se tedy rozhodl po stranách připevnit kloboukovou gumu, která bude udržovat vzorek ve vodorovné poloze a zároveň zajistí jeho ohýbání v určených místech.



Obr. 6: Bend tester s upnutým vzorkem látky

Přístroj bude nastaven tak, že dráha pohybu bude 11 cm dlouhá. Při natažení budou od sebe podložky vzdáleny 23 cm a při smrštění budou od sebe tedy vzdáleny 12 cm. Rychlost pohybu bude nastavena tak, že jeden cyklus natažení a smrštění, bude trvat 1,04 s.

### 3.3 Testování odolnosti proti oděru

Při nošení chytrých textilií nebude ohýbání jediným faktorem, který bude na textilií působit degradačně. Bude jím rozhodně také oděrové namáhání. K oděru dochází při styku textilie s pokožkou, ale také při styku dvou textilií. Další test, který jsem tedy navrhl je test oděru.

Test je z velké části inspirovaný textem normy ČSN EN ISO 12947-2. Nicméně pro můj účel je nutné testovací postup pozměnit. Norma uvádí velikost testovaného vzorku cca 38 mm, což pro moje vzorky není dostatečné. Pokud bude ale vzorek umístěn na držáku určeném pro oděrový materiál, může být jeho velikost cca 140 mm. Tato změna by umožnila otestování větší plochy vzorku a tudíž delších trajektorií.

Pro testování bude použit přístroj Martindale SDL M 235, celková hmotnost zatížení bude  $595 \pm 2$  g a jmenovitý přítlak 9 kPa. Jako referenční oděrací materiál bude použita standardní vlněná textilie.

### 3.4 Testování odolnosti proti potu

Protože se předpokládá, že smart textilie budou v kontaktu s lidskou pokožkou, je nutné, aby byl zkoumán, jaký vliv na ně bude mít kontakt s potem. Proto jsem navrhl následující experiment, který do značné míry čerpá z postupů uvedených v normě ČSN EN ISO 105-E04.

Norma připouští dva různé druhy potů, já jsem zvolil pot kyselý z důvodu lepší dostupnosti přísad. Test se bude skládat z několika částí: namáčení vzorku v potu, máchání v čisté vodě, ruční vyždímání a sušení vzorku. Část namáčení vzorků jsem zvolil tak, jak je psáno v normě. To znamená namáčení vzorku v ploché nádobě po dobu 30 minut a každých 10 minut promíchání a otočení vzorku v roztoku, aby bylo dosaženo správného nasáknutí vzorku. Množství umělého potu jsem zvolil 1 litr, což stačí na plné ponoření vzorku. Po uplynutí určené doby bude vzorek vyndán, ručně vyždímán a vložen do tří litrů studené kohoutkové vody. Ve vodě bude vzorek máčen po dobu 30 minut, kde bude také každých 10 minut promíchán, aby došlo k co nejlepšímu vypláchnutí potu z látky. Po každém vzorku je nutné vodu vyměnit, aby se v ní neusazovaly různé nečistoty a soli z roztoku. Po třiceti minutách ve vodě je vzorek ručně vyždímán a pověšen k vyschnutí. Proplach ve vodě jsem zvolil z důvodu simulace skutečných podmínek, kdy zákazník po propocení chytrého oblečení toto oblečení vypere a následně ho bude používat znovu. Praní jsem nahradil pouze proplachem vodou a pro vliv pracího cyklu jsem zvolil samostatný test. Test odolnosti potu má za úkol monitorovat pouze změny smart textilií, které jsou způsobeny vlivem potu.

### 3.5 Testování odolnosti proti pracím cyklům

Je zřejmé, že po nějaké době nošení a používání chytré textilie, jí bude chtít zákazník vyprat, aby jí mohl dále používat. Proto jsem jako poslední test navrhl testování pracími cykly. Pro tento test jsem se inspiroval normou ČSN EN ISO 6330 (kapitola 2.6.1) a postupy uvedenými v IPC-WP-024 (kapitola 2.7.1).

Pro praní vzorků jsem měl k dispozici poloprofesionální pračku Whirlpool AWG 812/PRO (Obr. 7). Prací program jsem zvolil pro syntetické materiály s teplotou praní 40 °C a mácháním při 400 ot/min. Při tomto nastavení jeden prací cyklus trvá přibližně 1:30 h. Množství praného prádla jsem se rozhodl, na základě normy, vždy doplnit do celkové hmotnosti 2 kg pomocí doplňkových textilií. Jednotlivé vzorky jsem navrhl rozdělit

do tří pracích vaků podle použité nitě z důvodu snížení potenciálního tření a odírání mezi vzorky a pracím bubnem a mezi vzorky samotnými. Vzorky s nitěmi 53 a 25A budou prány společně ještě s dalšími testovanými textiliemi. Vzorky s nití 7A budou prány v jednom pracím vaku, ale odděleně od ostatních vzorků, pouze tedy s doplňkovými textiliemi. Toto opatření navrhuji z důvodu případného uvolňování a následného zachytávání částic stříbra (obsaženého ve vodivém inkoustu použitého pro kontaktování nitě) na ostatní textilie. Pro praní jsem vybral prací prostředek značky Bonux 3v1. Dávkování pracího prostředku jsem navrhl v množství 60 g. Po vyprání bude sušení vzorků probíhat v závěsu. Prací program i způsob sušení jsem zvolil na základě testů prováděných IPC.



Obr. 7: Pračka Whirlpool AWG 812/PRO

Pro všechny vzorky jsem navrhl provést celkově 30 pracích cyklů. Do desátého cyklu budou všechny vzorky proměřovány po každém praní. Po dosažení deseti cyklů budou vzorky proměřovány pouze každý pátý cyklus.



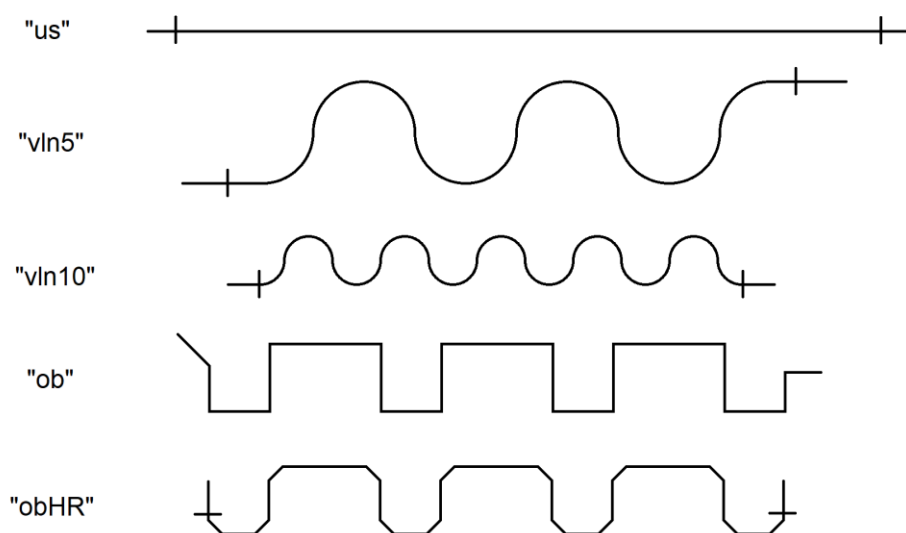
## 4 Vlastní měření

Úvod této kapitoly je věnován popisu testovaných vzorků. Následně jsem se zaměřil na způsob, jak byl měřen jejich elektrický odpor, jaké hodnoty odporů můžeme očekávat a jak byly tyto hodnoty zpracovány. V poslední části této kapitoly postupně vyhodnocuji jednotlivá měření.

### 4.1 Specifikace vzorků

K testování jsem měl k dispozici 4 prakticky totožné sady vzorků, které jsem pro testování rozdělil následovně: 1. sada – testy v klimatické šokové komoře, 2. sada – prací testy, 3. sada – testy oděru a 4. sada – testy umělým potem a testy ohybu. V příslušné kapitole je poté vždy přesněji specifikováno, jaké vzorky byly vybrány. Každá sada obsahovala pět různých vyšitých motivů, tyto motivy byly vyšity třemi různými nitěmi, na třech různých typech textilií.

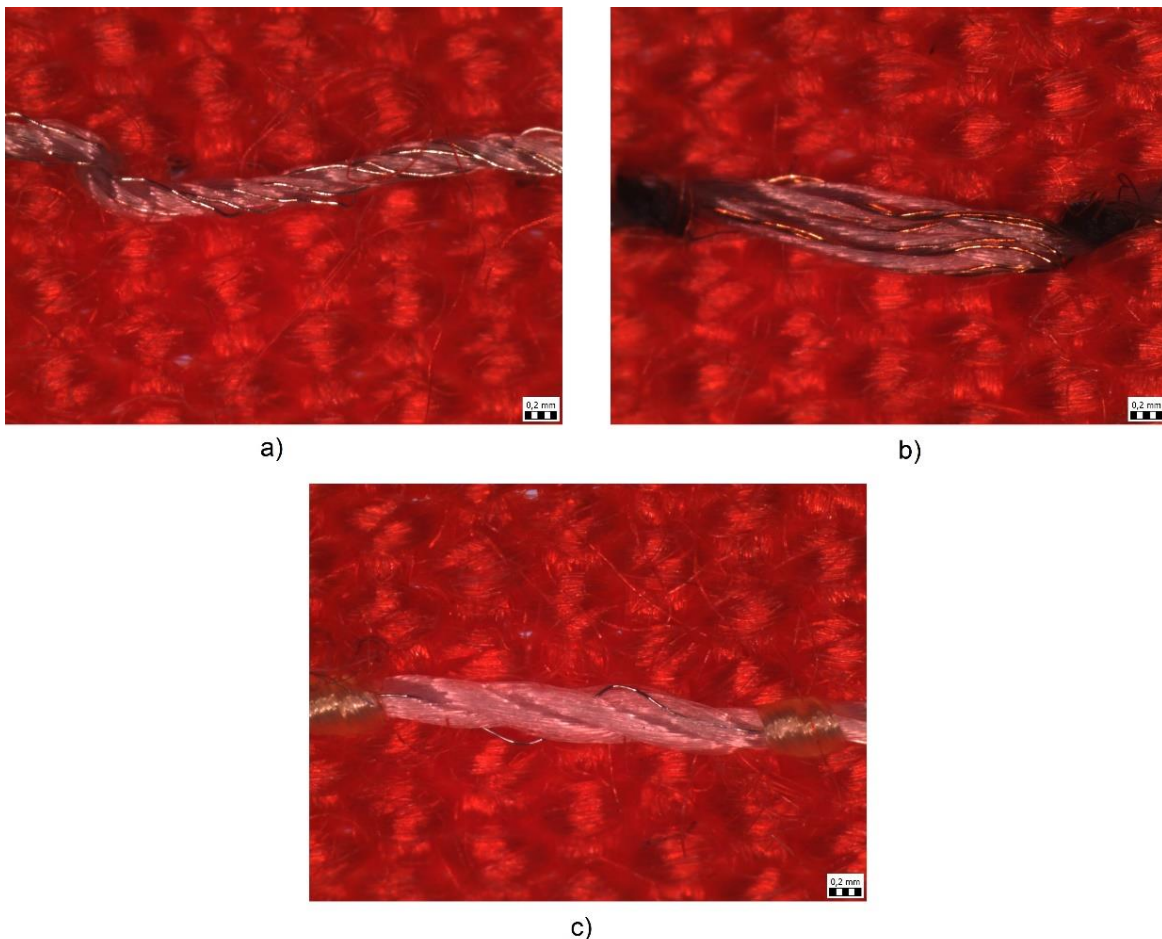
Všechny vyšité motivy měly délku 350 mm a byly opatřeny rovným zakončením na každé straně pro snadné kontaktování vodivých drah. Prvním motivem je rovná úsečka, označována jako „us“. Další motiv je vlnovka. Ta byla vyšita ve dvou provedeních, a to s poloměrem 22,3 mm označena jako „vln5“ a s poloměrem 11,15 mm označena jako „vln10“. Poslední motivem byl obdélník, taktéž ve dvou provedeních. První provedení byl klasický, nijak modifikovaný obdélník značený „ob“, druhé provedení byl obdélník se zkosenými hranami označený „obHR“. Provedení motivů je vidět na Obr. 8. Všechny motivy byly vyšity v šesti stejných exemplářích. [35]



Obr. 8: Tvary vyšitých motivů

Jako substrát byly vybrány tři odlišné textilie. První textilií byla 100% bavlna, bílé barvy, keprové vazby a gramáží  $130 \text{ g/m}^2$ . Druhá použitá textilie byla také 100% bavlna s keprovou vazbou, ale s gramáží  $155 \text{ g/m}^2$ , barvy modré. Poslední textilie byla z para-aramidových vláken s plátňovou vazbou, s gramáží  $180 \text{ g/m}^2$ , barvy oranžové. [35]

Použité nitě jsou od výrobce VÚB a.s. a jedná se o nitě s interním označením 53, 25A a 7A. Jejich detail je možné si prohlédnout na Obr. 9. Jedná se o hybridní nitě složené z polyesterových vláken a kovových mikrodrátků. Nit 53 má ve své struktuře seskány 4 postříbřené měděné drátky. Lineární odpor této nitě udávaný výrobcem je  $6,5 \Omega/\text{m}$ . Druhá nit má označení 25A, tato nit obsahuje 8 vodivých mosazných mikrodrátků a udávaný lineární odpor je  $8,9 \Omega/\text{m}$ . Nit 7A je tvořena jedním vodivým drátkem vyrobeným z nerezové oceli a má odpor  $2420,2 \Omega/\text{m}$ . Jelikož má nit 7A ve struktuře pouze jeden mikrodrátek byly kontakty této nitě ještě zakápnuty vodivým inkoustem s částicemi stříbra, aby bylo možné motiv nakontaktovat. [35]



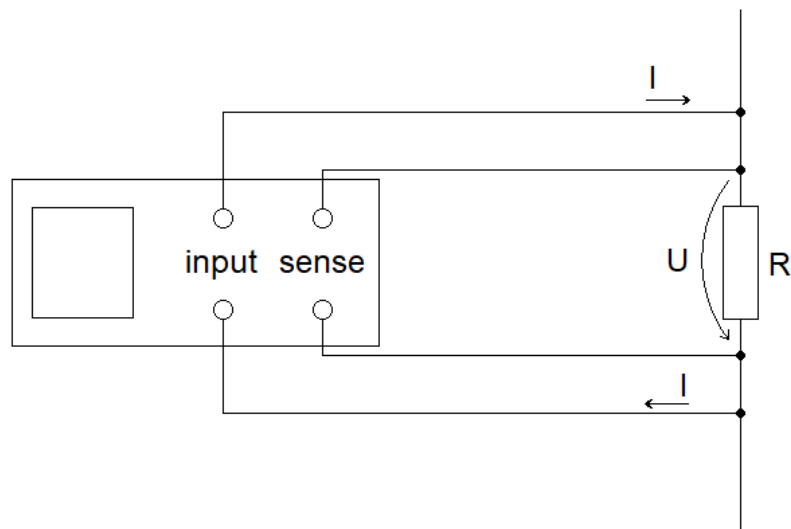
Obr. 9: Detail nití a) 53, b) 25A, c) 7A

Vzorky byly proměřeny ihned po jejich vyšití, testování však bylo spuštěno až po několika měsících. Rozhodl jsem se tedy ověřit, zda tato doba neměla vliv na jejich vodivost a proměřil jsem tedy všechny vzorky znovu. Tím jsem také získal počáteční hodnoty, z kterých jsem následně vycházel a porovnával s nimi vliv jednotlivých testů. Po proměření jsem usoudil, že uskladnění vzorků na ně nemělo žádný nebo pouze velmi malý vliv. Odchytky původních a naměřených hodnot po několika měsících se pohybovaly pouze v řádu jednotek procent, což mohlo být způsobeno jinými měřicími podmínkami, například teplotou nebo použitím jiného měřícího přístroje.

## 4.2 Čtyřvodičová metoda

Čtyřvodičová metoda nebo také Kelvinova metoda je vhodná pro měření s dlouhými přívodními vodiči, jelikož eliminuje jejich vliv. Také je vhodná pro měření malých odporů, což je náš případ, protože hodnoty odporů výšivek nití 53 a 25A se pohybují v jednotkách ohmů. Princip metody spočívá v připojení konstantního známého proudu na měřený odpor pomocí jednoho páru elektrod zvaných „source“ nebo také „input“ a měření napětí pomocí druhého páru elektrod nazývaných „sense“. Poté je aplikován Ohmův zákon a je vypočítána měřená hodnota odporu. Jelikož napěťový vstup má velký vstupní odpor, neteče skrz něj téměř žádný proud, nevzniká tedy úbytek napětí na přívodních vodičích a měření tak není zatíženo chybou. Na Obr. 10 pak vidíme reálné zapojení přístroje pro měření pomocí čtyřvodičové metody. [36][37]

V této diplomové práci jsem pro měření použil digitální multimetr značky Keithley 2701. Tento multimetr jsem připojil k počítači přes ethernetového rozhraní a pomocí softwaru Kickstart byla sbírána data z měření a exportována ve formě excelové tabulky. U každého jednotlivého vzoru jsem změřil 30 hodnot s vteřinovým rozestupem. Pro další vyhodnocení jsem pak bral poslední naměřenou hodnotu jako směrodatnou. Předpokládal jsem totiž, že během této doby dojde k ustálení různých přechodových jevů.



Obr. 10: Schéma zapojení čtyřvodičové metody

Pro připojení měřícího přístroje ke zkoušenému vzorku byly vytvořeny tyto sondy Obr. 11. Jejich tělo je vytisknuto na 3D tiskárně. Ve spodní části jsou vloženy dva magnety, které se přichytí na elektricky odizolovanou kovovou desku umístěnou pod měřeným vzorkem. Uprostřed sond jsou umístěny dvě měřící jehly, které se připojí na kontaktní plošky vzorku. V horní části jsou poté vyvedeny dva přívodní vodiče do měřícího přístroje.



Obr. 11: Kontaktní sonda

### 4.3 Výpočet míry poškození nitě

Aby bylo možné určit míru poškození vyšitého motivu, potažmo vlákna samotného, tj. abych mohl říci kolik drátků je ve struktuře nitě pravděpodobně přetržených, provedl jsem několik výpočtů. Při výpočtech předpokládám, že výsledná vodivost nitě je paralelním spojením čtyř, respektive osmi drátků. Z této úvahy je možné provést následující výpočet.

Základní hodnota odporu, z které vycházím, je brána z dokumentace výrobce. Tato hodnota je však udávána na metr délky nitě, proto jsem ji nejprve přepočítal na délku 35 cm. Poté jsem spočítal hodnotu odporu  $R_D$  [ $\Omega$ ] jednoho vodivého drátku obsaženého ve struktuře nitě. Pokud víme, že při paralelním řazení odporů se sčítají jejich převrácené hodnoty, lze tedy z rovnice (1) vyjádřit rovnici (2), kde  $v$  [-] je počet vodivých drátků seskaných v niti a  $R$  [ $\Omega$ ] je hodnota odporu 35 cm dlouhé nitě. Následně už je možné z rovnice (3) vypočítat hodnotu celkového odporu nitě  $R_C$  [ $\Omega$ ] s počtem přetržených drátků  $u$  [-].

$$\frac{1}{R} = v \cdot \frac{1}{R_D} \quad (1)$$

$$R_D = v \cdot R \quad (2)$$

$$R_C = \frac{1}{(v - u)} \cdot R_D \quad (3)$$

Tímto způsobem jsem vyjádřil všechny možnosti počtu přetržených drátků pro všechny nitě. Jednotlivé hodnoty odporů jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1: Hodnoty odporů podle počtu přetržených drátků

u [-]	25A		53		7A	
	$R_C$ [ $\Omega$ ]	$R_C/R$ [-]	$R_C$ [ $\Omega$ ]	$R_C/R$ [-]	$R_C$ [ $\Omega$ ]	$R_C/R$ [-]
0	3,12	1,00	2,28	1,00	847,07	1,00
1	3,56	1,14	3,03	1,33	$\infty$	
2	4,15	1,33	4,55	2,00	-	
3	4,98	1,60	9,10	4,00	-	
4	6,23	2,00	$\infty$		-	
5	8,31	2,67	-		-	
6	12,46	4,00	-		-	
7	24,92	8,00	-		-	
8	$\infty$		-		-	

#### 4.4 Vyhodnocování dat

Jak již bylo řečeno, u každé vodivé dráhy jsem měřil 30 hodnot odporů s vteřinovým rozestupem. Jako směrodatnou hodnotu odporu jsem považoval vždy tu poslední, jelikož jsem předpokládal, že po třiceti vteřinách budou v niti již ustáleny všechny přechodové jevy. Tyto hodnoty bylo poté nutné nějakým způsobem zpracovat, aby je bylo možné mezi sebou porovnávat. Podle vzoru IPC-WP-024 jsem zvolil způsob, kdy byly počítány poměry hodnot odporů v jednotlivých cyklech vůči počáteční hodnotě před začátkem testů. Tyto hodnoty jsem pak zaznamenal do grafů.

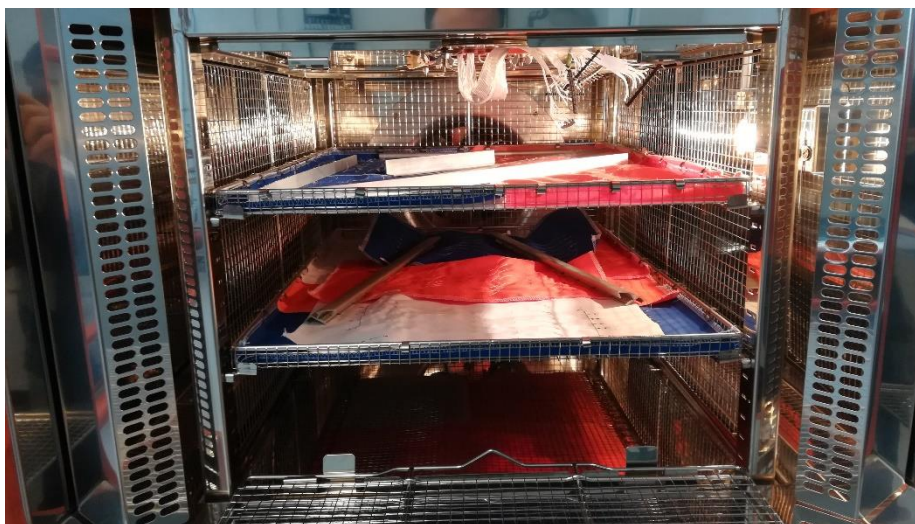
## 4.5 Klimatická šoková komora

Pro tyto testy byla vybrána jedna celá sada vzorků, která obsahovala všechny druhy nití látek i vzorů (Tab. 2).

Tab. 2: Přehled vzorků jedné sady

NIT	TEXTILIE	MOTIV
25A	bavlna 130 g/m <sup>2</sup>	us, vln5, vln10, ob, obHR
25A	bavlna 155 g/m <sup>2</sup>	us, vln5, vln10, ob, obHR
25A	para-aramid 180 g/m <sup>2</sup>	us, vln5, vln10, ob, obHR
53	bavlna 130 g/m <sup>2</sup>	us, vln5, vln10, ob, obHR
53	bavlna 155 g/m <sup>2</sup>	us, vln5, vln10, ob, obHR
53	para-aramid 180 g/m <sup>2</sup>	us, vln5, vln10, ob, obHR
7A	bavlna 130 g/m <sup>2</sup>	us, vln5, vln10, ob, obHR
7A	bavlna 155 g/m <sup>2</sup>	us, vln5, vln10, ob, obHR
7A	para-aramid 180 g/m <sup>2</sup>	us, vln5, vln10, ob, obHR

Vzorky v klima-komoře byly nejprve podrobeny 100 teplotním cyklům. Následně jsem vzorky proměřil čtyřvodičovou metodou. Poté bylo na vzorcích provedeno dalších 100 teplotních cyklů. Napotřetí byly vzorky do klima-komory vloženy na 300 cyklů. Celkově byly tedy vzorky podrobeny pěti sům teplotním cyklům. Průběh testu je možné vidět na Obr. 12. Testování probíhalo podle specifikací uvedených v kapitole 3.1.



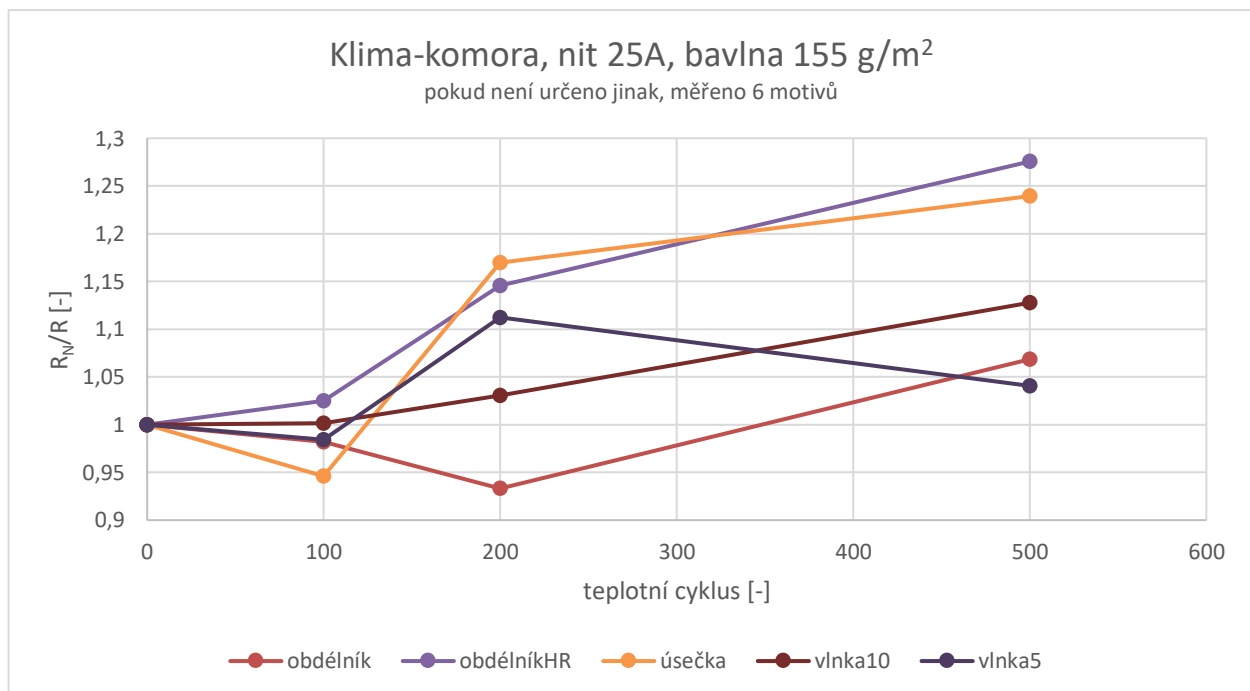
Obr. 12: Průběh testu v klima-komoře

#### 4.5.1 Porovnání druhu použité hybridní nitě

Při testování jsem proměřil odpor jednotlivých motivů (každý v šesti opakováních) viz Tab. 2 po 100, 200 a 500 cyklech. Tyto naměřené hodnoty je možné si prohlédnout na přiloženém CD ve složce Klima-komora. Hodnoty odporů jsem poté přepočítal na hodnoty „relativní“ vzhledem k počátečním hodnotám. Každý bod v grafu pak vyjadřuje průměr šesti hodnot jednoho motivu vyšitého jednou nití na jedné látce. Vzhledem k množství naměřených hodnot a velkému počtu vytvořených výsledných grafů, zde uvádím jeden z nich pouze jako příklad, ostatní naměřené výsledky jsou hodnocené v textu.

Abychom byly schopni porovnat mezi sebou jednotlivé typy nití, je nutné je posuzovat vždy na jednom stejném substrátu. Jako první vezměme bílou bavlnu, kde si nejhůře vedla nit 25A, jejíž hodnota odporu se zvýšila až o 14 % (žádný přetržený mikrodrátek). Na rozdíl od nitě 53 a 7A, u nichž se hodnota odporu zvýšila maximálně o 2 %, nicméně u nitě 53 mají tyto hodnoty menší rozptyl.

Na substrátu modrá bavlna měla nejhorší výsledky rovněž nit 25A. Odpor této niti se po 500 cyklech v některých případech zvýšil až o 25 % (pravděpodobně jeden přetržený drátek) své původní hodnoty (Obr. 13). U nitě 53 se hodnota maximálně zvýšila o cca 2,4 % a u nitě 7A tomu bylo o 1,7%. Po 500 teplotních cyklech v klima-komoře došlo u nitě 7A k poškození jedné výšivky.



Obr. 13: Graf testů v klima-komoře nitě 25A na modré bavlně

Poslední látkou je oranžová para-aramidová, kde jako u předchozích dvou případů nejvíce, oproti původním hodnotám, stoupl odpor nitě 25A, a to o 6 %. Jako druhá byla nit 7A, u které se hodnoty odporů po 500 cyklech zvýšily v rozmezí 0,5 - 4 %. V tomto případě nejlépe ze všech nití vyšla nit 53. Hodnoty odporů se u ní zvýšily maximálně o 1,5 % vzhledem k původním hodnotám.

Z naměřených hodnot můžeme tedy usoudit, že nejvíce náchylnou nití na změny teploty je nit 25A. Nitě 53 a 7A jsou na tom velmi podobně nicméně jako odolnější z těchto dvou nití se ukázala nit 53, jelikož má nižší poměrné hodnoty odporů a rozptyl těchto hodnot má také menší než nit 7A.

#### 4.5.2 Porovnání použitých látek

Při porovnávání jednotlivých substrátů nitě 25A po 500 teplotních cyklech se ukázalo, že nejvyšších hodnot dosahují výšivky na modré bavlně, kde se odpor některých vzorů (úsečka a obdélníkhR) zvýšil o čtvrtinu. U výšivek na bílé bavlně se odpor zvýšil v řádu od 8 % do 14 % původních hodnot a u oranžové látky cca o 5 %. U motivů na všech třech látkách tedy můžeme pozorovat mírný kontinuální nárůst hodnot odporů. Ze všech vyšitých drah nebyla po 500 cyklech poškozena žádná.

Pokud se podíváme na látky s nití 53, zjistíme že nejlépe si vedly vzorky na oranžové para-aramidové látce, kde se hodnota odporu v průměru zvýšila o 1 %. U modré a bílé bavlny můžeme vidět také nárůst hodnot odporů v průměru o 1 %, nicméně vzorky na obou látkách mají větší rozptyl hodnot než vzorky na látce oranžové.

Jako poslední bereme v úvahu nit 7A. Na substrátu z bílé bavlny se ve většině případů hodnota odporu zvýšila přibližně o 1,5 %, pouze u motivu vlnka10 se hodnota odporu naopak o 1 % snížila. U modré bavlny vidíme pozvolný nárůst odporu výšivek přibližně o 1,7 %. Došlo zde také v průběhu testování k jednomu přerušení motivu. U oranžové látky došlo po 500 cyklech v klima-komoře k nárůstu odporů o hodnoty od 0,5 % až do cca 4 % původní velikosti.

Na základě naměřených hodnot můžeme říct, že zvyšování hodnot odporů se děje ve všech případech, ačkoliv ve většině případů je toto zvyšování v jednotkách procent. Jako nejvíce náchylné na změny teploty se ukázaly být vzorky vodivých drah vyšité na modré bavlně, kde se v kombinaci s nití 25A, zvedl odpor až o 25%. Naopak nejlépe odolávajícími vzory vodivých drah, které vykazovaly nejmenší nárůst hodnot, byly vzory vyšité na látce z para-aramidových vláken.



## 4.6 Odolnost proti ohybu

Pro tento typ testu byly vybrány vzorky vyšité na para-aramidové látce. Tuto látku jsem vybral, jelikož se používá pro různé ochranné oděvy, je pevnější a odolnější, předpokládal jsem tedy, že bude mezi látkou a nití vznikat větší tření při ohýbání a tím pádem bude docházet k většímu namáhání vzorku. Pro testování byly použity všechny tři nitě a jednalo se o vzory typu obdélník a obdélník se zkosenými hranami.

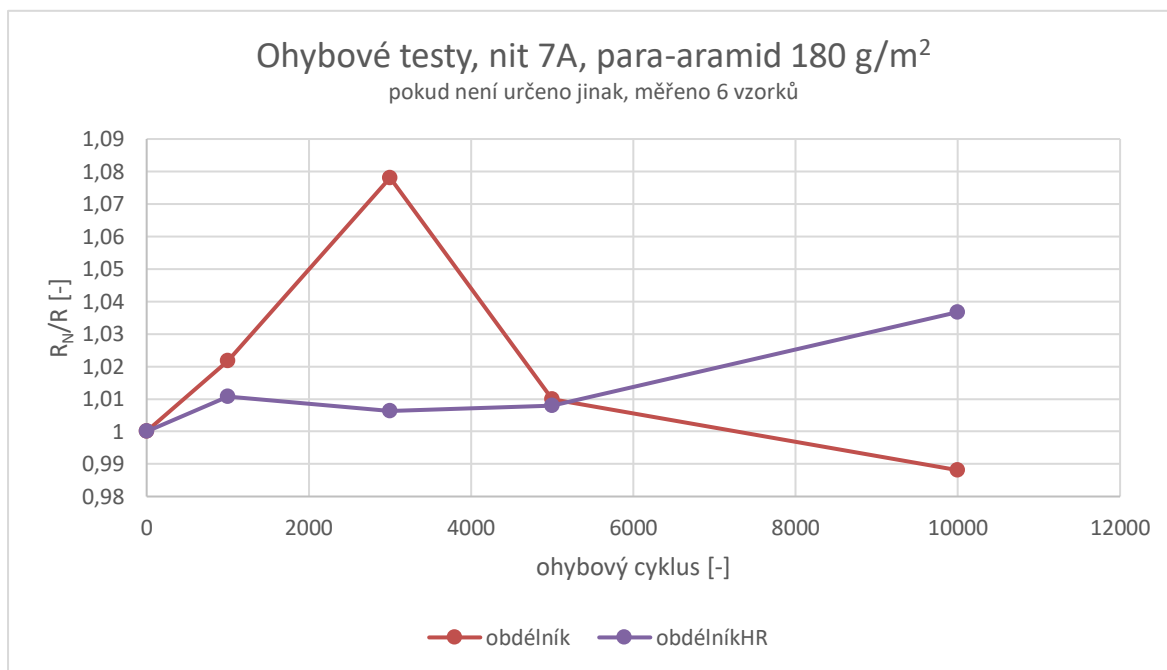
Na vzorcích bylo nejprve provedeno 1 000 ohýbacích cyklů a všechny proměřeny. Poté následovalo dvakrát 2 000 cyklů, a nakonec ještě dalších 5 000 cyklů, tudíž celkový počet cyklů byl 10 000. Všechny tyto cykly byly provedeny podle návrhu v kapitole 3.2.

### 4.6.1 Porovnání druhu použité hybridní nitě

Z naměřených hodnot a následně vypočtených průměrů (Tab. 3) můžeme pozorovat, že žádná z testovaných nití svůj odpor nijak výrazně nezměnila. U nitě 53 se odpor změnil maximálně o 1 %, u nitě 25A maximálně o 2 % a u nitě 7A maximálně o 8 %. V případě nitě 7A je tato vyšší hodnota způsobena však pouze jednou vymykající se hodnotou (Obr. 14), která mohla být způsobena špatným kontaktováním, jelikož je u této nitě kontaktování problematictější. Celkově tedy můžeme říct, že všechny nitě vydrží minimálně 10 000 ohýbacích cyklů.

Tab. 3: Průměrné hodnoty odporů a poměrů odporů testu ohybu

	0 cyklů	1000 cyklů		3000 cyklů		5000 cyklů		10000 cyklů	
	R [ $\Omega$ ]	R [ $\Omega$ ]	R <sub>N</sub> /R [-]	R [ $\Omega$ ]	R <sub>N</sub> /R [-]	R [ $\Omega$ ]	R <sub>N</sub> /R [-]	R [ $\Omega$ ]	R <sub>N</sub> /R [-]
25A ob	4,02	3,99	0,99	4,07	1,01	4,07	1,01	4,04	1,00
25A obHR	3,42	3,36	0,98	3,38	0,99	3,36	0,98	3,35	0,98
53 ob	3,34	3,36	1,01	3,38	1,01	3,35	1,00	3,32	0,99
53 obHR	3,17	3,20	1,01	3,21	1,01	3,20	1,01	3,17	1,00
7A ob	801,76	820,75	1,02	864,18	1,08	809,75	1,01	791,2	0,99
7A obHR	788,07	796,54	1,01	793,09	1,01	794,43	1,01	817,32	1,04



Obr. 14: Graf ohybových testů nitě 7A

#### 4.7 Odolnost proti oděru

Vzorků vybraných a posléze upravených pro test oděru bylo devět kusů. Tyto vzorky byly ze všech tří látek a na každém typu látky byly použity všechny tři nitě. Na vzorcích byly vyšity vždy čtyři dráhy, dva obdélníky a dva obdélníky se zkosenými hranami, tyto vzory byly však posuzovány jako jeden. Upravené vzorky pro test jsou vidět na Obr. 15.



Obr. 15: Vzorky připravené pro test oděru (zleva: 25A, 53, 7A)

Tento test probíhal v TZÚ v Brně a je specifikován v kapitole 3.3. Na vzorcích bylo nejprve provedeno 1 000 cyklů a poté byly vráceny k proměření. Po proměření následovalo dalších 2 000 oděracích cyklů. K dispozici jsem měl ještě další vzorky na bílé a modré bavlně, na kterých bylo provedeno 5 000 cyklů. Pro vyhodnocení výsledků jsem tedy měl řadu 1 000, 3 000 a 5 000 oděracích cyklů.

Pokud bychom vyhodnocovali změny podle normy ČSN EN ISO 12947-2, posuzovali bychom pouze, zda došlo k viditelnému poškození vzorku nebo nikoliv. Takové posouzení ovšem nebylo pro mé účely dostatečné a bylo tedy nutné vždy vzorky podrobit měření.

Naměřená surová data, která je možné si prohlédnout na příloženém CD ve složce Oděr, byla následně zpracována do Tab. 4.

Tab. 4: Souhrn dat oděru

	1000 cyklů		3000 cyklů		5000 cyklů	
	přetržených nití [-]	$R_N/R$ [-]	přetržených nití [-]	$R_N/R$ [-]	přetržených nití [-]	$R_N/R$ [-]
25A bílá	0	1,15	0	1,32	1	2,15
25A modrá	0	1,15	0	2,64	1	4,97
25A oranžová	0	1,37	0	3,50		
53 bílá	0	1,13	1	7,46	4	-
53 modrá	0	1,24	1	1,83	3	23,20
53 oranžová	1	1,38	1	9,72		
7A bílá	1	1,00	4	-	4	-
7A modrá	4	-	4	-	4	-
7A oranžová	4	-	4	-		

#### 4.7.1 Porovnání druhu použité hybridní nitě

Při pohledu do tabulky 4 a porovnávání jednotlivých nití mezi sebou, můžeme říct, že nit s označení 7A byla při oděru nejhorší. Ve většině případů se vodivý mikrodrátek uvnitř nitě přetrhl již při prvních 1 000 oděracích cyklech. Pouze v kombinaci s bílou bavlnou se neporušily 3 výšivky, které se nicméně po dalších 2 000 cyklech poškodily také. Nítě 53 a 25A na tom byly již poměrně lépe. Horší z těchto dvou nití byla nit 53, která měla po 3 000 cyklech poškozené 3 motivy a větší nárůst hodnot odporů oproti počátečním hodnotám než nit 25A. Po 5 000 cyklech byly u této nitě poškozeny již všechny vzorky kromě jednoho motivu vyšitého na modré bavlně, tento motiv však svůj odpor zvýšil přibližně 23x, lze tedy předpokládat, že drátky uvnitř nitě byly již všechny přetrhány a docházelo zde pouze k několika náhodným propojením. Nejlépe oděru odolávající nití se tedy ukázala nit 25A. Po 3 000 cyklech u této nitě nedošlo k úplnému přetržení ani jednoho motivu a jejich odpor se zvýšil maximálně 3,5x (pravděpodobně 5 přetržených drátků) a to u motivů vyšitých na oranžové látce. Po 5 000 cyklech byly poškozeny 2 motivy (na každé látce jeden) a odpor se zvýšil maximálně 5x, můžeme tedy předpokládat 6 přetržených drátků ve struktuře nití.

## 4.8 Odolnost proti potu

Na testy odolnosti vůči potu bylo vybráno devět kusů vzorků. Jednalo se o všechny tři látky a všechny tři nitě. Použité motivy byly vlnka10 a úsečka. Průběh testu je možné vidět na Obr. 16 a je popsán v kapitole 3.4. Namáčecích cyklů jsem celkově udělal deset a po každém cyklu byly vzorky proměřeny.



Obr. 16: Průběh testování s potem (vlevo máčení v potu, vpravo proplach vodou)

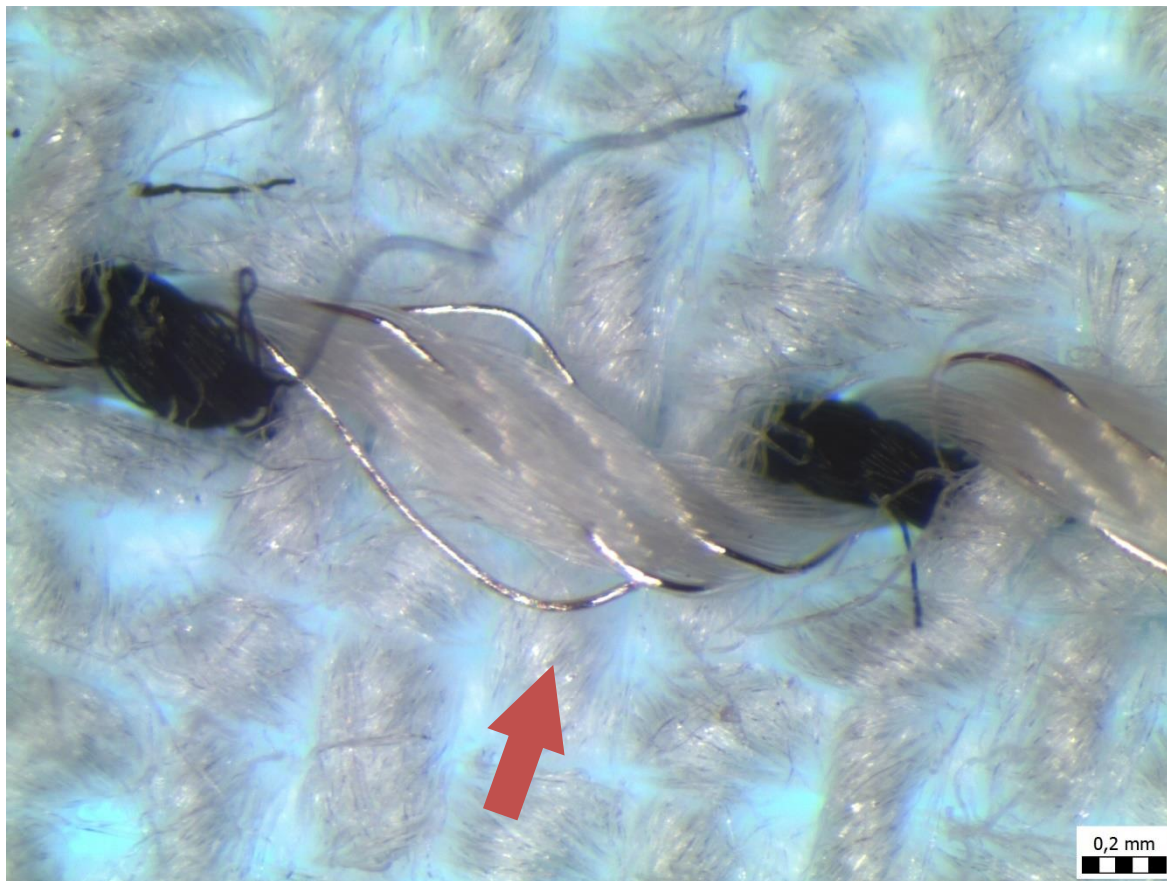
### 4.8.1 Porovnání druhu použité hybridní nitě

Budeme-li se bavit o nitích vyšitých na bílé bavlně, můžeme pozorovat, že ani jedna z nití svůj odpor nijak zvlášť nezvyšuje. Nit 25A má odchylku hodnot odporů maximálně 2 %, nit 53, kromě jedné špičky v šestém cyklu, má odchylku do 1 %. Nit 7A má největší odchylku od původní hodnoty 10 %. Na modré bavlně má nit 25A odchylku maximálně 8 %, nit 53 maximálně 1 % a nit 7A maximálně cca 0,5 % se třemi špičkami dosahující nejvýše 5 % odchylky hodnoty odporu oproti původní hodnotě. Tyto špičky jsou však s největší pravděpodobností způsobené špatným kontaktováním. Odchylky hodnot odporů nití vyšitých na oranžové látce jsou u nitě 25A maximálně 5 % u nitě 53 maximálně 2,5 % a u nitě 7A maximálně 6 %.

Z těchto skutečností tedy můžeme říci, že se vodivost nití téměř nezměnila a 10 namáčecích cyklů nitě vydrží bez problémů. Po přezkoumání výšivek pod mikroskopem však bylo zjištěno, že soli obsažené v potu mají vliv na korozi drátků seskaných ve struktuře nitě. Nejnáchylnější ke korozi byla nit 25A s mosaznými mikrodrátky, u které se zdá, že jsou drátky zoxidované po celé její délce (Obr. 17). Jako druhá nit nejnáchylnější na korozi se ukázala nit 53, u této nitě se koroze objevovala pouze na některých místech (Obr. 18). Koroze však ani u jedné z nití není na takové úrovni, aby negativně ovlivňovala její vodivost.



Obr. 17: Detail nitě 25A po deseti cyklech namáčení v potu



Obr. 18: Detail nitě 53 po deseti cyklech namáčení v potu

## 4.9 Odolnost proti pracím cyklům

Pro testy odolnosti vůči pracím cyklům byla vybrána jedna celá sada vzorků. V této sadě byly tedy obsaženy všechny druhy nití, látek i vzorů. Testování probíhalo podle specifikací uvedených v kapitole 3.5, nicméně z časových důvodů a velkého množství přerušovaných motivů byl počet měření a počet testovacích cyklů pozměněn. Všechny vzorky tedy absolvovaly 15 pracích cyklů. U nitě 7A docházelo vždy k proměřování odporů všech vyšitých motivů po každém cyklu praní až do desátého cyklu. Poté bylo provedeno najednou 5 praní a odpory změřeny po celkovém počtu 15 pracích cyklů. U zbylých dvou nití, tedy 53 a 25A, od druhého do osmého cyklu praní, se vzorky proměřovaly střídavě buď liché nebo sudé, kromě šestého cyklu kdy byly proměřeny všechny. Od desátého do patnáctého cyklu probíhalo praní bez měření, odpor byl proměřen až po celkovém počtu patnácti pracích cyklech.

Jelikož při tomto testu vznikalo velké množství dat, byl jsem nucen, kvůli lepší orientaci, tato data zpracovávat do tabulek viz níže. Nejprve jsem vytvořil tabulky hodnot odporů jednotlivých trajektorií. Abych však mohl porovnávat jednotlivé druhy nití mezi sebou bylo nutné tyto hodnoty přepočítat na hodnoty relativní (Tab. 5). V těchto tabulkách jsem červeně vyznačil přetržené trajektorie pro lepší názornost.

Tab. 5: Tabulka relativních hodnot odporů nitě 53 na bílé bavlně, testování pracími cykly

Prací cyklus	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
53 ob 1	1,00	1,01	0,98		1,00		1,01	1,07		1,19	1,09	2,81
53 ob 2	1,00	0,99		0,99		1,00	1,19		1,59	1,97	1,33	40,17
53 ob 3	1,00	1,02	0,99		1,02		1,10	1,48		3,71	1,23	2,85
53 ob 4	1,00	1,00		1,01		1,01	1,11		1,77	1,64	1,36	4,89
53 ob 5	1,00	0,99	0,98		0,97		1,01	1,04		1,39	1,12	2,28
53 ob 6	1,00	1,00		1,00		1,00	1,03		1,20	1,32	1,22	2,82
53 obHR 1	1,00	1,05	1,00		1,04		1,01	1,10		1,08	1,07	3,49
53 obHR 2	1,00	0,98		0,97		1,00	1,04		1,48	2,00	1,39	7,76
53 obHR 3	1,00	1,01	0,99		0,97		1,04	1,01		1,11	1,05	3,18E+37
53 obHR 4	1,00	1,01		0,97		1,01	1,03		1,16	1,19	1,06	3,61E+37
53 obHR 5	1,00	0,98	1,02		1,09		1,12	1,20		1,93	4,73	13,00
53 obHR 6	0,60	1,03		1,08		1,05	1,13		2,12	1,79	1,88	35,02
53 us 1	1,00	1,00	0,95		0,97		0,95	1,07		0,96	0,99	48,10
53 us 2	1,00	1,01		1,03		0,99	1,03		1,03	1,00	1,02	1,04
53 us 3	1,00	1,04	1,02		0,99		1,16	1,08		1,25	1,25	41,70
53 us 4	1,00	1,03		0,99		1,00	1,00		1,03	1,01	1,01	1,02
53 us 5	1,00	1,11	1,13		0,95		0,98	1,00		1,06	1,02	3,21
53 us 6	1,00	0,99		1,00		0,97	0,99		0,97	0,97	1,01	1,02
53 vln10 1	1,00	1,04	1,00		1,07		1,05	1,10		1,12	1,11	3,04
53 vln10 2	1,00	1,03		1,01		1,01	1,00		1,18	1,15	1,09	2,46
53 vln10 3	1,00	1,02	1,01		1,02		1,05	1,10		1,08	1,10	42,61
53 vln10 4	1,00	0,98		0,97		1,00	0,98		1,13	1,06	1,02	2,86
53 vln10 5	1,00	1,01	1,02		1,01		1,02	1,08		1,41	1,35	28,74
53 vln10 6	1,00	1,01		1,01		1,11	1,10		1,78	1,32	1,30	2,74
53 vln5 1	1,00	0,98	0,98		1,00		0,98	12,49		2,08	1,32	2,94E+37
53 vln5 2	1,00	1,15		1,14		1,15	1,17		1,25	1,31	1,41	3,46E+37
53 vln5 3	1,00	1,03	1,02		1,03		1,12	1,29		1,95	1,48	3,01E+37
53 vln5 4	1,00	1,00		1,01		1,03	1,08		1,30	1,30	1,16	39,01
53 vln5 5	1,00	1,04	1,03		1,03		1,21	8,20		1,91	13,10	3,07E+37
53 vln5 6	1,00	0,99		1,00		1,02	1,02		1,09	1,11	1,11	4,62

Kvůli dalšímu zpracování a vyhodnocení jsem do tabulek hodnot odporů vyznačil důležité hodnoty barevně (Tab. 6). Jednotlivá barevná označení znamenají: bílá – výšivka v pořádku, zelená – u výšivky dochází k přetrhávání mikrodrátků a zvyšování odporu, žlutá – všechny mikrodrátky přerušeny, ale dochází k náhodnému spojování a výšivka je tedy stále vodivá, červená – výšivka poškozena. Pro porovnání a názornost jsem dále vytvořil grafy relativních hodnot odporů, kde je každý bod tvořen průměrem šesti, respektive tří stejných motivů vyšitých jednou nití na jedné látce. Pokud je u tohoto bodu uveden zlomek například 4/6, znamená to, že v daném případě byly změřeny pouze 4 motivy a zbylé dva jsou již poškozené. Všechny naměřené hodnoty je možné si prohlédnout na přiloženém CD ve složce Praní.

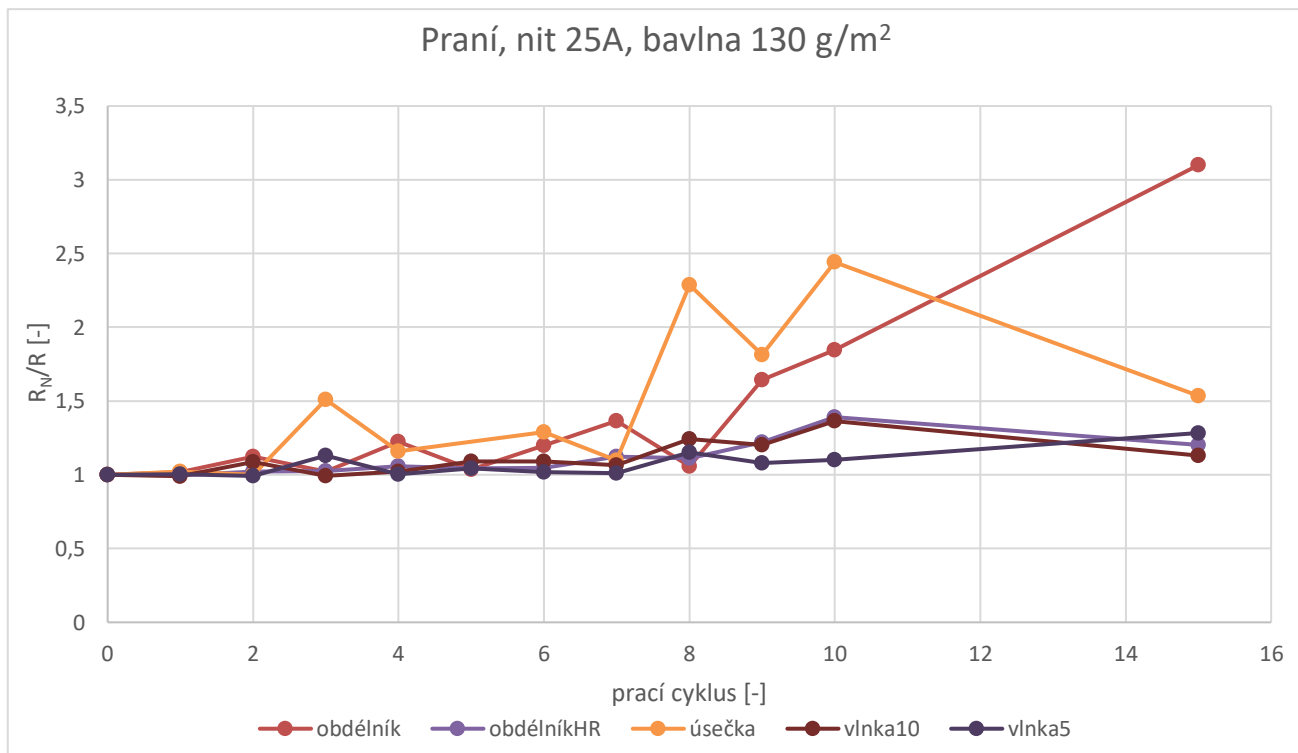
Tab. 6: Tabulka hodnot odporů nitě 53 na bílé bavlně, testování pracími cykly

Prací cyklus	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
53 ob 1	3,23	3,26	3,17		3,22		3,24	3,45		3,83	3,50	9,07
53 ob 2	2,95	2,93		2,90		2,95	3,50		4,69	5,82	3,92	118,44
53 ob 3	3,21	3,29	3,17		3,27		3,54	4,77		11,92	3,95	9,15
53 ob 4	2,94	2,95		2,96		2,95	3,28		5,19	4,82	4,00	14,38
53 ob 5	3,27	3,24	3,21		3,17		3,29	3,41		4,54	3,65	7,47
53 ob 6	2,99	2,98		2,98		3,00	3,09		3,60	3,96	3,66	8,44
53 obHR 1	3,07	3,21	3,06		3,18		3,10	3,38		3,31	3,29	10,72
53 obHR 2	2,74	2,69		2,65		2,73	2,85		4,04	5,47	3,80	21,23
53 obHR 3	3,11	3,15	3,08		3,01		3,25	3,13		3,45	3,28	9,90E+37
53 obHR 4	2,74	2,77		2,67		2,77	2,83		3,16	3,27	2,91	9,90E+37
53 obHR 5	3,05	3,00	3,10		3,32		3,42	3,67		5,88	14,43	39,70
53 obHR 6	1,63	2,78		2,92		2,84	3,04		5,74	4,83	5,07	94,61
53 us 1	2,71	2,70	2,57		2,63		2,57	2,89		2,59	2,69	130,25
53 us 2	3,48	3,51		3,58		3,44	3,58		3,57	3,48	3,56	3,62
53 us 3	2,59	2,70	2,66		2,57		3,02	2,80		3,25	3,25	108,21
53 us 4	3,46	3,55		3,42		3,46	3,48		3,56	3,50	3,50	3,53
53 us 5	2,71	3,00	3,07		2,58		2,67	2,71		2,87	2,77	8,71
53 us 6	3,66	3,63		3,66		3,54	3,64		3,56	3,57	3,68	3,74
53 vln10 1	2,93	3,04	2,93		3,14		3,09	3,22		3,29	3,27	8,92
53 vln10 2	2,86	2,95		2,88		2,89	2,87		3,39	3,30	3,11	7,05
53 vln10 3	2,84	2,89	2,87		2,91		3,00	3,14		3,06	3,12	121,12
53 vln10 4	2,93	2,88		2,84		2,93	2,89		3,31	3,11	2,98	8,38
53 vln10 5	3,01	3,04	3,07		3,04		3,06	3,24		4,22	4,07	86,36
53 vln10 6	2,88	2,90		2,92		3,20	3,17		5,12	3,80	3,74	7,90
53 vln5 1	3,37	3,30	3,29		3,37		3,31	42,07		7,01	4,45	9,90E+37
53 vln5 2	2,86	3,29		3,26		3,29	3,36		3,59	3,75	4,02	9,90E+37
53 vln5 3	3,29	3,39	3,35		3,38		3,67	4,25		6,41	4,88	9,90E+37
53 vln5 4	3,35	3,33		3,39		3,44	3,61		4,34	4,36	3,90	130,48
53 vln5 5	3,23	3,36	3,34		3,32		3,92	26,47		6,17	42,29	9,90E+37
53 vln5 6	3,35	3,30		3,34		3,41	3,43		3,64	3,73	3,73	15,49

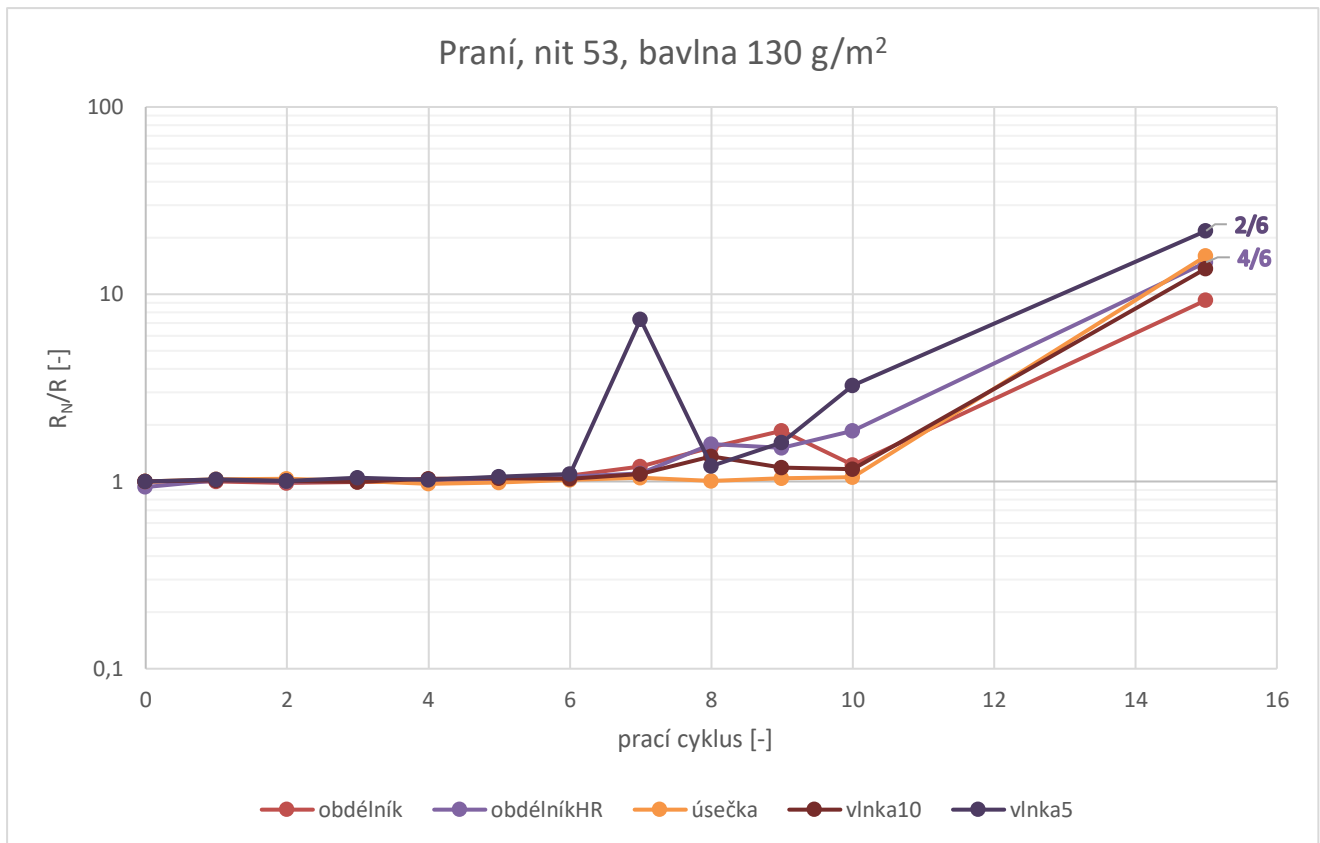


#### 4.9.1 Porovnání druhu použité hybridní nitě

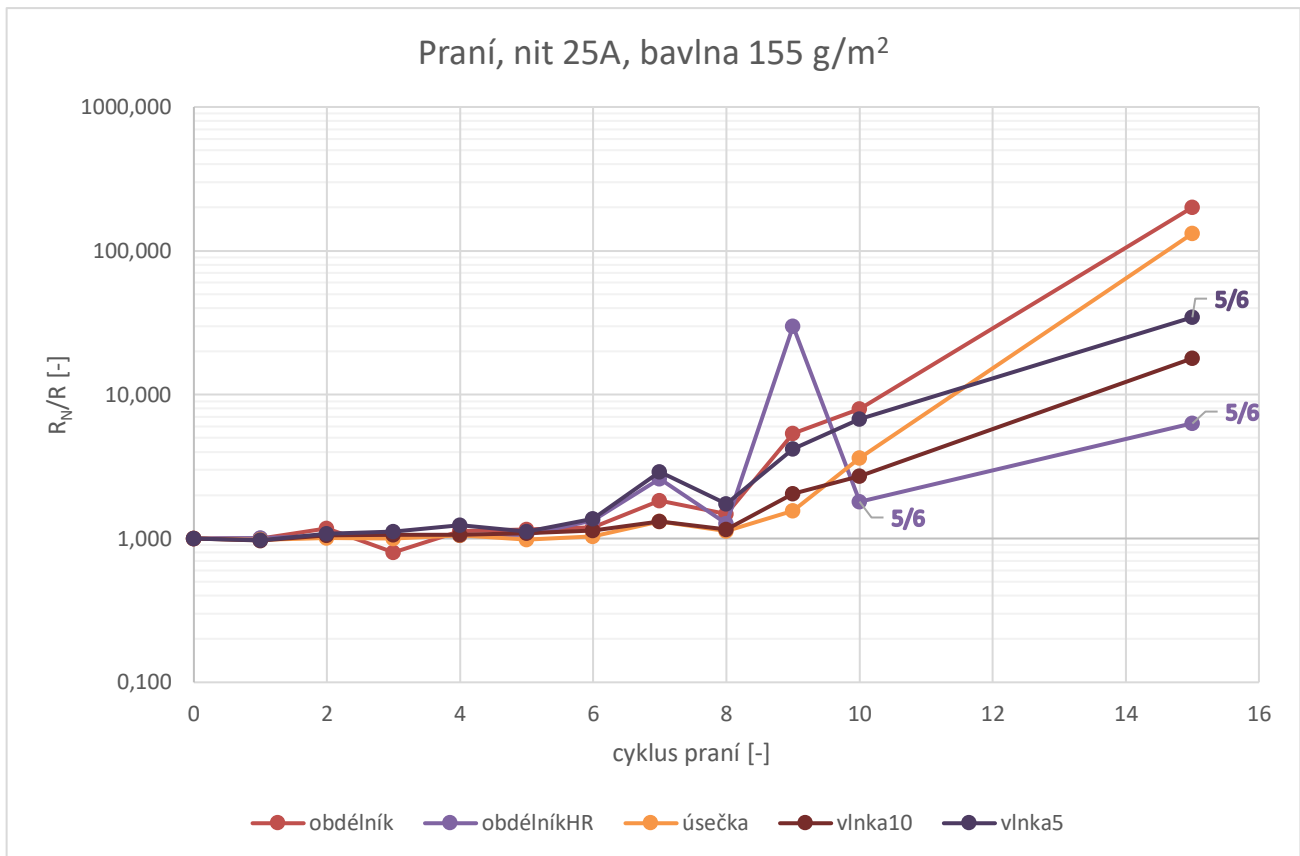
Podíváme-li se na charakteristiky všech tří nití na jednom substrátu, a to na bílé bavlně s gramáží 130 g/m<sup>2</sup>, můžeme si povšimnout, že nejmenší procentuální rozptyl má nit 7A. Tato nit vykazuje po patnácti pracích cyklech velmi podobné hodnoty odporů jaké měla na začátku testování, což je pochopitelné, jelikož má pouze jeden vodivý drátek. Pokud se tedy nepřetrhne, odpor se nemění. U nitě 25A je situace trochu jiná (Obr. 19), přibližně od sedmého pracího cyklu zde můžeme pozorovat mírné zvyšování odporů, maximálně trojnásobné (může indikovat cca 5 přetržených drátků ve struktuře niti), u vzorů obdélníku a úsečky. Nicméně nedá se říct, že by již byla některá výšivka poškozená úplně. Nit 53 se chová podobně jako nit 25A, od sedmého pracího cyklu se zde začíná odpor nití zvětšovat (Obr. 20). Odpor se však po patnácti pracích cyklech zvětšil cca 10x - 20x (všechny drátky přetrženy) a můžeme zde také vidět, že některé vzorky již vodivé nejsou vůbec.



Obr. 19: Graf pracích testů nitě 25A na bílé bavlně



Na substrátu modré barvy tedy bavlně s gramáží 155 g/m<sup>2</sup> se nit 7A chová podobně jako na předešlém substrátu. Její odpor se po patnácti pracích cyklech nijak nezměnil, ale oproti motivům na bavlně 130 g/m<sup>2</sup> se zde tři motivy zničily. Jeden je zničený určitě, nicméně u dalších dvou to není jisté, jelikož to mohlo být způsobené pouze špatným kontaktem. Nit 25A má dráhy přetržené a nevodivé dvě. Odpor ostatních vzorků se zde začal zvyšovat přibližně od šestého pracího cyklu, u některých motivů došlo až k stonásobnému zvětšení (všechny drátky přetrženy) viz Obr. 21. Od šestého pracího cyklu se také začal zvyšovat odpor nitě 53. V tomto případě se nejednalo o tak velké zvyšování jako u nitě 25A, v nejhorším případě se odpor zvýšil třicetkrát (všechny drátky přerušeny). Na druhou stranu zde došlo k přetržení velkého počtu motivů, přesněji 22 motivů tedy 73 %.



Obr. 21: Graf pracích testů nitě 25A na modré bavlně

Nit 7A na třetím substrátu z para-aramidových vláken s gramáží 180 g/m<sup>2</sup> vykazovala stejné chování jako na předešlých dvou materiálech a její odpor se nezvyšoval. Při patnáctém cyklu se objevil jeden přerušovaný motiv, nicméně není jisté, zda to je způsobené samotným přetržením vodivého vlákna nebo kontaktem. U nitě 25A od šestého praní dochází ke zvyšování odporu, které se po patnácti cyklech pohybuje v rozmezí od 20 do 200 násobků počátečního odporu. Došlo zde také k velkému počtu přetržení motivů, přesněji k deseti, což je cca 33 %. Nit 53 je na tom ještě hůře. Po patnácti cyklech byly téměř všechny vzorky poškozeny, pouze u šesti vzorků se podařilo odpor změřit.

Z těchto skutečností můžeme usoudit, že nit 7A si své vlastnosti respektive odpor drží po celou dobu testu a netrpí ani na případné přetrhávání. U nití 25A a 53 se tomu tak však neděje. Tyto dvě nitě vydrží šest až osm cyklů, než se začne jejich odpor zvyšovat. Tyto dvě nitě jsou také náchylnější na přetrhávání drátků. Nit 25A je na tom o něco lépe, u této nitě se poškodilo 12 výšivek což je přibližně 13 %. Kdežto u nitě 53 se v průběhu testu poškodilo 51 vzorků, cca tedy 57 % motivů.

#### 4.9.2 Porovnání látek

Pokud budeme zkoumat, jaký vliv má použitý substrát, tedy textilie, na výslednou mechanickou odolnost a jako první vezmeme v úvahu nit 25A, můžeme vypořádat následující. Na bílé bavlně se odpor vyšitého motivu začal zvyšovat přibližně u 7. až 8. pracovního cyklu. Ke zvýšení odporu došlo však zejména u vzoru úsečka a obdélník a to přibližně 1,5x až 3x. U žádného vzorku však nedošlo k úplnému přetržení a zničení motivu. U modré bavlněné látky došlo při sedmém praní k lehkému zvětšení hodnot, od devátého praní se hodnoty odporů začali zvyšovat velmi rychle, a to u všech motivů. Po patnáctém praní již některé vzorky vykazovaly hodnoty odporů až o dva řády vyšší. U této látky došlo také k přerušení dvou vodivých motivů. Od sedmého praní u látky z para-aramidových vláken začalo docházet k velkému nárůstu hodnot odporů. Odpory se po patnácti vyprání vyšplhali na přibližně stejné hodnoty jako u modré textilie, a to na násobky od 20 až do 240 svých původních hodnot. Došlo zde také k většímu počtu zničení motivů, přesněji k devíti.

Bílý substrát s nití 53 se chová tak, že po sedmém praní začínají vodivé cesty lehce degradovat a od desátého praní lze pozorovat zřetelný nárůst odporu. Po patnácti pracovních cyklech došlo k přetržení šesti motivů a hodnoty odporů se zvýšily 10x až 20x. U druhé bavlněné látky začínají vodivé nitě degradovat také u sedmého praní. Dále je vidět, že po několika dalších pracovních cyklech odpor mírně klesá, nicméně to je s největší pravděpodobností způsobeno náhodným spojováním vodivých drátků ve struktuře nitě. Od desátého praní dále odpor narůstá. Po patnáctém cyklu bylo zjištěno 22 přerušených motivů z celkových 30, hodnoty odporů tedy nejsou za celý obor tak vypovídající. V případě látky z para-aramidových vláken se odpor vyšitých nití zvětšoval přibližně od pátého praní. Na konci testu pak bylo zjištěno 24 zničených motivů z nichž jeden byl přerušen již od začátku testování.

U nitě 7A je situace poněkud odlišná. U všech typů substrátu nedocházelo téměř k žádné degradaci, docházelo zde pouze k malým odchylkám v měření, které mohly být způsobeny nahodilými chybami měření. V průběhu pracovních cyklů také docházelo k vypírání vodivého inkoustu, což způsobovalo nemožnost změřit odpor některých drah. Jakmile byl však inkoust nanesen znovu, vodivost byla obnovena. Po patnácti pracovních cyklech tedy zůstaly hodnoty všech drah nezměněné. U modré bavlny došlo k poškození jedné výšivky, u oranžové látky byla na konci patnáctého praní také jedna výšivka poškozena, nicméně ta již byla poškozena od začátku testů, u bílé bavlny se přetržení nevyskytlo žádné.

Z naměřených hodnot a grafů můžeme usoudit, že nejlépe si vedly vzorky vyšité na bílé bavlně. Těmto vzorkům se odpor zvyšoval nejméně a přetrhlo se zde pouze 6 výšivek, což činí cca 6,7 %. Jako druhá nejhorší se ukázala modrá bavlna, na které se hodnoty odporů vyšitých nití velmi zvyšovaly, došlo zde také k přetržení 30 % motivů, tedy 27 výšivek. Nejhorše pracím cyklům odolávaly vzorky na oranžové látce. Docházelo zde k ještě větší degradaci výšivek než na látce modré a přetržených motivů zde bylo 33, tedy 38 % výšivek.

## Závěr

Smart textilie jsou velmi perspektivním oborem. V dnešní době se na trhu začínají objevovat různé smart textilní výrobky, jako například Hexoskin nebo sportovní tričko Emglare, které jsou popsány v první kapitole této práce. Největším problémem při dlouhodobém používání těchto chytrých textilních výrobků je s jejich čištěním a údržbou. Některé výrobky mají proto část s elektronikou odepínací, jiné mají například přesně definováno, jak tyto výrobky čistit, na kolik stupňů prát, zda je možné je sušit v bubnové sušičce nebo na ně používat chemické přípravky. Částí, která však zůstává v textilií po celou dobu životnosti, jsou vodivé nitě vyšité přímo v textilií. Proto bylo v této práci navrženo několik testovacích postupů, které měly za úkol otestovat spolehlivost vodivých vyšívaných prvků. Tyto postupy byly poté prakticky ověřeny.

Prvním prováděným testem v této práci byly testy v klimatické šokové komoře. Z těchto testů bylo zjištěno, že namáhání vzorků pěti sty teplotními cykly na jejich vodivost má jen malý vliv. Ke zvýšení odporu docházelo pouze v jednotkách procent. Jako nejlépe odolávající nit se ukázala nit se čtyřmi postříbřenými měděnými mikrodrátky (53), druhá nit s jedním nerezovým mikrodrátkem (7A) a nejhůře odolávající nití byla nit s osmi mosaznými mikrodrátky (25A). Nicméně rozdíly mezi nimi nejsou velké a pro potvrzení těchto skutečností by bylo potřeba další zkoumání. Další testování by bylo potřeba také pro potvrzení, zda má na degradaci nití vliv také použitá látka. Ve dvou ze třech případů vykazovaly nitě vyšité na para-aramidové látce menší nárůst odporů než vzorky vyšité na bavlněných látkách. To by mohlo poukazovat na skutečnost, že tato látka přispívá ke snížení degradace nitě.

Další zkouškou byly testy ohybu, při těchto testech se hodnoty odporů většinou měnily pouze o jedno či dvě procenta. Tyto odchylky však také mohou být způsobeny přesností měření. Pro další testování bych doporučil využití jiného přístroje, například takového, kde je látka s vyšitými trajektoriemi ohýbána přes otočnou válcovou plochu. Tato změna by zajistila zatížení vzorku po celé jeho ploše, a ne pouze na několika místech jako v případě mnou zvoleného testu ohybu.

Jedním z nejvíce degradačně působících testů byl test odolnosti vůči oděru. Ukázalo se, že nit 7A je vůči tomuto namáhání nejméně odolná, jelikož po 1 000 oděracích cyklech byla v pořádku pouze čtvrtina vzorků, která se během následujících 2 000 cyklů poškodila také. Naopak jako nejodolnější se jeví nit 25A. Odpor této nitě se po 3 000 cyklech zvýšil maximálně 3,5x a žádný z motivů nebyl přerušen úplně. Po 5 000 cyklech se přerušily dvě trajektorie a odpor zbývajících se zvýšil maximálně 5x, což odpovídá přetržení

šesti mikrodrátků z osmi ve struktuře nití. Díky tomuto experimentu je možné říct, že počet drátků seskaných uvnitř nitě má vliv na odolnost vůči oděru. Mohlo by to tedy znamenat, že čím více drátků ve struktuře nití tím větší odolnost. Pro další experimenty bych doporučil vyzkoušet různé druhy obšití a přešití vodivé nitě jinou nití kvůli její ochraně a potencionálnímu prodloužení životnosti.

Předposledním testem bylo testování odolnosti vůči účinkům umělého potu. Jako při prvních dvou testech, ani zde se odpor motivů nijak zvlášť nezvyšoval, jednalo se maximálně o jednotky procent. Všechny vzorky byly tedy po 10 namáčecích cyklech z hlediska vodivosti v pořádku. Nicméně při prohlédnutí vzorků pod mikroskopem byla zjištěna koroze některých vzorků. Koroze nejvíce postihovala nit 25A, u které se koroze zdála být po celé délce nitě. U nitě 53 se tato koroze také objevovala, ale pouze místy. Koroze v tomto rozsahu však neměla žádný vliv na výsledný odpor nitě.

Poslední test, tedy testování opotřebení vzorků pracími cykly je další test, který na vzorky působí silně degradačně. Nitě typu 53 a 25A si svoji vodivost zachovávaly přibližně do šestého pracího cyklu, od šestého až osmého cyklu jejich odpory začínají stoupat. Z těchto dvou nití je nit 53 tou, u které došlo k větší degradaci. Po patnácti pracích cyklech zde došlo k poškození více jak poloviny testovaných motivů, kdežto u nitě 25A se poškodila pouze cca desetina vzorků. Nit 7A je na tom podstatně lépe, její odpor se v průběhu testu neměnil a k přetrhávání došlo minimálně. Problémem u této nitě je však její kontaktování, jelikož vodivý inkoust se z látky po cca pěti cyklech vypírá. V porovnání s IPC jsem tedy zvolil vhodnější typ nití, jelikož jimi vybrané nitě z postříbřených polyamidových vláken, zvětšily svůj odpor po dvou pracích cyklech téměř dvakrát. Samotné látky na zvyšování odporu také mají vliv. Vzorků přetržených na bílé bavlně bylo cca 7 %, na modré 30 % a na oranžové para-aramidové látce 38 %, tato skutečnost by mohla poukazovat na souvislost gramáže látky s poškozením motivů. Pro další testy bych doporučil zlepšení kontaktů nitě 7A například zakápnutím některým z elektricky vodivých lepidel, které by mohlo kontakt ochránit a prodloužit jeho životnost. Další doporučení spočívá v praní každého vzorku ve vlastním pracím vaku, kvůli snížení odírání vzorků mezi sebou.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] TAO, Xiaoming. *Smart fibres, fabrics and clothing*. Cambridge, England: Woodhead Pub., 2001. ISBN 08-493-1172-1.
- [2] HASIČE OCHRÁNÍ CHYTRÝ OBLEK Z PLZNE. MĚŘÍ TEPLOTU A URČUJE PŘESNOU POLOHU. *Applycon* [online]. Dobřany, 2018 [cit. 2018-10-30]. Dostupné z: <https://www.applycon.cz/index.php/2018/01/hasice-ochrani-chytry-oblek-z-plzne-meri-teplotu-urcuje-presnou-polohu/>
- [3] MOUČKOVÁ, Kateřina. *Technologie a využití smart textilií pro monitorování životních funkcí*. Plzeň, 2017. Bakalářská práce. ZČU Fakulta elektrotechnická.
- [4] SARIF ULLAH PATWARY, Md Syduzzaman. *Smart Textiles and Nano-Technology: A General Overview*. 2015, **05**(01). DOI: 10.4172/2165-8064.1000181. ISSN 21658064. Dostupné také z: <http://omicsgroup.org/journals/smart-textiles-and-nanotechnology-a-general-overview-2165-8064.1000181.php?aid=40254>
- [5] Conductive Yarns And Their Use In Technical Textiles. *Technical Textile* [online]. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.technicaltextile.net/articles/conductive-yarns-and-their-use-in-technical-textiles-3739>
- [6] HOW IT WORKS - CONDUCTIVE THREAD. *Buckylab* [online]. 2013, 2013 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <http://buckylab.blogspot.com/2013/07/how-it-works-conductive-thread.html>
- [7] ŠOHAJ, Petr. *Spolehlivost tištěných a všívaných vodivých motivů v textilních substrátech*. Plzeň, 2014. Diplomová práce. ZČU Fakulta elektrotechnická.
- [8] Běžecká čepice na poslech hudby s Bluetooth černá Kalenji. *Decathlon* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: [https://www.decathlon.cz/cepice-s-bluetooth-id\\_8393529.html](https://www.decathlon.cz/cepice-s-bluetooth-id_8393529.html)
- [9] Product Description. *GPS SmartSole®* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <http://gpssmartsole.com/gpssmartsole/product-description/>
- [10] Overview. *Emglare* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://emglare.com/products/sport-tshirt>
- [11] Hexoskin smart garments specification. *Hexoskin health sensors & AI* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://www.hexoskin.com/>



- [12] Built for deeper sleep. *Eight sleep* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://eightsleep.com/eight-pod-sleep-cool/>
- [13] O nás. *Applycon* [online]. Dobřany [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://www.applycon.cz/index.php/o-nas/>
- [14] Nositelná elektronika a inteligentní textilie. *Applycon* [online]. Dobřany [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://www.applycon.cz/index.php/produkty/nositelna-elektronika/>
- [15] Konektorová technika a kabelová konfekce. *Applycon* [online]. Dobřany [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://www.applycon.cz/index.php/produkty/konektorova-technika-a-kabelova-konfekce/>
- [16] Contact. *Ohmatex* [online]. Dánsko [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://www.ohmatex.dk/contact/>
- [17] Products. *Ohmatex* [online]. Dánsko [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: [https://www.ohmatex.dk/products\\_textile-\\_cables\\_connectors/](https://www.ohmatex.dk/products_textile-_cables_connectors/)
- [18] BioMan+. *AiQ Smart Clothing* [online]. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <http://www.aiqsmartclothing.com/product-service/bioman-plus/#tab-id-1>
- [19] Product & Services. *AiQ Smart Clothing* [online]. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <http://www.aiqsmartclothing.com/product-service/>
- [20] ASTM WK58009 New Terminology of Smart Textiles. *ASTM International* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/WORKITEMS/WK58009.htm>
- [21] Proposed ASTM International Standard Will Provide Terminology for Smart-Textile Industry. *Furniture Today* [online]. 2017 [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://www.furnituretoday.com/business-news/proposed-astm-international-standard-will-provide-terminology-smart-textile-industry/>
- [22] Textiles and textile products - Smart textiles - Definitions, categorisation, applications and standardization needs. *DIN* [online]. 2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.din.de/en/getting-involved/standards-committees/textilnorm/projects/wdc-proj:din21:305672212>
- [23] *IPC-WP-024: Reliability and Washability of Smart Textile Structures - Readiness for the Market*. Bannockburn: IPC, 2018.
- [24] *ČSN EN ISO 139. Textilie - Normální ovzduší pro klimatizování a zkoušení*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

- [25] ČSN EN 16812. *Textilie a textilní výrobky - Elektricky vodivé textilie - Stanovení lineárního elektrického odporu vodivých drah*. Praha: Český normalizační institut, 2016.
- [26] ČSN EN 60068-2-14. *Zkoušení vlivů prostředí - Část 2-14: zkoušky - Zkouška N: Změna teploty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [27] ČSN 64 7029. *Zkoušení syntetických usní. Stanovení odolnosti proti opakovanému ohybu*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1980.
- [28] ČSN EN ISO 12947-1. *Textilie - Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale - Část 1: Přístroj Martindale*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [29] ČSN EN ISO 12947-2. *Textilie - Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale - Část 2: Zjišťování poškození vzorku*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [30] ČSN EN ISO 12947-3. *Textilie - Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale - Část 3: Zjišťování úbytku hmotnosti*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [31] ČSN EN ISO 12947-4. *Textilie - Zjišťování odolnosti plošných textilií v oděru metodou Martindale - Část 4: Hodnocení změny vzhledu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [32] Martindale. *SDL Atlas* [online]. Rock Hill [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://sdlatlas.com/products/martindale-abrasion-and-pilling-tester#product-details>
- [33] ČSN EN ISO 105-E04. *Textilie - Zkoušky stálobarevnosti - Část E04: Stálobarevnost v potu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [34] ČSN EN ISO 6330. *Textilie – Postupy domácího praní a sušení pro zkoušení textilií*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [35] SUCHÝ, Stanislav. *Optimalizace technologického procesu vyšívání elektronických prvků pro chytré textilie*. Plzeň, 2018. Diplomová práce. ZČU Fakulta elektrotechnická.
- [36] Kelvin (4-wire) Resistance Measurement. *All About Circuits* [online]. [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-8/kelvin-resistance-measurement/>

- [37] MARTIN, JP. *Measuring Resistance/Impedance with the Four-Wire Kelvin Method* [online]. 2014 [cit. 2019-03-19]. Dostupné z:  
<https://www.aemc.com/userfiles/files/resources/applications/micro-ohmmeter/APP-4WireKelvin.pdf>

## **Přílohy**

Jelikož v souvislosti s touto diplomovou prací bylo naměřeno velké množství dat, jsou tyto data přiložena v elektronické podobě na CD.