

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra technologií a měření

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Optimalizace technologického procesu vyšívání
elektronických prvků pro chytré textilie**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Stanislav SUCHÝ**
Osobní číslo: **E16N0026P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Optimalizace technologického procesu vyšívání elektronických prvků pro chytré textilie**
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
2. Popište technologický proces vyšívání elektronických prvků na textilní substráty
3. Zjistěte vliv parametrů textilních substrátů jako je materiálové složení tkaniny a typy vazeb tkanin na elektrické parametry, kvalitu a spolehlivost vyšívaných elektronických prvků
4. Zjistěte vliv materiálového složení vodivých nití a použitých typů stehů na elektrické parametry, kvalitu a spolehlivost vyšívaných elektronických prvků
5. Proveďte zhodnocení dosažených výsledků



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

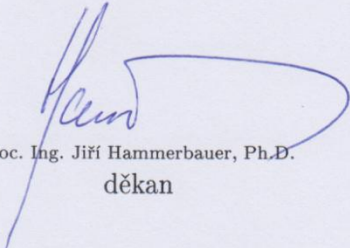
Seznam odborné literatury:

1. Mattila, H.R.: Intelligent textiles and clothing, 2006
2. Schneegass, S.: Smart textiles - Fundamentals, Design and Interaction, 2017
3. Hoffmann K.: Planární mikrovlnné obvody, 2007

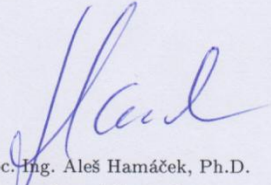
Vedoucí diplomové práce: Ing. Daniela Moravcová, Ph.D.
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: 10. října 2017

Termín odevzdání diplomové práce: 24. května 2018


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




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

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na možné optimalizace při procesu vyšívání. V této i dalších tradičních textilních technikách se při výrobě SMART textilií používají stále nové, elektricky vodivé materiály. První část práce je věnována seznámení se samotným procesem vyšívání a s používanými materiály v této oblasti. Stěžejní částí práce je návrh, realizace a charakterizace testovacích vyšitých vzorků. V praktické části pak byla pozornost věnována parametrům, které nejvíce ovlivňují výslednou vodivost trajektorií vyšitých motivů.

Klíčová slova

Vyšívání, SMART textilie, optimalizace technologie vyšívání, tkané textilie, strojní šicí jehla, vodivé nitě, vodivá vlákna, čtyřvodičová metoda měření odporů

Abstract

This diploma thesis deals with possibilities of the optimization of the embroidery process. In the traditional as well as in the technique mentioned in thesis, SMART fabrics are used to produce new, electrically conductive materials. The first part of the thesis is devoted to the process of embroidering itself and the materials used in this area. The main part of the thesis consists of the design, implementation and characterization of the tested embroidered samples. In the practical part, attention was paid to the parameters that has the biggest influence on the trajectories of embroidered motifs.

Keywords

Embroidery, SMART fabric, embroidery technology optimization, woven fabric, machine sewing needle, conductive threads, conductive fibers, four-wire resistance measurement method

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 23.5.2018

Bc. Stanislav Suchý

Poděkování

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

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD	11
1 TEORETICKÁ ČÁST:	12
1.1 SMART TEXTILIE.....	12
1.1.1 Pasivní inteligentní textilie.....	12
1.1.2 Aktivní inteligentní textilie	12
1.1.3 Vysoce inteligentní textilie	13
1.1.4 Příklady využití SMART textilií.....	13
1.2 STROJNÍ ŠICÍ JEHLA	14
1.2.1 Konstrukce strojních šicích jehel	14
1.2.2 Povrchové úpravy jehel.....	16
1.3 TKANÉ TEXTILIE	17
1.3.1 Dělení textilních vláken podle zdroje použitého materiálu	17
1.3.2 Materiály používané pro vyšívání	18
1.4 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ TKANÝCH TEXTILIÍ PODLE TYPU VAZBY	20
Plátnová vazba	20
1.4.1	20
Keprová vazba	21
1.4.2	21
Atlasová vazba.....	21
1.4.3.....	21
1.5 TECHNOLOGICKÝ PROCES VYŠÍVÁNÍ.....	21
1.6 VYŠÍVACÍ STROJE	23
1.6.1 Průmyslové vyšívací stroje.....	23
1.6.2 Domácí vyšívací stroje	24
1.7 VODIVÉ NITĚ.....	26
1.7.1 Rozdělení vodivých nití z hlediska výrobního postupu	26
1.7.2 Přidávání vodivých (kovových) vláken do struktury vodivé nitě	26
1.7.3 Použití vodivých polymerů	27
1.7.4 Nitě s vodivým povlakem.....	28
1.8 METODY MĚŘENÍ ELEKTRICKÉHO ODPORU	28
1.8.1 Měření malých a velmi malých odporů pomocí čtyřvodičové metody.....	28
2 NÁVRH A REALIZACE VLASTNÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI	30
2.1 NÁVRHY KONKRÉTNÍCH VÝŠIVEK.....	30
2.2 POUŽITÉ VODIVÉ NITĚ.....	33
2.3 POUŽITÉ TEXTILNÍ SUBSTRÁTY	34
2.4 POUŽITÉ STROJNÍ ŠICÍ JEHLY	35
3 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NITÍ 25A A 53	36
3.1 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NITÍ 25A A 53 Z HLEDISKA POUŽITÉ JEHLY	39
3.2 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NITÍ 25A A 53 Z HLEDISKA POUŽITÉHO TEXTILNÍHO SUBSTRÁTU.....	42
3.3 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NITÍ 25A A 53 Z HLEDISKA SMĚRU VYŠÍVÁNÍ.....	44
3.4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NITÍ 25A A 53 Z HLEDISKA POUŽITÉ NITI	48
3.5 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NITÍ 25A A 53 Z HLEDISKA ROZPTYLU HODNOT	51
3.6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NITÍ 25A A 53 Z HLEDISKA POUŽITÉHO STEHU	55
3.7 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ NITI 7A.....	57
3.8 TEST SPOLEHLIVOSTI NITÍ 25A A 53	61
4 ZÁVĚR	63

SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	65
PŘÍLOHY	1

Seznam symbolů a zkratek

<i>VS</i>	viskózová vlákna
<i>AC</i>	acetátová vlákna
<i>PAD</i>	polyamidová vlákna
<i>PES</i>	polyesterová vlákna
<i>PAN</i>	polyakrylnitrilová vlákna
<i>PVA</i>	polyvinylalkoholová vlákna
<i>PUR</i>	polyuretanová vlákna
<i>POP</i>	polypropylenová vlákna
<i>R</i>	Elektrický odpor [Ω]
<i>Obd</i>	motiv tvaru obdélník
<i>Obd_hr</i>	motiv tvaru obdélník se zkosenými hranami
<i>Ús</i>	motiv tvaru úsečka
<i>Vln5</i>	motiv tvaru vlnka (poloměr 22,3 mm)
<i>Vln10</i>	motiv tvaru vlnka (poloměr 11,15 mm)

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na optimalizaci technologie vyšívání v odvětví SMART textilií.

První teoretická část této práce je věnována úvodu do problematiky SMART textilií. Jsou zde uvedeny příklady využití v oblastech, kde dochází v současné době k největším vývojovým progresům tohoto odvětví. Dále je pak věnována pozornost materiálům používaným v odvětví SMART textilií využívající techniku vyšívání. Jedná se hlavně o textilní substráty, šicí jehly a vodivé nitě. U všech těchto produktů existuje velké množství parametrů a vlastností, díky kterým je možné vhodně zvolit kombinaci, která vyhovuje předem daným kritériím. Součástí teoretické části práce je i kapitola zaměřující se na vyšívací stroje a práci s nimi. Tato teoretická část diplomové práce umožňuje nahlédnout na současný stav této rychle se rozvíjející technologie.

Stěžejní částí diplomové práce je její praktická část, jejíž součástí je návrh, realizace a charakterizace testovacích vyšívaných vzorků. Elektrické parametry vyšitých vzorků navržených motivů byly proměřeny u všech zvolených kombinací použitých materiálů kombinovaných také s různou délkou použitých stehů. Plán vyhodnocování výsledků u realizovaných výšivek byl sestaven tak, aby bylo možné na problematiku nahlížet z různých úhlů pohledu. V závěru práce jsou shrnuty a diskutovány dosažené výsledky a navrženy další práce pro pokračování v této problematice.

1 Teoretická část:

1.1 SMART textilie

Pod termínem SMART textilie si lze představit širokou škálu produktů, které obohacují běžné tkaniny o rozšířené možnosti. Mohou například vzniknout propojením textilních materiálů s elektronikou. V dnešní době se z velké části jedná o specifické oděvy, které jsou schopny reagovat na prostředí, popř. "komunikovat" s uživatelem, který oděv používá. Vývoj SMART textilií je podporován zejména kvůli bezpečnosti uživatele například při výkonu rizikového povolání (např. hasiči, policie), ale také pro lepší záznam údajů, které se týkají statistik např. při sportovních aktivitách a neméně důležitou úlohu hrají SMART textilie i ve zdravotnictví. U textilií zajišťujících bezpečnost uživatele se ze zmíněných rozšířených možností nejvíce využívají senzory integrované do oděvu, které sledují uživateli životní funkce, případně zajišťují, aby byl uživatel upozorněn na nebezpečí nacházející se v jeho bezprostředním okolí. Do budoucna lze předpokládat, že SMART textilie budou využívány pro zvýšení životní úrovně a blahobytu pro velkou oblast zákazníků. SMART textilie dělíme do 3 skupin, podle možností, které nám nabízejí.[1]

1.1.1 Pasivní inteligentní textilie

Pasivní inteligentní materiály jsou materiály nebo systémy, které pouze zaznamenávají okolní podmínky nebo podněty. Fungují pouze jako senzory, které zobrazují to, co se na nich stalo. Jako změnu barvy, tvaru, tepelného případně elektrického odporu. Příkladem mohou být košile s vestavěnými termistory pro zaznamenávání teploty těla v průběhu času.

1.1.2 Aktivní inteligentní textilie

Na rozdíl od pasivních SMART textilií se u této skupiny využívá mimo senzorů také aktivních členů, které reagují na prostředí a dokáží systematicky řídit jednotlivé funkce oděvu.

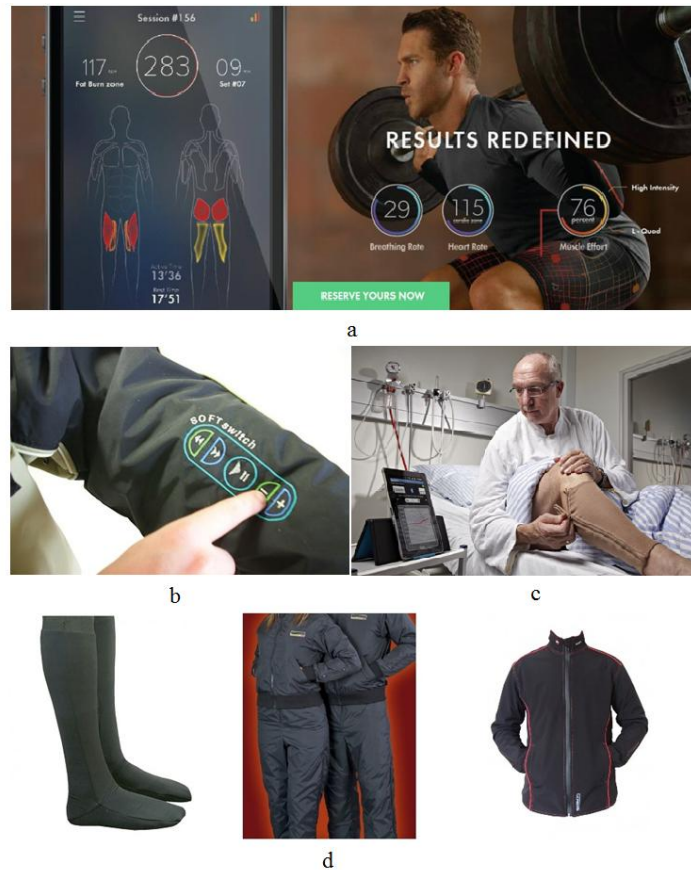
Aktivní inteligentní materiály: mohou reagovat na vnější podmínky nebo podněty. Pokud jsou pohony integrovány do pasivní inteligentní textilie, stávají se aktivní inteligentní textilií, protože mohou reagovat na určitý podnět, např. košile s povětrnostním vlivem může automaticky sundat rukávy při zvýšené teplotě těla.

1.1.3 Vysoce inteligentní textilie

Velmi chytré materiály jsou materiály a systémy, které mohou provádět tři funkce. Nejprve jsou to senzory, které mohou zaznamenávat podněty z prostředí, druhou funkcí je schopnost dát reakci na základě podnětů a za třetí se mohou přizpůsobit a přetvořit podle podmínek.

1.1.4 Příklady využití SMART textilií

Do odvětví SMART textilií se mimo jiných zapsala i společnost *Athos*. Pod jménem *Athos* se skrývá oblečení splňující potřeby sportovců, kteří se zabývají zejména posilováním s těžkými váhami. Jedná se o sportovní úbor, který má v sobě implementovány tkané mikro-EMG senzory. Tyto senzory mají za úkol hlídat svalovou činnost a upozornit na jejich možné přetížení. Díky tomu je možné lépe odhadnout své hranice a zefektivnit tím celý trénink. V oděvu se zároveň ukrývají i senzory tepové frekvence. Všechna data posbírána během cvičení jsou průběžně odesílána pomocí bluetooth do mobilního telefonu, kde je možné sledovat stav svalů, frekvenci dýchání a srdeční frekvenci ve stejnojmenné aplikaci (viz obr. 1.1a).[2] Na obrázku 1.1 b je zmíněn výrobek společnosti *BurtonSnowboards* v USA. Jedná se o první komerční produkt, který začal používat novou technologii v roce 2002. V omezené podobě umožňuje bunda Analog Clone MD snowboardovým jezdcům ovládat vestavěný mini-disk Sony Walkman pomocí dotykových tlačítek na rukávu. Bunda může být vyprána po odpojení mini-disku a sluchátek.[3] Z odvětví zdravotnictví lze zmínit produkt společnosti *Edema*. Toto nositelné zařízení (obr. 1.1c) obsahuje zabudované tenzometry, které měří změny objemu nohou pomocí změny elektrického odporu. Naměřené hodnoty lze přehledně sledovat v mobilní aplikaci, která je k dispozici při zakoupení tohoto produktu. Edemastocking byly vyvinuty ve spolupráci s kardiologem prof. J. Michael Hasenkam z Aarhus University Hospital jako způsob poskytování podrobných informací o akumulaci a vylučování tekutin u pacientů trpících městnavým srdečním selháním a preeklampsií. Předběžné pokusy byly tak úspěšné, že produkt je nyní k dispozici pro další hodnocení výzkumnými pracovníky a technologickými společnostmi.[4] Posledním zde zmíněným příkladem je vyhřívané oblečení od společnosti *Gerbing*. Toto oblečení zajišťuje rovnoměrné vyhřívání těla pomocí topných panelů. Panely jsou zkonstruovány za pomoci odporového drátu, který je všitý do oděvu. V současné době se na trhu objevují produkty jako kalhoty, rukavice, bundy. Jednotlivé části oblečení je možné vzájemně kombinovat a propojovat. Celý systém je napájen pomocí 7V nebo 12V akumulátoru (obr. 1.1 d).[5]



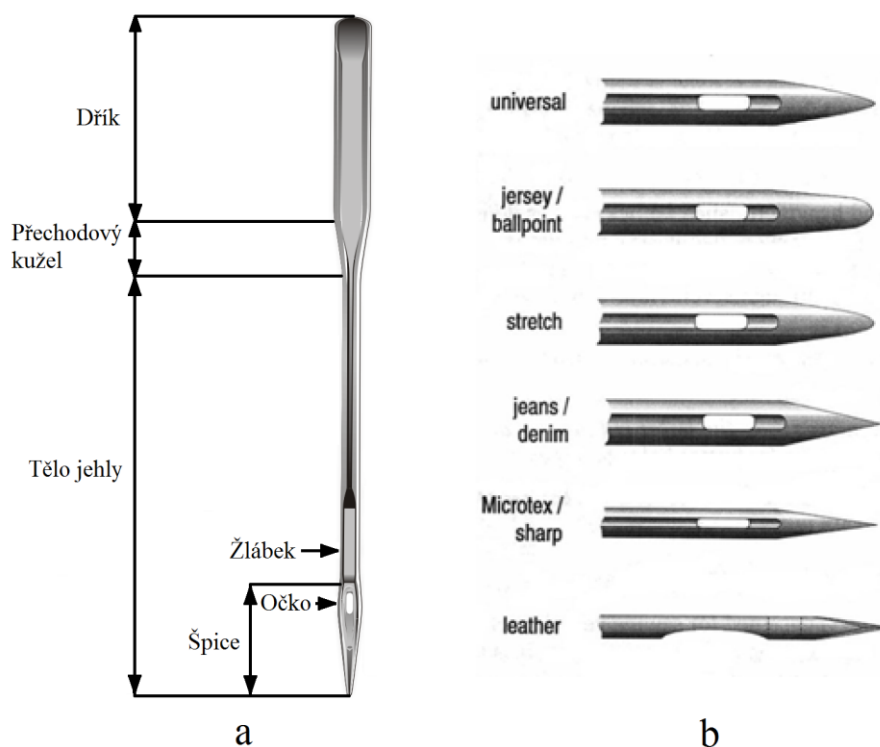
Obr. 1.1 Příklady produktů z odvětví SMART textilií (překresleno z [6],[3],[4],[7])

1.2 Strojní šicí jehla

Pod označením strojní šicí jehla si nelze představit jen jeden druh tohoto produktu. Z pohledu využití existují dvě hlavní skupiny. První skupinou jsou jehly určené pro průmyslové šití. Na tyto jehly jsou kladeny velké nároky hlavně v souvislosti s vysokou rychlostí během procesu šití i vyšívání. Druhou skupinou jsou jehly určené pro domácí vyšívání. Domácí šicí a vyšívací stroje pracují oproti průmyslovým výrazně pomalejší rychlostí, a proto nemusí být věnována tak velká pozornost problematice, které se týkají ohřevu a povrchových úprav zajišťující ochranu strojních jehel proti korozi.

1.2.1 Konstrukce strojních šicích jehel

Strojní šicí jehla se skládá z několika částí, podle kterých lze vybírat vhodný druh pro konkrétní případ vyšívání. Tyto části jehly jsou vyobrazeny na obr. 1.2 a.



Obr. 1.2 Popis strojní šicí jehly a běžné druhy zakončení (překresleno z[10],[11])

Dřík je nejsilnější část, za kterou se jehla upíná do šicího stroje. U průmyslových šicích strojů má dřík šicích jehel zpravidla válcovitý tvar. U šicích strojů určených pro domácí šití má jednostranně nebo oboustranně seříznutou plošku. Toto opatření zabrání chybnému vložení jehly do stroje. Další část strojní šicí jehly je označována jako *tělo*. Tělo jehly je zeslabené a lze na něm nalézt zbylé části jehly - očko, dlouhou drážku a chapačové vybrání nad očkem. Chapačové vybrání je jednostranné zahlobení (obvykle rádiusové), které umožňuje chapači / smyčkovači uchopit smyčku. *Přechodový kužel* tvoří přechod dříku a těla jehly. Tělo jehly může být odstupňováno pro lepší odvod tepla, udává stabilitu a zabraňuje vibracím. Tenké jehly mají delší přechodový kužel. Termínem *špice* jehly je označováno zúžené zakončení těla jehly. Pro různé druhy použitých šitých materiálů existují rozdílné verze špicí a rozdílné verze *hrotu* (viz obr. 1.2 b). Špice je definována svou délkou a svým tvarem. Délka se volí vzhledem ke spojovanému materiálu. Dlouhé špice jehel jsou vhodné např. pro sešití pletenin. Podle druhu šitého materiálu může být různě tvarována. Pro běžné šicí operace je nejčastěji zvolena kuželová špice. Tupá špice je zase vhodná pro přišívání knoflíku. U velmi řídkých tkanin a pletených materiálů se zpravidla používá špice kulová. Hroty jehel se mohou rozdělit do tří základních skupin: ostrý, kuličkový a univerzální.[8]

Jehla s *ostrým hrotem* je určena pro všechny druhy tkanin, zejména se hodí pro tzv. přímé stehování. Jehla s *kuličkovým hrotem* slouží pro pleteniny. Hrot hladce projde mezi smyčkami pleteniny, aniž by narušil vláknu, ze které je látka vytvořena. Kuličkový hrot nevytváří tak přímé stehy jako ostrý hrot. Jehly s *univerzálními hroty* (univerzální jehly), mohou být využity jak pro pletené, tak i tkané látky. Tyto jehly v sobě spojují výhody obou předchozích druhů hrotů. Jestliže nám nevyhovuje kvalita stehů, které šicí stroj vytváří, můžeme zkusit použít jehlu s jiným druhem hrotu. Na obrázku (obr. 1.2a) je znázorněna jehla včetně popisu jejích částí. Pravá část obrázku (obr. 1.2b) je věnována zakončením běžně používaných strojních šicích jehel. [9]

1.2.2 Povrchové úpravy jehel

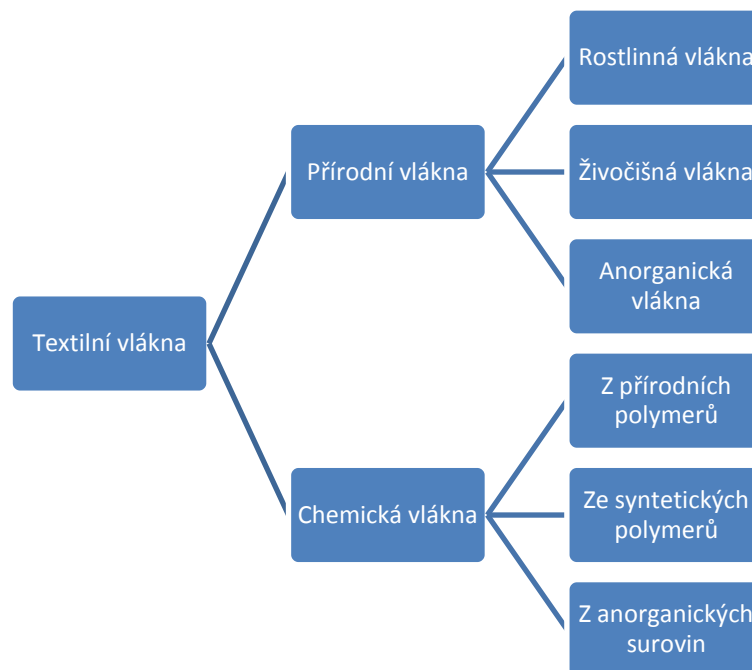
V současnosti se provádí řada povrchových úprav strojních šicích jehel. Správná volba povrchové úpravy strojní šicí jehly snižuje tření mezi strojní šicí jehlou a šitým materiálem a chrání strojní šicí jehlu proti korozi a šitý materiál proti nežádoucímu porušení. Nejčastějšími metodami povrchových úprav strojní šicí jehly je leštění, chromování, niklování, nanášení povlaku nitridu titanu (TiN), teflonu a nově se objevují i strojní šicí jehly s keramickými povlaky hrotu. Nejjednodušší povrchovou úpravou jehel je *leštění*. Tato metoda však neposkytuje ochranu jehly proti korozi. Koroze je nejčastěji způsobena chlazením jehly vodní mlhovinou. Mezi nepoužívanější povrchové úpravy strojních šicích jehel patří *chromování*. Tato metoda se často používá u průmyslových šicích jehel. Chromový povlak chrání strojní šicí jehlu nejen proti korozi, ale poskytuje jí také vysokou odolnost proti opotřebení během procesu spojování materiálů. Chromovaná strojní šicí jehla má mimořádně hladký a lesklý povrch, čímž je omezeno zachycování částeček apretury a natavenin šitého materiálu v očku a je tedy vhodná pro šití syntetickými nitěmi při šití vysokou rychlostí. Další metodou povrchových úprav strojních šicích jehel je *niklování*. Tyto jehly nepodléhají snadno korozi, velmi pomalu se zahřívají a vykazují dostatečnou odolnost proti teplotám pod 250 °C. Při teplotách nad 250 °C, které vznikají např. v důsledku multidirekčního šití nebo vlivem povrchové úpravy šitého materiálu, nastává rozklad povrchové vrstvy jehly. Vlivem této teploty současně dochází k natavení vpichových otvorů v šitém materiálu. Potažením šicích jehel *nitridem titanu* (TiN) lze získat jehly s extrémní tvrdostí a vysokou pružností špičky odolávající opotřebení a prasknutí. Při vysokorychlostním šití odolávají kmitání a vibracím, které vznikají při vpichu do šitého materiálu a při podávání šitého materiálu. Tyto jehly se díky vynikajícím vlastnostem povrchu TiN využívají

na spojování technických textilií používaných např. v automobilovém průmyslu. Strojní šicí jehly s *teflonovým povlakem* se používají především při šití syntetických materiálů. Teflon je obchodní název pro polytetrafluorethylen. Jde o termoplastickou pevnou, chemicky a tepelně značně odolnou hmotu. Vlivem tepelných vlastností (nízká tepelná vodivost) tohoto povlaku je teplo z jehly odváděno převážně na šitý materiál a šicí nit. Proto dochází k natavení materiálu ze syntetických vláken po ušití 100 až 150 mm textilie. Měření teplot strojních šicích jehel s teflonovým povlakem ukázala, že se tyto jehly na povrchu zahřívají více než jehly chromované. Jedinou výhodou jehel s teflonovým povrchem je, že nedochází k usazování zbytků natavenin šicího a šitého materiálu na jejich povrchu. Tyto jehly nelze použít při spojování technických textilií používaných v automobilovém průmyslu.[12]

1.3 Tkané textilie

Na dělení tkaných textilií lze nahlížet ze dvou základních úhlů pohledu. Důležité vlastnosti textilií jsou v tomto směru dány materiálem, ze kterého jsou vyrobeny a typem vazby. Oba tyto faktory mají vliv na pevnost a materiál nám zároveň udává i teplotní náchylnost textilie. Teplotní náchylnost textilie je nutné řešit z důvodu vysokých teplot při strojním vyšívání. V tomto případě je vyšíváno velmi vysokými rychlostmi a díky vysokému tření, které vzniká při průchodu jehly materiálem a třením nití o očko jehly dochází k jejímu ohřevu.

1.3.1 Dělení textilních vláken podle zdroje použitého materiálu



Obr 1.3 Rozdělení vyráběných textilních vláken

1.3.1.1 Přírodní vlákna

Rostlinná vlákna (na bázi celulózy)

Ze semen:	bavlna, kapok
Ze stonků:	len, konopí, juta
Z plodů a listů:	kokosová, banánová

Živočišná vlákna (na bázi bílkovin)

Ze srsti:	ovčí vlna, velbloudí srst, kozí srst, králičí srst, koňské žíně
Ze sekretu hmyzu:	přírodní hedvábí

Anorganická vlákna

Z nerostů:	azbest
------------	--------

1.3.1.2 Chemická vlákna

Z přírodních polymerů (modifikovaná celulóza)

viskózová vlákna (VS), acetátová vlákna (AC)

Ze syntetických polymerů

polyamidová vlákna (PAD), polyesterová vlákna (PES), polyakrylnitrilová vlákna (PAN), polyvinylalkoholová vlákna (PVA), polyuretanová vlákna (PUR), polypropylenová vlákna (POP)

Z anorganických surovin (nepolymerní)

Vlákna z kovů:	jednokomponentní, vícekomponentní
Vlákna z nekovů:	skleněná, minerální, keramická

1.3.2 Materiály používané pro vyšívání

Materiálů používaných pro výrobu textilií je velké množství. Níže zmíněné příklady byly vybrány z důvodu jejich vlastností, které jsou vyhovující k vyšívání.

Bavlna

Bavlna je ideální tkanina na vyšívání, protože má velmi volnou vazbu, což znamená, že je velmi snadné, aby se jehla dostala dovnitř a ven z tkaniny. Na trhu se vyskytují látky s označením "quilting bavlna", které jsou určeny speciálně pro šití a vyšívání. Jsou měkké, ale zároveň dostatečně silné, aby dobře udržely stehy. Bavlna je v tomto odvětví výhodným

materiálem i pro svou vysokou teplotní odolnost. Tyto vlastnosti bavlny zajišťují dobré předpoklady jak pro ruční, tak i pro strojní vyšívání.

Len

Len má oproti bavlně výhodu hlavně díky svojí pevnější konstrukci a delší životnosti. Také teplotní odolnost lnu je vyšší než u bavlny (snese i teploty přes 200 °C). Od těchto vlastností se odvíjí samozřejmě i cena, která je zpravidla vyšší než u bavlny.

Směsi

Velkou část oblíbených tkanin využívaných na vyšívání tvoří ve skutečnosti směs dvou nebo více různých materiálů. Tyto směsi jsou schopny kombinovat vlastnosti dvou látek a vytvořit tak finálně lepší vlastnosti, než jsou vlastnosti samotných použitých materiálů. Například existuje mnoho možností kombinace lnu a bavlny, stejně jako hedvábí a vlny. Nejhorší volbou jsou směsi syntetické, protože jejich vlastnosti nejsou příliš vhodné pro kvalitní udržení stehů vyšívky.[13]

- **Polyester**

Polyesterová vlákna se řadí mezi nejčastěji používaná syntetická vlákna vůbec. Základní surovinou při výrobě je ropa. Mezi hlavní přednosti polyesterových vláken patří zejména jejich malá navlhavost a vysoká odolnost vůči světlu. Díky svému chemickému složení je také polyester vhodný k různým modifikacím. Modifikace mohou být buďto chemického nebo mechanického charakteru. Např. zpevnění materiálu lze docílit zvýšenou orientací molekul. Touto metodou lze zvýšit pevnost až na pětinasobek původní hodnoty. Mísením přírodních vláken s polyesterem se dosáhne v mnohém směru zlepšení užitečných vlastností příze. Nejjemnější polyesterové vlákno se vyrábí o tloušťce 1/4 průměrné tloušťky bavlněného vlákna. Výhoda tkanin ze směsí s polyesterem je, že jsou lehčí, méně mačkové, pevnější a trvanlivější. Podobně je tomu u směsí polyesteru a vlny.[14]

- **Aramid**

Pod názvem aramidy se ukrývá zkratka sousloví aromatické polyamidy. Aramid byl vyvinut zejména kvůli snaze o vytvoření vlákna odolného proti vysokým teplotám. Skupina materiálů označována jako *meta-aramidy* (*m-aramidy*) má např. bod tání přes 400° C a látky jsou odolné také proti chemikáliím, disponují vysokou pružností a největší výhodou pro použití v textilním průmyslu je možnost snadného zpracování. Je možno zmínit známou značku Nomex. Další skupinou aramidových vláken jsou tzv. *para-aramidy*. *Para-aramidy*

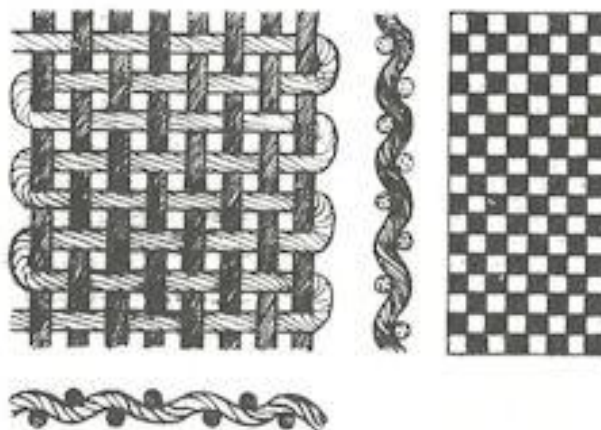
jsou vyráběny od 70. let minulého století a pro uživatele jsou známější pod obchodním názvem Kevlar nebo Twaron. Tato vlákna dosahují mimo vysoké odolnosti vůči tepelnému namáhání i mimořádně vysokou pevnost v tahu. Tato odolnost je srovnatelná jen s uhlíkovými vlákny. Mimo všech výše zmíněných výhod má však materiál i své nevýhody, mezi které se řadí např. malá odolnost proti účinkům světla a snadné nabíjení statickou elektřinou. Vlákna lze vyrábět dvěma různými postupy. Prvním způsobem je mokré spřádání (s podstatně lepšími vlastnostmi vlákna). Druhým způsobem je spřádání za sucha.[15]

1.4 Základní rozdělení tkaných textilií podle typu vazby

Kromě materiálu se tkané textilie rozlišují také podle použitého typu vazby. Tato vazba určuje vzhled (vytváří vzory), pevnost materiálu a ovlivňuje také zpracovatelské vlastnosti tkaniny. Vazbu textilie tvoří soustavy osnovních a útkových nití. V tkalcovském stavu jsou osnovní nitě svislé nebo podélné. Útkové nitě jsou orientovány vertikálně nebo příčně.

1.4.1 Plátnová vazba

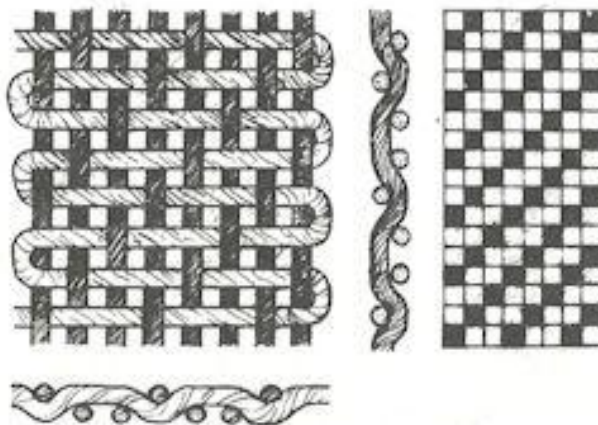
Plátnová vazba je z vyjmenovaných tří vazeb nejjednodušší a zároveň nejhustější typ vazby. V tomto případě se jedná o typ, kdy se od sebe rub a líc vzhledově neliší a podíl osnovních a útkových nití je 1:1. Jak je z obr. 1.4 patrné, osnovní a útková nit jsou spolu provázány pravidelně. Toto provázání je realizováno tak, že se osnovní nit provléká vždy střídavě pod a nad útkovou nití.



1.4 Plátnová vazba (převzato z[16])

1.4.2 Keprová vazba

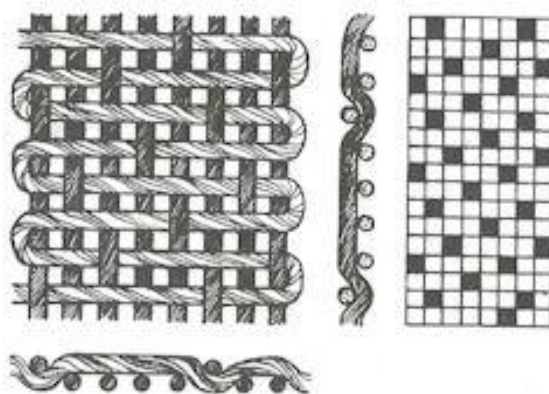
Keprová vazba se snadno pozná pohledem díky úhlopříčným řádkům (viz obr. 1.5). Díky tomuto uspořádání je tkanina měkčí a pružnější než tkanina s vazbou plátěnou. Díky počtu nití ve střídě se kepr označuje například jako třívazný, čtyřvazný atd. Nejběžnějším provedením kepru je kepr třívazný.



Obr. 1.5 Keprová vazba (převzato z[16])

1.4.3 Atlasová vazba

Vazné body v atlasové vazbě jsou rovnoměrně rozloženy ve střídě, ale navzájem se nedotýkají (Obr. 1.6). Jako zástupce této vazby lze zmínit tzv. satén vyráběný zpravidla z hedvábí. Vazba má lesklý vzhled a je hebká na dotyk.



Obr. 1.6 Atlasová vazba (převzato z[16])

1.5 Technologický proces vyšívání

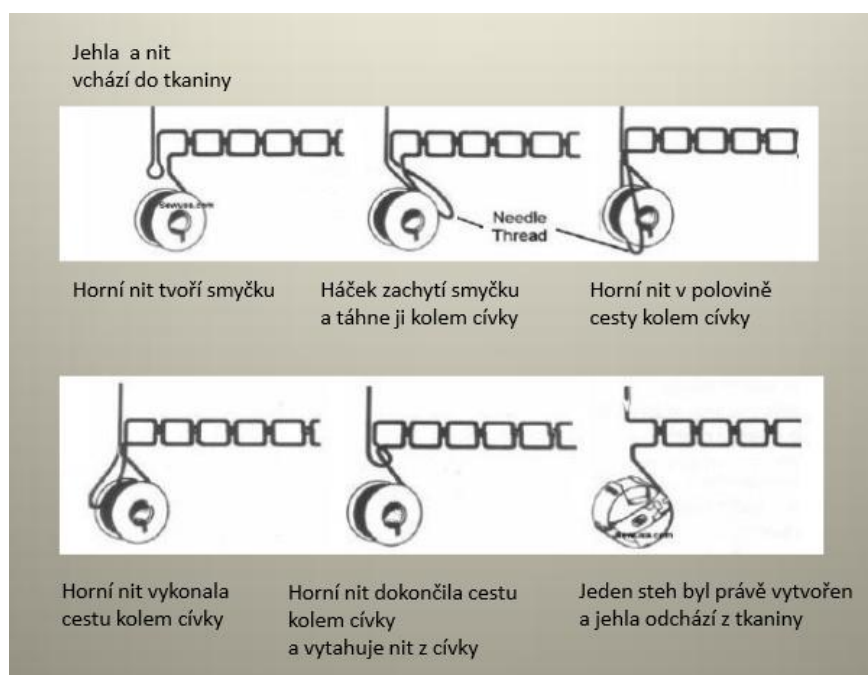
Základním útvarem šití (vyšívání) je tzv. steh, který vzniká nejméně dvěma vpichy jehlou s nití do textilního materiálu. Druhy používaných stehů se dělí do několika tříd dle normy

ISO 4915. Stehy jsou dělené podle odvětví, ve kterém se používají (strojní šití/vyšívání, ruční šití/vyšívání) a podle počtu nití, které jsou zapotřebí k realizaci daného stehu.

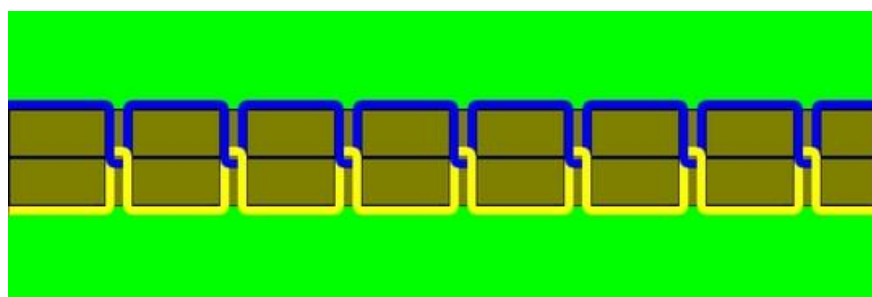
Tab. 1.1 Dělení druhů stehů dle normy ISO 4915

Třída	Název stehu
100	řetízkové stehy
200	ruční stehy
300	vázané stehy
400	vícenitné-řetízkové stehy
500	obnitkovací řetízkové stehy
600	krycí řetízkové stehy

Nejjednodušším stehem používaným ve strojním vyšívání je vázaný steh (třída 300). Tento steh vzniká za pomoci dvou, nebo více nití, které se provazují. Na obrázku 1.7 je znázorněn proces, který je strojem vykonáván při tvorbě vázaného stehu.



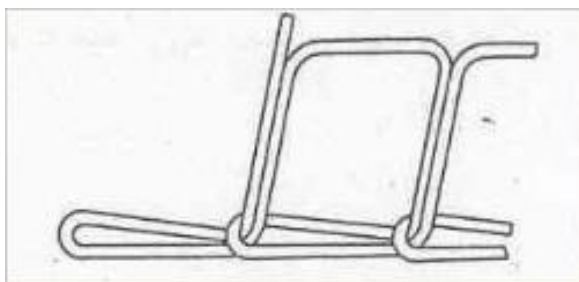
Obr. 1.7 Tvorba vázaného stehu (překresleno z [17])



Obr. 1.8 Výsledná podoba vázaného stehu (převzato z [18])

Zástupcem stehů, které jsou realizovány pouze jednou nití je jednoduchý řetízkový steh, který je normou ISO 4915 zařazen do třídy 100. Jedna nebo více smyček téže nitě prochází

materiálem a je zajištěna následnou smyčkou nebo smyčkami z té samé nitě po průchodu materiálem. Pro lepší představu je výsledná podoba jednoduchého řetízkového stehu znázorněna na obr 1.9.[17]



Obr. 1.9 Výsledná podoba řetízkového stehu (překresleno z [17])

1.6 Vyšívací stroje

Vyšívací stroje se liší od šicích strojů hned v několika směrech. Na rozdíl od šicích strojů nemají vyšívací stroje spodní podavače a nedochází u nich tím pádem k podávání šitého materiálu.

1.6.1 Průmyslové vyšívací stroje

Průmyslové vyšívací stroje mají masivní konstrukci a jsou konstruovány tak, aby vydržely třísměnný provoz. Tyto stroje mají velkou vyšívací plochu, min. 360x500 mm, spouštěcí stůl umožňující vyšívat trika, mikiny a čepice. Jsou vybaveny nejčastěji 15 jehlami. Jehly jsou speciální (většinou disponují různými povrchovými úpravami) a jsou určeny pouze k vyšívání na průmyslových šicích strojích. Konstrukce těchto strojů i jejich elektronika a softwarové vybavení je realizována tak, že umožňuje instalaci širokého spektra nástaveb např. pro našívání flitrů, přídavného laserového řezacího aparátu a širokého spektra upínacích elementů mechanických i pneumatických pro rychloupínání např. batohů a dalších náročných materiálů, které na vyšívacích strojích určených pro domácí vyšívání vyšívat nelze. Jeden ze zástupců průmyslových vyšívacích strojů od společnosti Tajima je zobrazen na obr. 1.10. [19]



Obr. 1.10 Průmyslový vyšívací stroj od společnosti Tajima (převzato z[19])

1.6.2 Domácí vyšívací stroje

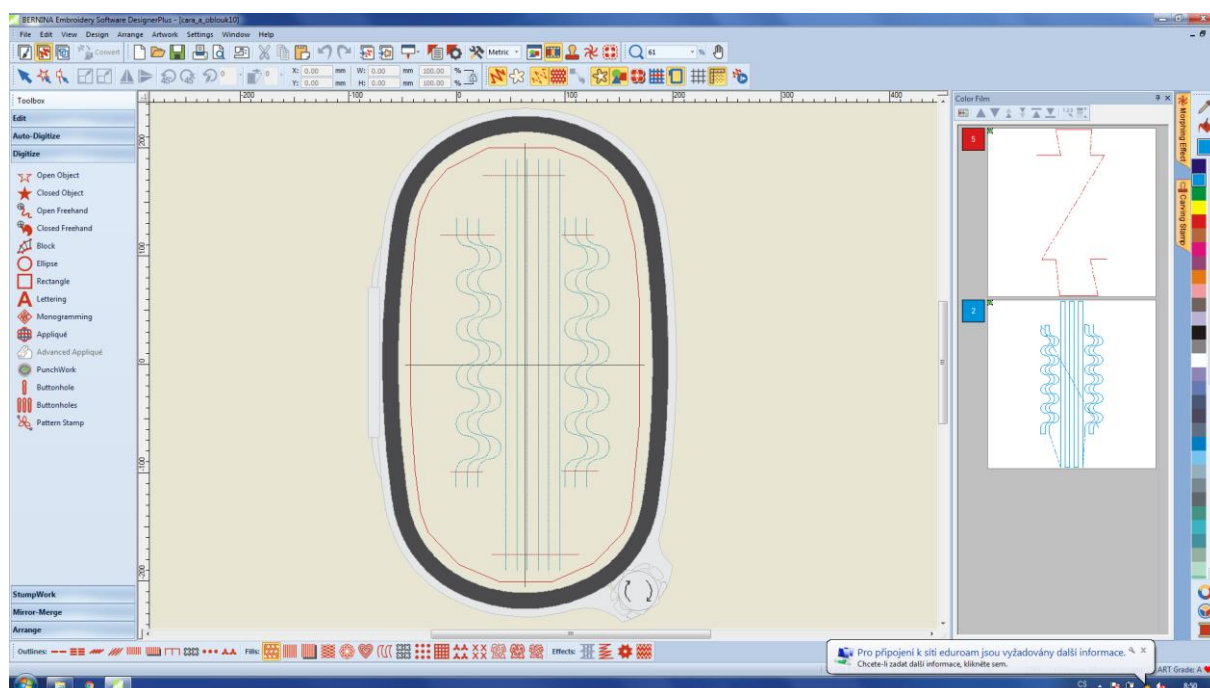
Šitý materiál je u vyšívacích strojů upevněn v rámečku. Rámeček je uchycen k posuvnému segmentu, se kterým je pomocí servomotorků možno pohybovat podle potřeb naprogramované výšivky. Dnešní vyšívací stroje jsou principiálně srovnatelné s klasickými CNC stroji používanými např. ve strojírenství. Obsluha vyšívacího stroje si zvolí vhodnou výšivku z předem definovaných a nahraných výšivek přímo ve stroji. Pokud nenalezne ve stroji ideální vzor, má možnost si v softwaru vytvořit vzor vlastní. Při tvorbě vlastního motivu je obsluha omezena několika parametry, které určují maximální rozměry výšivky a vymezují (díky definici patky) rezervy, o které musí být výšivka menší než velikost zvoleného rámečku.

Mezi největší firmy, které tyto stroje vyrábějí patří společnosti BROTHER, JANOME, BERNINA a další. Jeden z mnoha vyšívacích strojů od švýcarské společnosti BERNINA je na obr. 1.11.

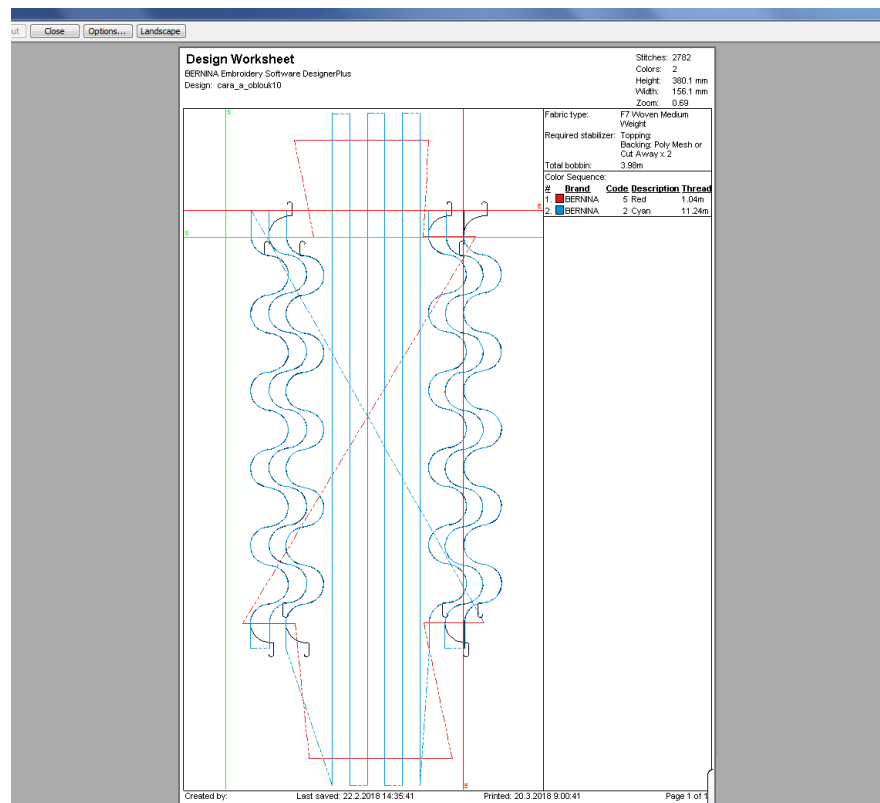


Obr. 1.11 Domácí vyšívací stroj od společnosti BERNINA (převzato z [20])

Na následujícím obrázku (obr. 1.12) je vyobrazeno prostředí softwaru poskytovaného touto společností. Barevné odlišení trajektorií vyšívky slouží jako indikátor změny nitě za jiný druh. Díky této vlastnosti lze nakreslit celou vyšívku najednou a vyšívacímu stroji dát jen pokyny kdy má dojít k manuální výměně za jinou nit. Další vlastností, kterou SW umožňuje je výpočet spotřeby jednotlivých nití (viz obr. 1.13).[21]



Obr. 1.12 Prostředí softwaru od společnosti BERNINA



Obr. 1.13 Spotřeba nití

1.7 Vodivé nitě

1.7.1 Rozdělení vodivých nití z hlediska výrobního postupu

1. Přidání vodivých (kovových) vláken do struktury vodivé nitě
 - Textilní vlákna opředená kovovými vlákny
 - Jedno vlákno opředené druhým
2. Použití vodivých polymerů
3. Potahování nití vodivými materiály

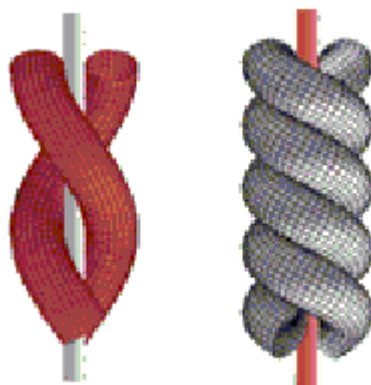
1.7.2 Přidávání vodivých (kovových) vláken do struktury vodivé nitě

Spirálová struktura

Spirála nebo vývrtka je příze, která vykazuje charakteristické hladké spirálování jedné součásti kolem druhé. Na obrázku 1.15 je znázorněna základní struktura nitě vyrobené touto metodou. Vodivé vlákno může být použito buďto jako plášť a nebo jako jádro nitě. Obě varianty jsou znázorněny na obrázku 1.16 (červeně znázorněno vodivé vlákno).[23]



Obr. 1.15 Spirálová struktura (překresleno z [24])



Obr. 1.16 Varianty vodivých nití se spirálovou strukturou (překresleno z [25])

Kovové vlákno zapleteno s textilním

Nejjednodušší metoda tvorby vodivé nitě je znázorněna na obr. 1.17. Struktura není v tomto případě založena na principu jádro-plášť, jako je tomu u struktury předchozí. Při použití tohoto postupu je vodivé vlákno zapleteno s vláknem nevodivým. Vodivá a nevodivá vlákna jsou v konečné podobě niti zastoupena ve stejném poměru.[24]



Obr. 1.17 Kovové vlákno zapleteno s textilním (překresleno z [24])

1.7.3 Použití vodivých polymerů

Vodivými polymery jsou např. polyanilin, polyvinylalkohol, polypyrrol a tak dále. Vodivé polymery jsou v současnosti stále více rozvíjenými oblastmi. Mezi těmito polymery přitahuje velkou pozornost polyanilin kvůli své dobré environmentální, tepelné a chemické stabilitě. Ačkoli byly tyto vlastnosti objeveny před 150 lety, zajistil si polyanilin pozornost vědecké komunity v několika posledních desetiletích nejen pro svou poměrně vysokou elektrickou vodivost mezi ostatními organickými polymery, ale zejména kvůli možnostem ovlivnění jeho vodivosti vlivem různých dopantů. Tyto polymery lze nalézt v aplikacích, kde je nutně vyžadována flexibilita, nízká hmotnost a vodivost.[26]

1.7.4 Nitě s vodivým povlakem

Dalším způsobem vytvoření vodivé nitě je potažení nevodivého jádra vodivým materiálem. Potah může být aplikován různými technikami. Vodivé polyesterové příze a vlákna tohoto druhu se používají v mnoha aplikačních oblastech. Vysoce vodivá vlákna mohou být vyrobena kovovým nebo galvanickým povlakem, ale tyto metody mají určitá omezení s adhezí a odolností proti korozi a vhodností substrátu. Kovové solné nátěry mají určitá omezení vodivosti.

Použitím vodivých přízí v tkaninových strukturách mohou být tkaninám přiřazeny různé funkce. Zlepšování vlastností textilních struktur (vodivosti) vodivých textilií má důležité uplatnění nejen v medicínské a vojenské oblasti. Proto se textilie s funkcí vodivosti používají v mnoha technických aplikacích, jako je ochrana osob a elektronických zařízení před elektromagnetickým rušením (EMI) a elektrostatickým výbojem, topením, nositelnou elektronikou, ukládáním a přenosem dat, senzory a aktory.[26]

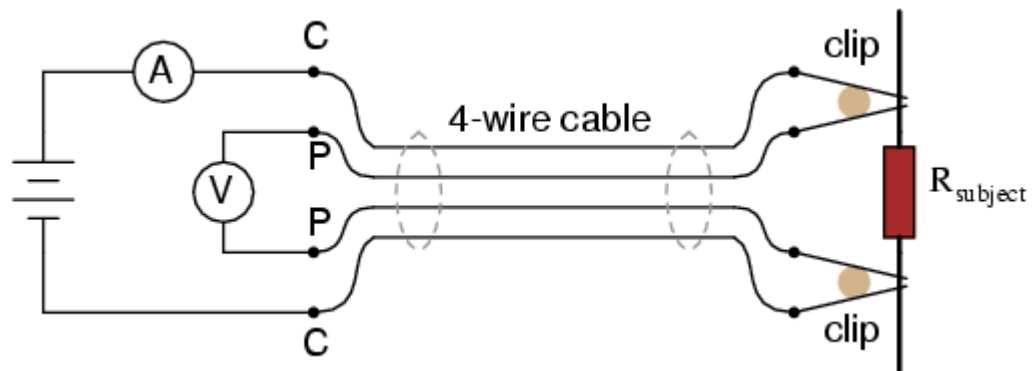
1.8 Metody měření elektrického odporu

Existuje velké množství metod využívaných pro měření elektrického odporu. V první řadě je nutné určit velikost měřeného odporu. Odporů lze rozdělit na velké, střední, malé a velmi malé. Zvolení měřicí metody je též zvolením chyby se kterou bude měření probíhat. V teoretické části této práce byla pozornost věnována čtyřvodičové metodě z důvodu nízkých měřených hodnot odporů.

1.8.1 Měření malých a velmi malých odporů pomocí čtyřvodičové metody

Čtyřvodičová (též zvaná také Kelvinova) metoda se využívá k měření velmi malých odporů. Metoda byla využita v této diplomové práci pro měření vodivých nití, jelikož zde lze přepokládat hodnoty odporu řádově jednotek Ω . Na rozdíl od měřicí metody dvouvodičové, kdy je samotné měření zatíženo chybou způsobenou odporem přívodních vodičů, při použití čtyřbodové metody tuto chybu eliminujeme. Velikost odporu vodičů je velmi malá, avšak v takto citlivém a přesném měření může vést k podstatně zkresleným výsledkům. Princip této metody je následující. Na měřený vzorek přivádíme dvěma vodiči proud a dvěma připojeními přímo k měřenému vzorku měříme napětí, které na něm vzniklo průchodem proudu. Tímto způsobem je vyloučen odpor přívodních vodičů. V ideálním případě by byl voltmetr připojen v těsné blízkosti měřeného vzorku, ale ve skutečnosti je zapotřebí určité délky vodičů

k připojení voltmetru. Na tomto připojení nevzniká chyba zapříčiněná úbytkem napětí na vodiči způsobeným průchodem proudu, neboť voltmetr má velký vstupní odpor a tudíž přes něj neprochází skoro žádný proud, který by způsoboval úbytek napětí a zatěžoval měření chybou. K měření byl v případě této práce použit měřicí přístroj Keithley 2701, který disponuje vnitřní funkcí (4-wire) a zobrazí výslednou vypočítanou hodnotu odporu.[22], [23]

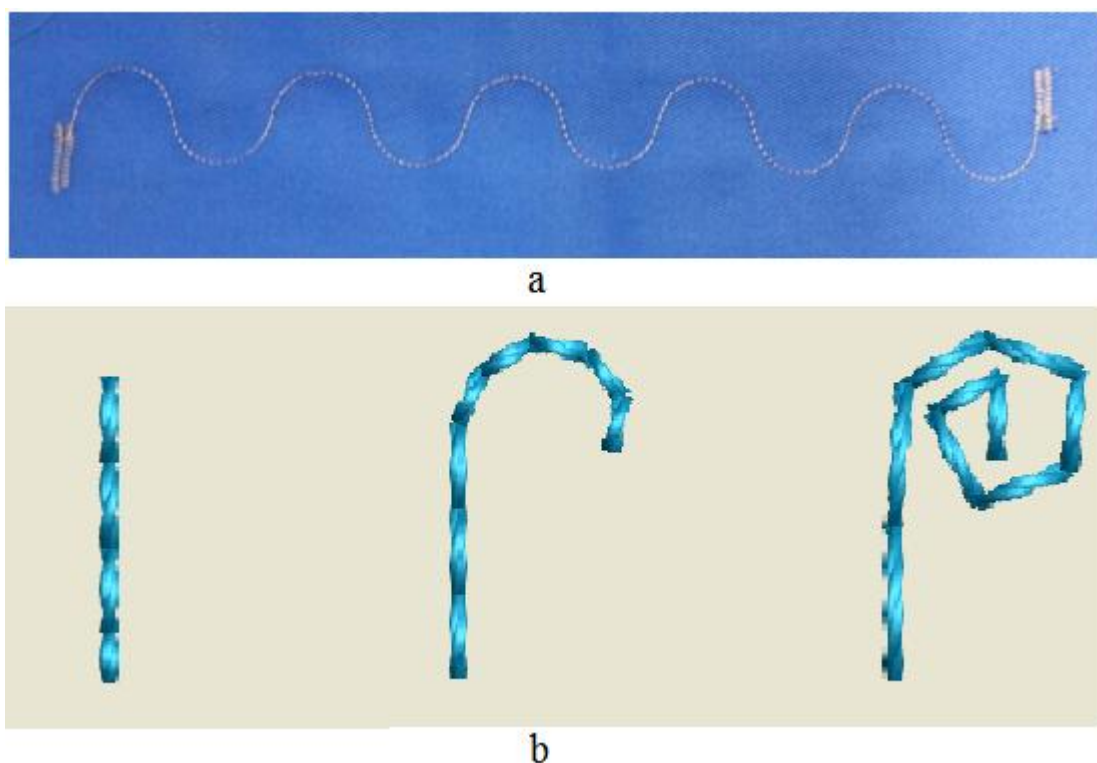


Obr. 1.14 Principiální schéma čtyřvodičové měřicí metody (překresleno z [22])

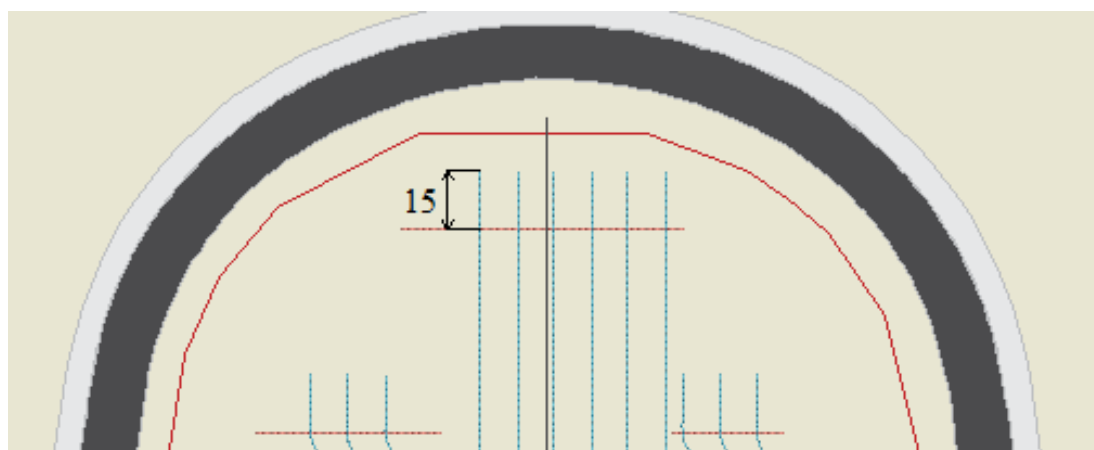
2 Návrh a realizace vlastní praktické části

2.1 Návrhy konkrétních výšivek

Hlavním úkolem rozdílných trajektorií výšivek bylo poukázat na to, jakou závislost mají na výsledné elektrické vlastnosti výšivky. Bylo navrženo 5 motivů (různé rádiusy, zlom nití pod úhlem 90° , přímá trajektorie) a u každého motivu 3 různé verze zakončení. Aby bylo možné naměřené hodnoty porovnat, je důležité zvolit zásadní parametr a tím byla délka trajektorie, která musela být stejná pro všechny motivy. Kvůli možnostem šicího stroje a rozměru rámečku, držícího textilní podklad, je délka vyšité trajektorie omezena na maximální délku vzoru 400 mm. Po zvážení všech vyjmenovaných okolností byla zvolena délka měřeného vzoru 350 mm. Ke kvalitnímu kontaktování vyšitých motivů měly původně posloužit kontaktní plošky o rozměru 5x15 mm vyšity nití 25A (obr. 2.1 a). Pod těmito ploškami měl být každý vzor zakončen přímo, obloukem nebo spirálou (obr. 2.1 b). Pozornost měla být soustředěna na odlišné vlastnosti jednotlivých vyšitých motivů. Při zakončení motivu ploškou bychom ale neotestovali vlastnosti samotných použitých nití. Také by tu hrál roli kontakt rozdílných materiálů použitých k vyšití kontaktní plošky a vyšitého motivu. Po proměření výšivky na níže předloženém obrázku (obr. 2.1 a) byla zjištěna diference hodnot výšivky s ploškou a výšivky bez ní o $1,7 \Omega$. Tato hodnota je v porovnání s výsledným odporem samotné výšivky ($2,5\Omega - 4,5\Omega$) poměrně vysoká a docházelo by ke značnému zkreslení celého testování. Motivы byly proto zakončeny pouze rovnou trajektorií a prodlouženy na každé straně o délku 15 mm. Po tomto prodloužení bylo možné přiložit na konce trajektorií sondy určené pro měření (obr. 2.2). Tímto nebude měření zatíženo chybou, kterou by způsoboval vlastní odpor kontaktních plošek.

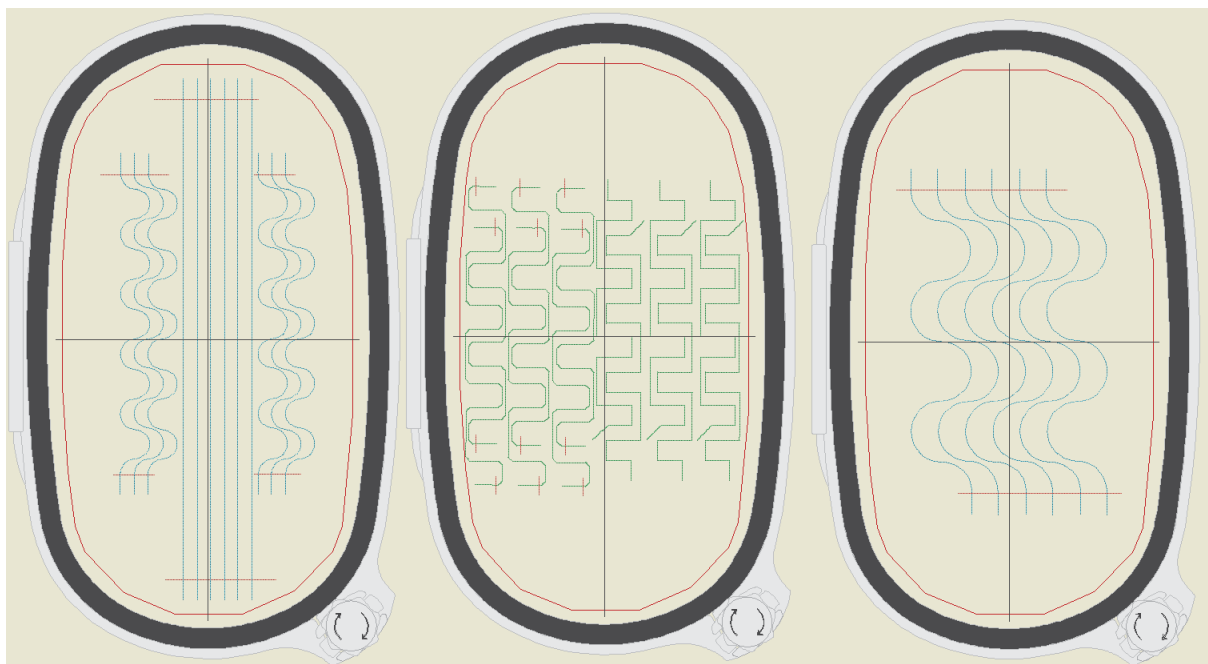


Obr. 2.1 Návrh výšivky s kontaktní ploškou na obou koncích a druhy zakončení původních výšivek



Obr. 2.2 Zakončení finálních výšivek

Bylo vyšito 6 vzorků stejného motivu (vlnka10) bez kontaktních plošek a následně proměřeno čtyřvodičovou (Kelvinovou) metodou. Tato metoda měření byla zvolena z důvodu předpokládaných velmi nízkých výstupních hodnot odporů měřených vzorků (trajektorií motivů). Použitým postupem se povedlo získat stabilní kontakt (odchylka max. desetiny Ω) u všech 6ti vzorků tohoto motivu. Podoba výsledných vyšívaných trajektorií motivů je znázorněna na obr. 2.3.



Obr. 2.3 Finální podoba testovaných trajektorií motivů

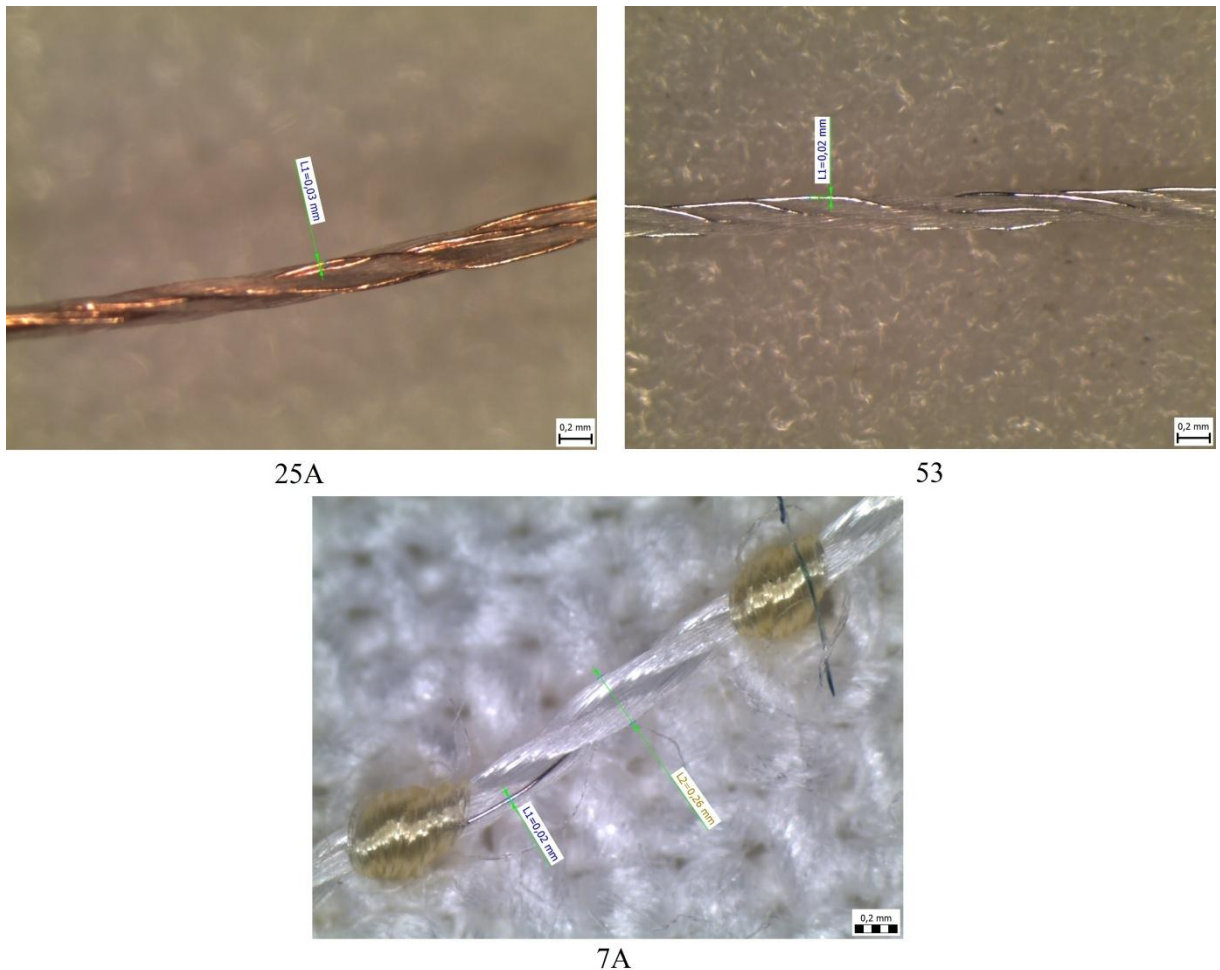
Abychom docílili úspory textilních substrátů byly umístěny v jednom rámečku v některých případech i dva různé motivy (obr. 2.3). Každý motiv vyšívky byl v SW vytvořen pro dvě délky stehu. Byly zvoleny běžně používané délky stehů 2 mm a 3 mm. Při použití delšího stehu je teoreticky nit namáhána na ohyb v menším počtu bodů (menší četnost průchodu nitě textilním substrátem), a proto by u ní nemělo docházet k poškození vodivých vláken tolik, jako v případě stehu kratšího. Vyšívání všech trajektorií motivů probíhalo stejnou rychlostí 5 stehů/s, abychom do testů nezanášeli další proměnný parametr.

Tab. 2.1 Označení měřených výšivek a charakteristika jejich tvarů

Tvar motivu	Značení motivů v grafech
Obdélník	obd
Obdélník se zkosenými hranami	obd_hr
Úsečka	ús
Vlnka5 (5 vlnek o poloměru 22,3 mm)	vln5
Vlnka10 (10 vlnek o poloměru 11,15 mm)	vln10

2.2 Použité vodivé nitě

Na obr. 2.4 si můžeme prohlédnout detailní snímky všech 3 nití a vytvořit si lepší představu o jejich struktuře.



Obr. 2.4 Detail Použitých nití (25A, 53, 7A)

Všechny testované vodivé nitě jsou od výrobce CleverTex[®]. Niti s označením 25A a 53 jsou vhodné k co nejlépe vodivému spojení součástí elektrického obvodu na textilií, jelikož každá z nich obsahuje ve své struktuře 8 vodivých vláken.. V případě niti s označením 25A je vodivá složka zastoupena 8 mosaznými drátky. U nitě 53 je vodivosti docíleno pomocí 8 drátků s měděným jádrem, které jsou navíc z důvodu lepších elektrických vlastností potaženy stříbrem. Nit s označením 7A obsahuje pouze jedno vodivé vlákno z nerezové oceli.

V souvislosti s nízkým obsahem vodivé složky je největším problémem získání stabilního kontaktu. Z tohoto důvodu bylo vyhodnocování získaných dat u této niti pojato odlišně a bylo zaměřeno na možnosti kontaktování.

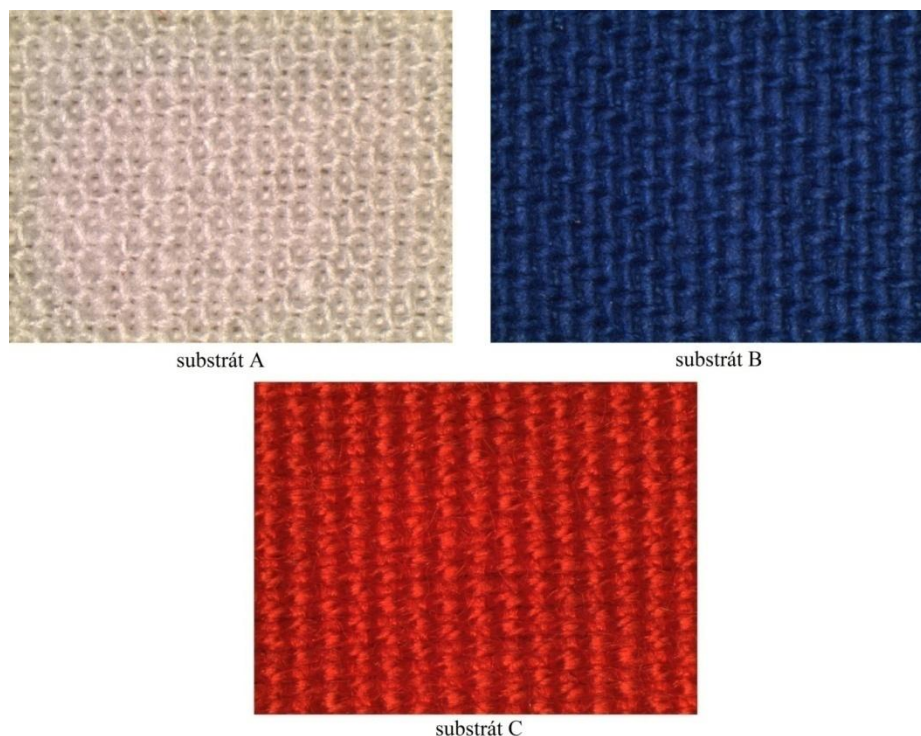
Tab.2.2 Tabulka vlastností použitých nití

Označení nitě	Jemnost nití [Tex]	Počet vodivých vláken	Materiál vodivých vláken	R [Ω/m]	Reálně naměřený R [Ω/m]
25A	72	8x30 μm	Mosaz	8,9	8,7
7A	38	1x20 μm	Nerezová ocel	2420,2	2754,1
53	50	8x27 μm	Měď potažená stříbrem	6,5	6,2

2.3 Použité textilní substráty

Byly porovnávány tři druhy textilních substrátů, na které byly trajektorie motivů vyšity. Z důvodu dostupnosti bavlněných textilií a zejména kvůli teplotní odolnosti byly dva testovací textilní substráty právě z tohoto materiálu. Poslední ze zde zastoupených textilních substrátů je vyrobený z para-aramidových vláken. Tento materiál byl vybrán z důvodu využití SMART textilií v odvětví požární ochrany, kdy je vyžadována vyšší teplotní odolnost než u přírodních materiálů.

V obou případech bavlněných textilií (substrát A, substrát B), se jedná o 100% bavlněné textilie s keprovou vazbou. Materiály se liší pouze gramáží. Gramáž vypovídá o pevnosti a hustotě vazby textilního substrátu (čím vyšší gramáž, tím vyšší pevnost). Prvním textilním substrátem (substrát A) je bavlněný materiál bílé barvy s gramáží 130 g/m². Druhý vybraný materiál je rovněž bavlněný, ale s vyšší gramáží (155 g/m²). Posledním zástupcem vybraných textilních substrátů je para-aramidová textilie (substrát C) s plátňovou vazbou a gramáží 180g/m².



Obr. 2.5 Snímky použitých textilních substrátů pořízených mikroskopem (použité zvětšení 20x)

Tab.1.2 Tabulka použitých textilních podkladů

Označení substrátu	Vazba	Složení materiálu	Gramáž [g/m ²]
substrát A	kepr	100 % bavlna,	130
substrát B	kepr	100 % bavlna	155
substrát C	plátno	Nomex III/Para-aramid	180

2.4 Použité strojní šicí jehly

Pro vyšívání byly vybrány jehly stejné síly, se stejným typem hrotu, ale s různou povrchovou úpravou. Oproti jehle Organ 90, která má pouze leštěný povrch, je jehla Ti-Organ 90 opatřena titanovou vrstvou, která slouží jako ochrana proti nežádoucímu ohřevu. Z důvodu používání vodivých nití, které vyžadují větší očko pro možnost hladkého průchodu jehlou, byla zvolena větší tloušťka jehel. Porovnávali jsme vyšívky provedené jehlou Organ 90 a Ti-Organ 90 měřením vodivosti a snažili se zjistit, zda na ni má povrchová úprava vliv.



Obr. 2.6 Použité strojní šicí jehly

3 Vyhodnocení výsledků měření nití 25A a 53

Měření všech motivů bylo prováděno pomocí čtyřvodičové metody, která je určena k měření malých odporů a jejíž princip je vysvětlen v teoretické části diplomové práce (kap. 1.6).



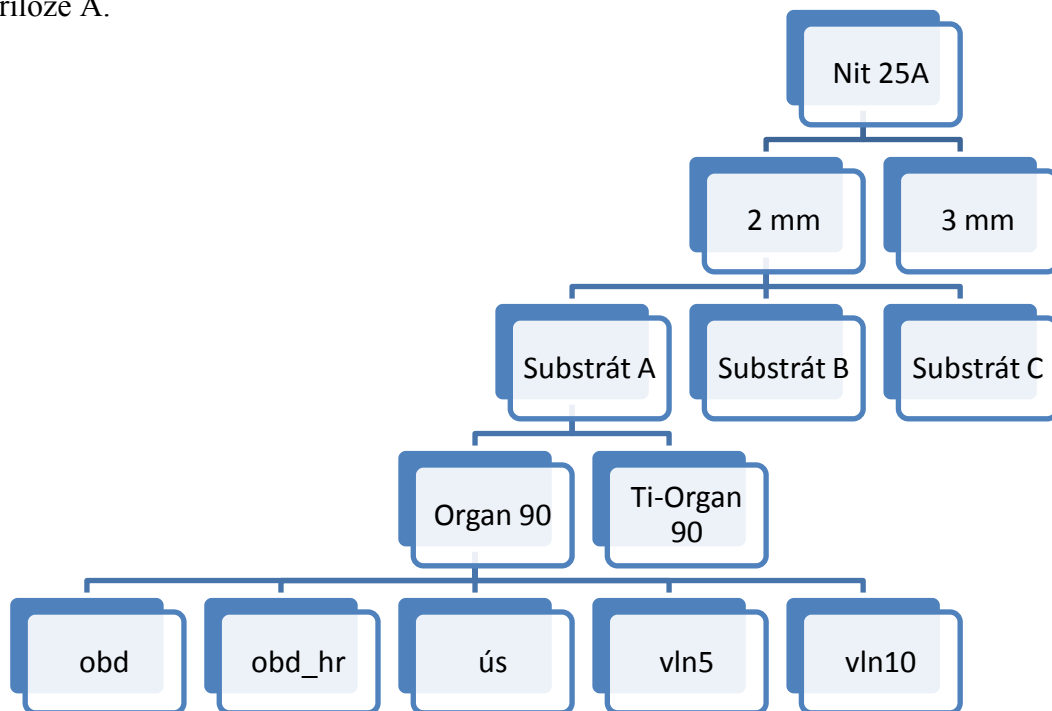
Obr. 3.1 Pracoviště pro měření čtyřvodičovou metodou



Obr. 3.2 Magnetická sonda určená k měření čtyřvodičovou metodou

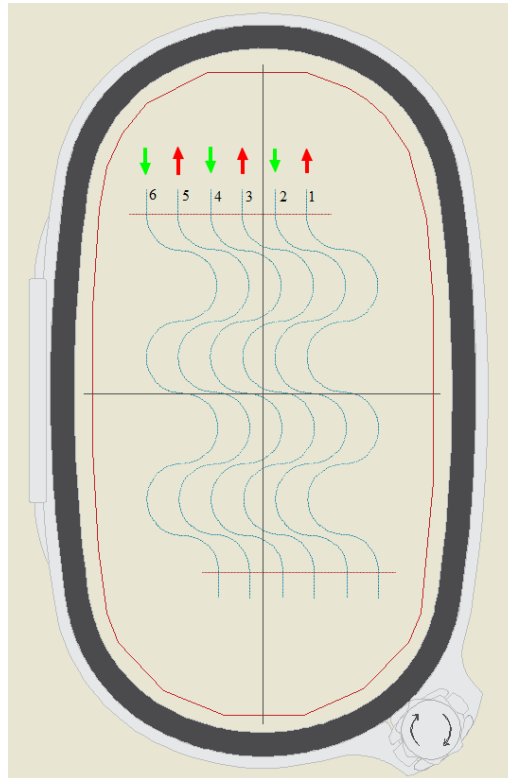
Obr. 3.1 zobrazuje měřící pracoviště. Na stůl byla umístěna kovová podložka, která byla pokryta izolantem, aby její vlastní vodivost nezkreslovala odečítané hodnoty. Měřený motiv byl umístěn na kovovou desku pokrytou izolantem a na okraje vyšitých motivů byly přiloženy magnetické sondy (obr. 3.2). Sondy byly připojeny k měřicímu přístroji Keithley 2701. Tímto digitálním měřicím přístrojem bylo u každého vzorku odečítáno softwarově 30 hodnot s časovým intervalem 1 s. Tento systém byl zaveden kvůli zpřesnění výsledků. V souvislosti s dobou, po jakou byly hodnoty odečítány (30 s) bylo zjištěno, zda se nejedná pouze o kontakt náhodný, ale stabilní. K odečítání byl využit software KickStart, který byl s měřicím

přístrojem propojen pomocí ethernetového rozhraní. Hodnoty získané tímto softwarem byly uloženy ve formátu tabulky. Následně jsme tyto hodnoty rozřídily. Rozřídění naměřených hodnot bylo provedeno dle grafu 3.1. Další vyhodnocení bylo provedeno v programu Microsoft Excel. V grafu 3.1 je do poslední úrovně rozkreslena jen jedna větev z důvodu přehlednosti. Od vrstvy označující textilní substrát je dělení stále stejné pro všechny paralelní větve. Celkově bylo vyšito 1080 trajektorií motivů (vzorků). Kompletní graf je přiložen v příloze A.



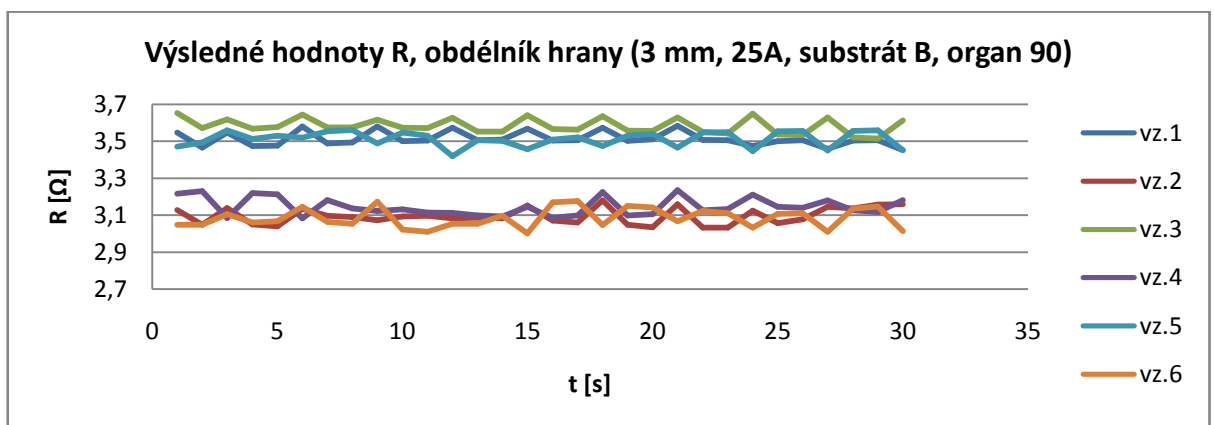
Graf 3.1 Systematické rozdělení výsledků měření

Jednotlivé trajektorie vyšívaného vzoru byly pro následující měření číselně označeny (Obr. 3.3). Šipky na obrázku znázorňují směr vyšití vzorků (zelené šipky: posun vyšívacího rámečku při vyšívání: směr vyšívání y; červené šipky: směr -y). Směr vyšití motivu je zde zmíněn proto, že se v průběhu zpracování diplomové práce ukázalo, že se jedná o jeden z klíčových parametrů při zhotovení výšivek.



Obr. 3.3 Číselné označení vzorků motivů s určením směru vyšívání (vzorky všech testovaných motivů označeny stejným způsobem)

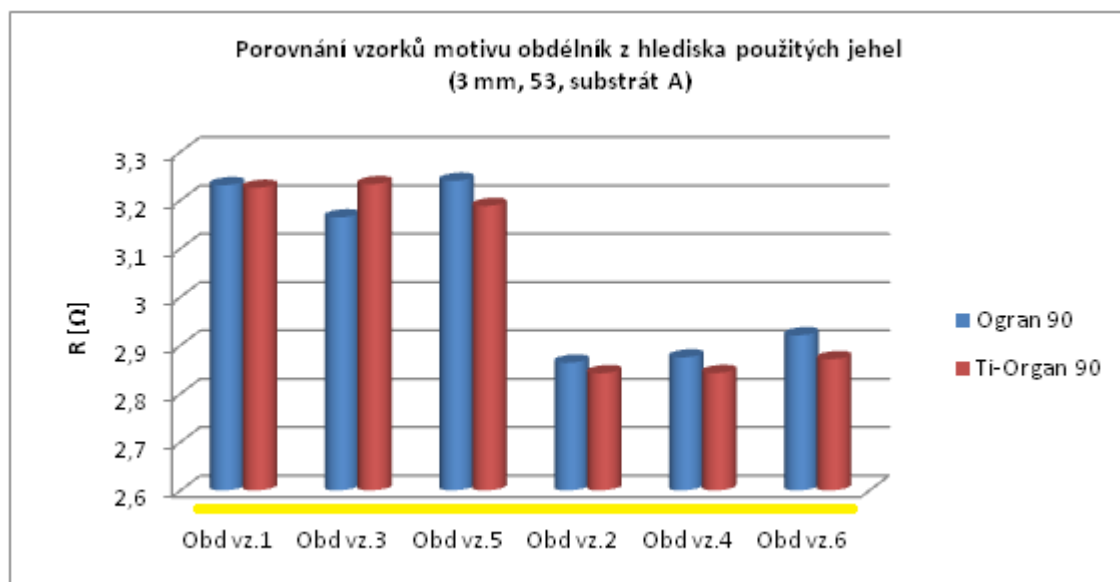
Jak již bylo v úvodu této kapitoly zmíněno, u každého vzorku bylo odečteno 30 hodnot. Jak ukazuje graf 3.2 po celou dobu odečítání hodnoty oscilovaly s průměrnou odchylkou od střední hodnoty. Díky tomu lze pro přehlednost využívat v grafech hodnotu odporu, která byla získána jako průměrná z 30-ti naměřených hodnot pro daný vzorek.



Graf 3.2 Oscilace naměřených hodnot (3 mm, 25A, substrát B, organ 90)

3.1 Vyhodnocení výsledků měření nití 25A a 53 z hlediska použité jehly

Následující kapitola se zabývá analýzou dat, která byla získána pro danou kombinaci použitého textilního substrátu, nití, délky stehu a neznámým parametrem byl typ použité jehly. Naměřené hodnoty odporu a příslušné grafy pro každou vytvořenou kombinaci materiálů jsou v příloze B. Princip vyhodnocování je zde znázorněn pouze na jedné konkrétní kombinaci materiálů a jednom konkrétním motivu výšivky.

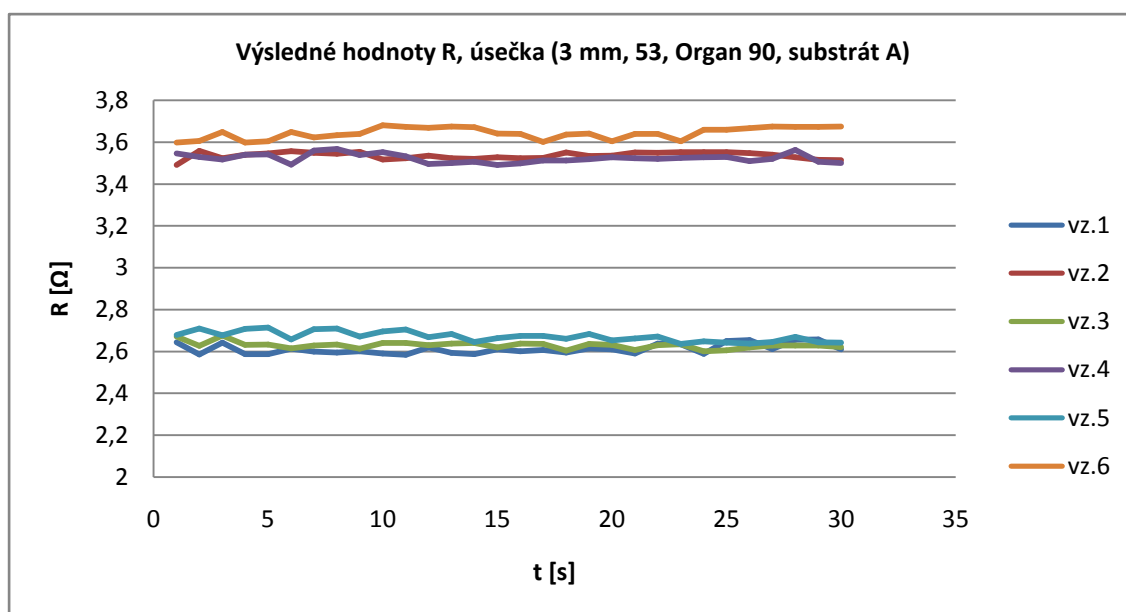


Graf 3.4 Porovnání prům. hodnot odporů vyšitých vzorků motivu obdélník (3 mm, 53, substrát A)

Výsledky v grafu 3.4 byly získány vyšíváním vzorků motivu obdélník na textilní substrát A, nití 53 a délkou stehu 3 mm. Od motivu jsme měli k dispozici 6 totožných vzorků. Každá dvojice sloupců v grafu znázorňuje porovnání průměrných hodnot odporů jednotlivých vzorků, které byly vyšity oběma druhy jehel. Jak je z grafu patrné, v 5-ti ze 6-ti případů (v 83 %) bylo dosaženo nižších hodnot odporů v případě použití jehly Ti-Organ 90. Všechny ostatní motivy byly vyhodnoceny stejným způsobem a výsledky zaznamenány do tabulky 3.1. Bylo-li vhodnější použít jehlu Organ 90, byly buňky v tabulce zbarveny modře, pokud bylo výhodnější šít jehlou Ti-Organ 90, byly buňky zvýrazněny červeně. V případě, kdy byly výsledky pro obě jehly srovnatelné, byly buňky označeny šedě.

Tab. 3.1 Souhrn výsledků kombinací materiálů pro nitě 53 a 25A

	Délka stehu 2 mm						Délka stehu 3 mm					
	substrát A		substrát B		substrát C		substrát A		substrát B		substrát C	
	25A	53	25A	53	25A	53	25A	53	25A	53	25A	53
obd	83%	50%	83%	83%	83%	67%	60%	83%	83%	67%	50%	100%
obd_hr	83%	83%	100%	83%	100%	50%	67%	67%	100%	83%	50%	100%
ús	100%	50%	50%	67%	83%	83%	67%	83%	67%	80%	100%	80%
vln5	83%	83%	80%	100%	50%	83%	100%	83%	100%	100%	67%	67%
vln10	83%	100%	100%	83%	50%	83%	83%	67%	67%	67%	100%	50%

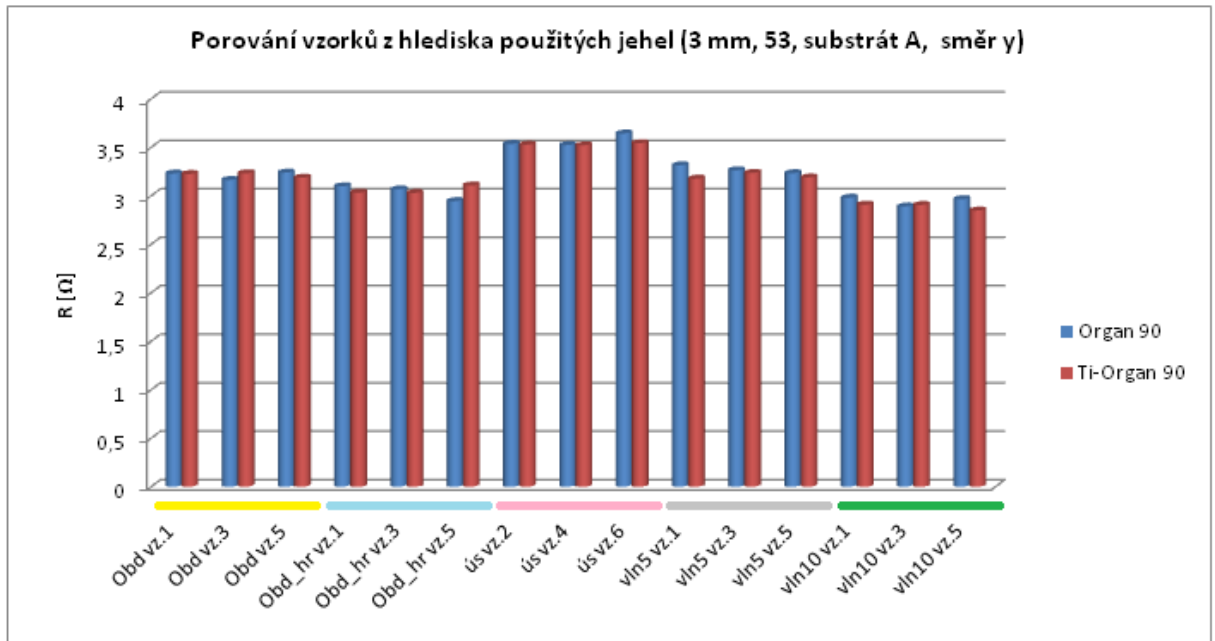


Graf 3.5 Porovnání vzorků motivu úsečka (3 mm, 53, Organ 90, substrát A)

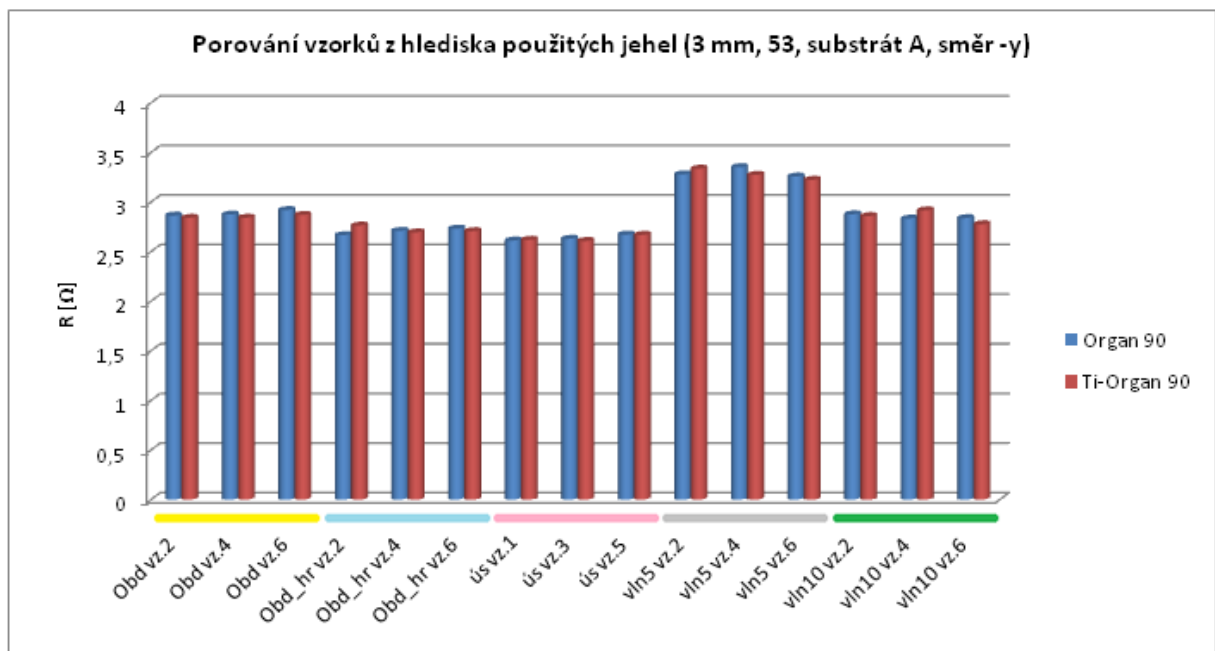
Výsledky naměřených odporů oscilovaly kolem střední hodnoty u trajektorií motivu vyšívání stejným směrem (graf 3.5). Po tomto zjištění byly vzorky rozděleny do dvou skupin po třech. U vzorků vyšitých ve směru y byly naměřeny vyšší hodnoty odporů než u vzorků vyšitých ve směru -y. Proto byly výsledky rozděleny do grafů 3.6 a 3.7 podle směru vyšívání.

Grafy 3.6 a 3.7 znázorňují porovnání průměrných hodnot naměřených odporů všech testovaných vzorků, které byly vyšity stejným způsobem jako v grafu 3.4. Grafy ukazují, že se tyto hodnoty u každého vzorku neliší více než o 0,2 Ω. U kratších trajektorií motivů (v našem případě 350 mm) se tedy nejedná o velký rozdíl vodivosti při zvolení jehly Organ 90 nebo Ti-Organ 90. Pro delší motivy se však budou diference hodnot odporů zvyšovat

a volbou jehly bychom mohli omezit snížení vodivosti. I když se v našem případě nejedná o velké rozdíly hodnot, můžeme výsledky využít k doporučení při vyšívání delších trajektorií.



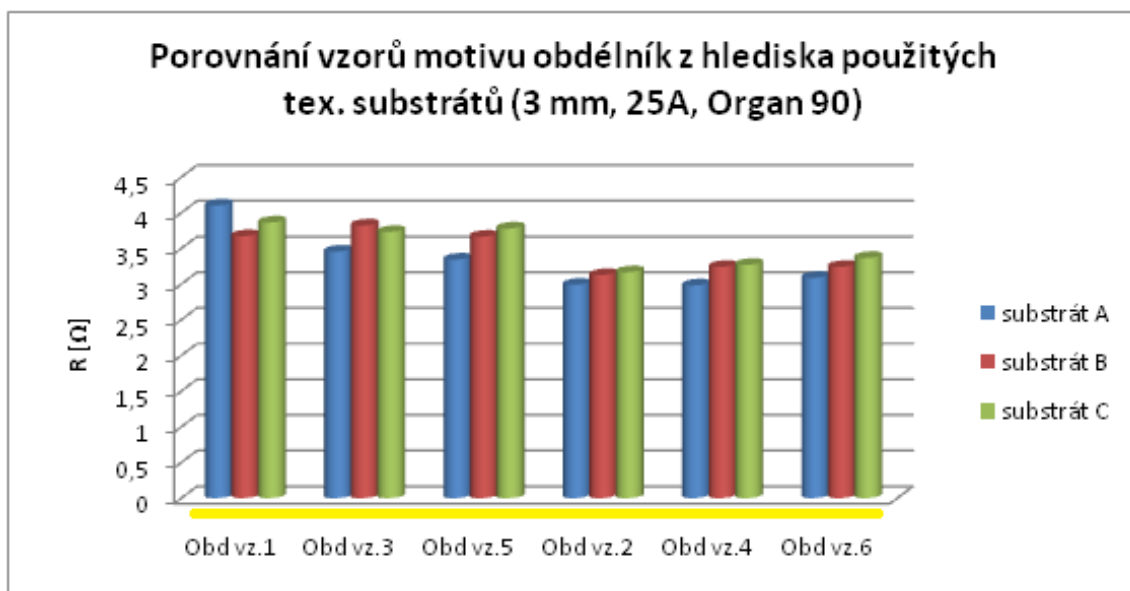
Graf 3.6 Průměrné hodnoty odporů vyšitých vzorků všech motivů (3 mm, 53, substrát A, směr y)



Graf 3.7 Průměrné hodnoty odporů vyšitých vzorků všech motivů (3 mm, 53, substrát A, směr -y)

3.2 Vyhodnocení výsledků měření nití 25A a 53 z hlediska použitého textilního substrátu

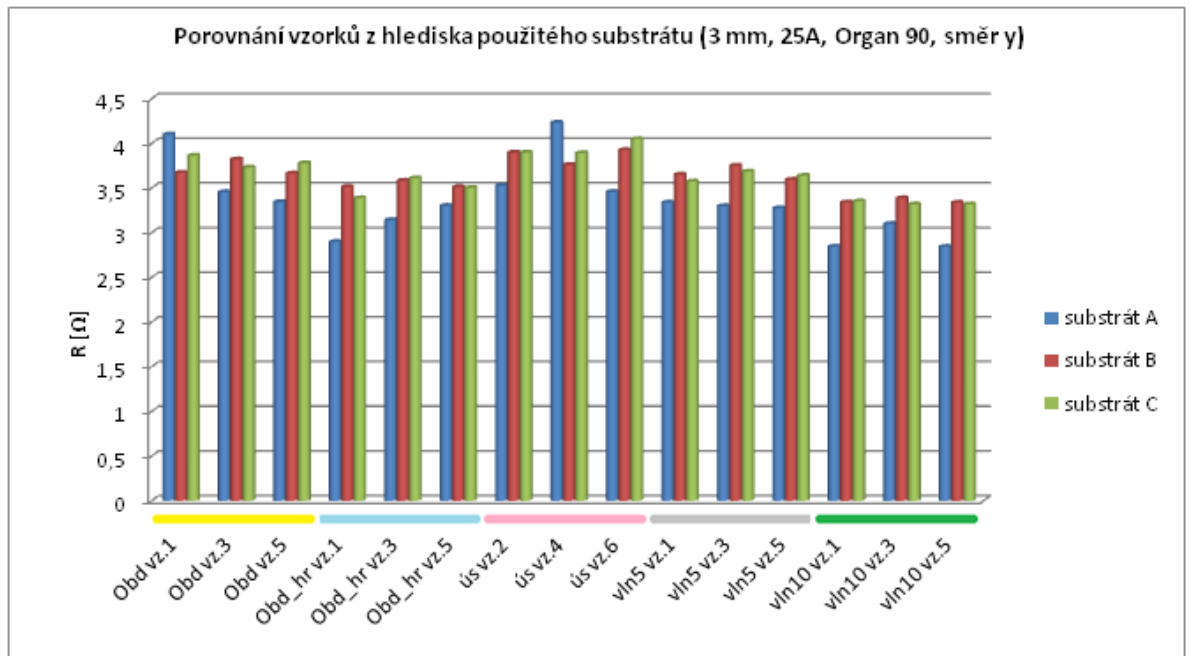
Nyní uvažujme, že máme vybranou kombinaci používaného stehu, nití a jehly a jediným proměnným parametrem je textilní substrát. Princip vyhodnocování zůstává stejný jako v předchozí kapitole.



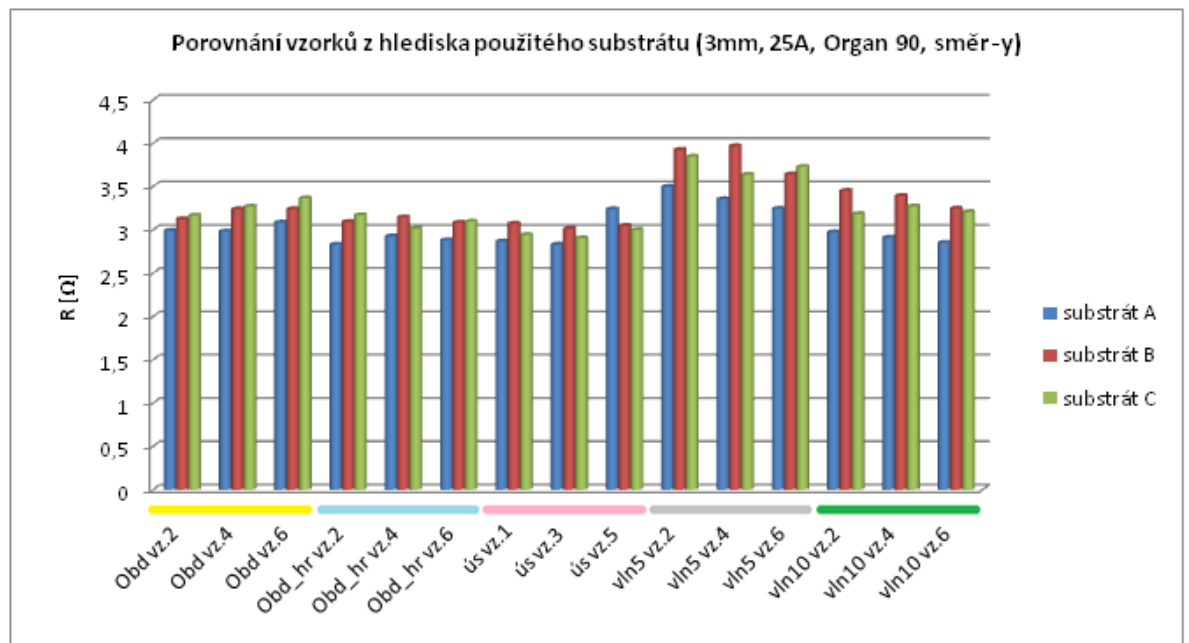
Graf 3.8 Porovnání prům. hodnot odporů vyšitých vzorků motivu obdélník (3 mm, 25A, Organ 90)

Pro představu využijeme opět konkrétní případ (Graf 3.8), kdy jsme se rozhodli vyšít jehlou Organ 90, nití s označením 25A a délkou stehu 3 mm. Z těchto naměřených výsledků jsme v 5-ti ze 6-ti případů (v 83,3 %) docílili nejnižší průměrné hodnoty výsledných odporů v případě použití substrátu A. Výsledky poukazují na možnou závislost vodivosti trajektorií motivů a gramáži textilního materiálu.

Pro přehled výsledků průměrných hodnot všech testovaných vzorků lze nahlédnout do grafů 3.9 a 3.10. Stejně jako v předchozí kapitole jsou výsledky porovnány procentuálně v tab. 3.2 (použití 2 mm stehu) a tab. 3.3 (použití 3 mm stehu).



Graf 3.9 Průměrné hodnoty odporů vyšitých vzorků všech motivů (3 mm, 25A, Organ 90, směr y)



Graf 3.10 Průměrné hodnoty odporů vyšitých vzorků všech motivů (3 mm, 25A, Organ 90, směr -y)

Tab. 3.2 Porovnání výsledných hodnot za použití 2 mm stehu

	2 mm											
	Organ 90						Ti-Organ 90					
	25A			53			25A			53		
	substrát A	substrát B	substrát C	substrát A	substrát B	substrát C	substrát A	substrát B	substrát C	substrát A	substrát B	substrát C
obd	0%	67%	33%	100%	0%	0%	0%	50%	50%	83%	17%	0%
obd_hr	83%	17%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	83%	17%	0%
ús	33%	50%	17%	33%	17%	50%	67%	0%	33%	17%	67%	17%
vln5	83%	0%	17%	83%	0%	17%	60%	20%	20%	17%	83%	0%
vln10	50%	33%	17%	67%	17%	17%	100%	0%	0%	50%	50%	0%

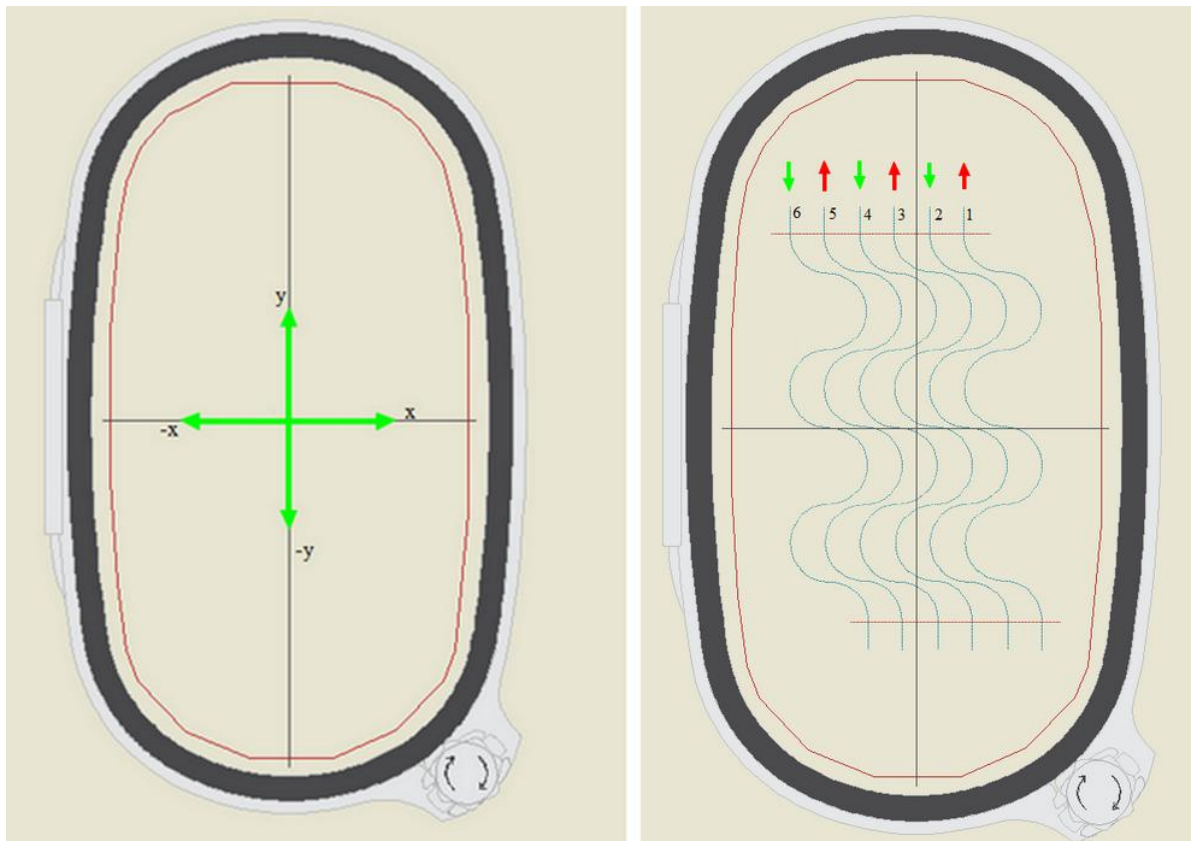
Tab. 3.3 Porovnání výsledných hodnot za použití 3mm stehu

	3 mm											
	Organ 90						Ti-Organ 90					
	25A			53			25A			53		
	substrát A	substrát B	substrát C	substrát A	substrát B	substrát C	substrát A	substrát B	substrát C	substrát A	substrát B	substrát C
obd	83%	17%	0%	100%	0%	0%	83%	0%	0%	100%	0%	0%
obd_hr	100%	0%	0%	100%	0%	0%	50%	50%	0%	17%	83%	0%
ús	67%	17%	17%	100%	0%	0%	50%	33%	17%	80%	20%	0%
vln5	100%	0%	0%	50%	17%	33%	67%	0%	33%	50%	33%	17%
vln10	100%	0%	0%	67%	0%	33%	100%	0%	0%	100%	0%	0%

Tabulky 3.2 a 3.3 poskytují souhrnné zobrazení procentuální vhodnosti použití testovaných textilních substrátů. Nejnižších hodnot odporů jsme v našem případě nejčastěji dosáhli při použití textilního substrátu A. Výsledky poukazují na možnou souvislost gramáže textilie s výslednou vodivostí trajektorie motivu. Tuto hypotézu však nelze z důvodu testování pouhých tří textilních substrátů zobecnit. Všechna naměřená data lze najít v příloze C.

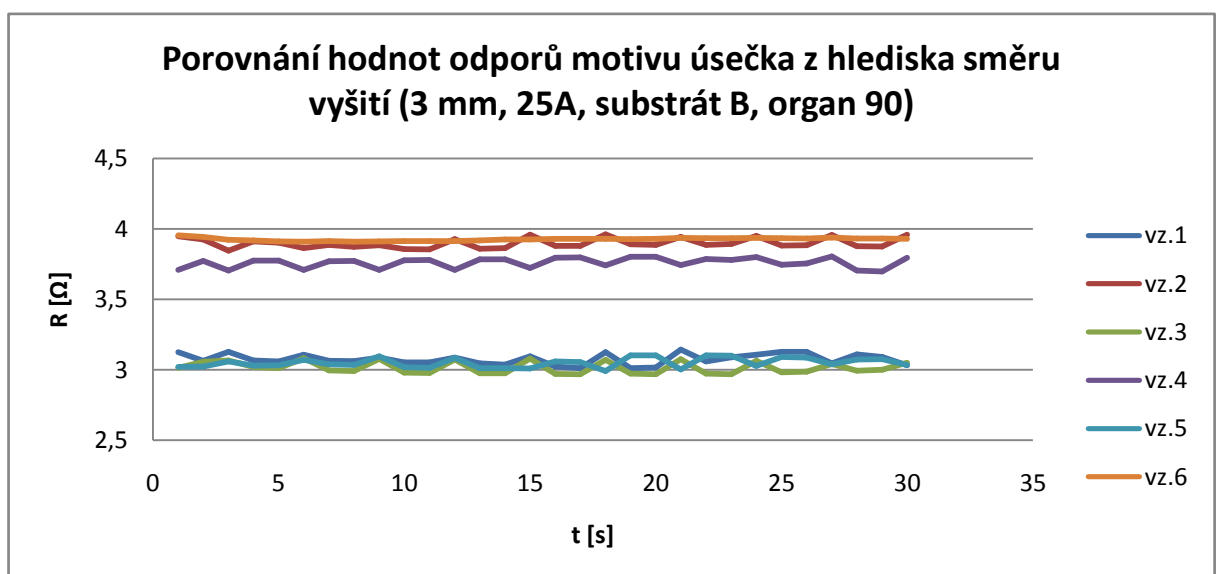
3.3 Vyhodnocení výsledků měření nití 25A a 53 z hlediska směru vyšívání

Jak je zmíněno v předchozích kapitolách, u vzorků stejného motivu, které byly vyšity různými směry, byly naměřeny rozdílné hodnoty odporů. Na obr. 3.4 jsou označeny směry, kterými se jehla při vyšívání vzorku pohybovala.



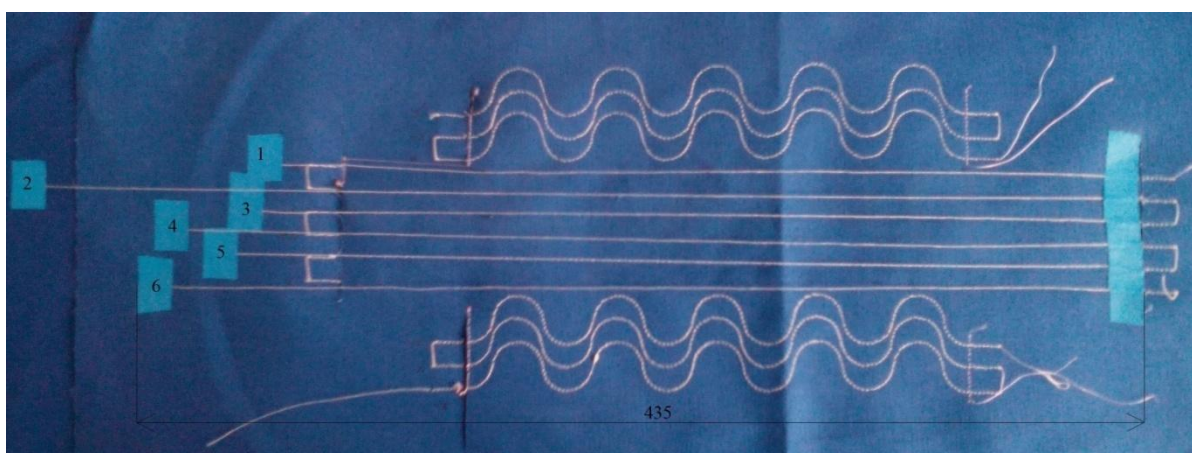
Obr. 3.4 Označení pohybu jehly při vyšívání

Zaměříme se na příklad, kdy se jehla pohybovala ve směru y nebo $-y$. Tento děj byl nejvýraznější při vyšívání motivu úsečky. V tomto případě jsme ze všech měřených vzorků sledovali největší diferenci hodnot odporů. Na grafu 3.11 je vyobrazena situace, kdy byly vzorky vyšity v kombinaci 3 mm steh, nit 25A, jehla Organ 90 na textilní substrát B. Při vyšívání vzorků 1, 3 a 5 se jehla pohybovala směrem $-y$.



Graf 3.11 Porovnání hodnot odporů motivu úsečka z hlediska směru vyšívání výšivky úsečka (3 mm, 53, substrát B, organ 90)

Pro vysvětlení naměřených vyšších hodnot odporů v případě vzorků 2,4 a 6 lze uvažovat dvě možnosti. Prvním možným vysvětlením je, že může docházet k velkému napínání nití při průchodu napínacími kladkami ve vyšívacím stroji, nit je silně namáhaná na tah a mohlo by dojít k poškození (přetržení) vodivých drátků v její struktuře. Druhým zdůvodněním je, že díky rozdílnému napětí nití oproti šití ve směru y, dochází pravděpodobně i k vyšší spotřebě nití, ačkoliv je softwarově trajektorie motivu stále stejná (má stejnou délku v obou směrech). Pro ověření této teorie byl znovu vyšit za použití stejné kombinace materiálů rámeček s motivy vlnka10 a úsečka. Vypárání a přeměření délek nití spotřebovaných na vyšití jednotlivých vzorků je znázorněno na obr. 3.5. Vidíme, že v případě vyšívání směrem y reálně spotřebujeme více nitě, než v případě vyšívání směrem -y. Číselné hodnoty naměřených délek skutečně vyšitých nití jsou uvedeny v tabulce 3.4.



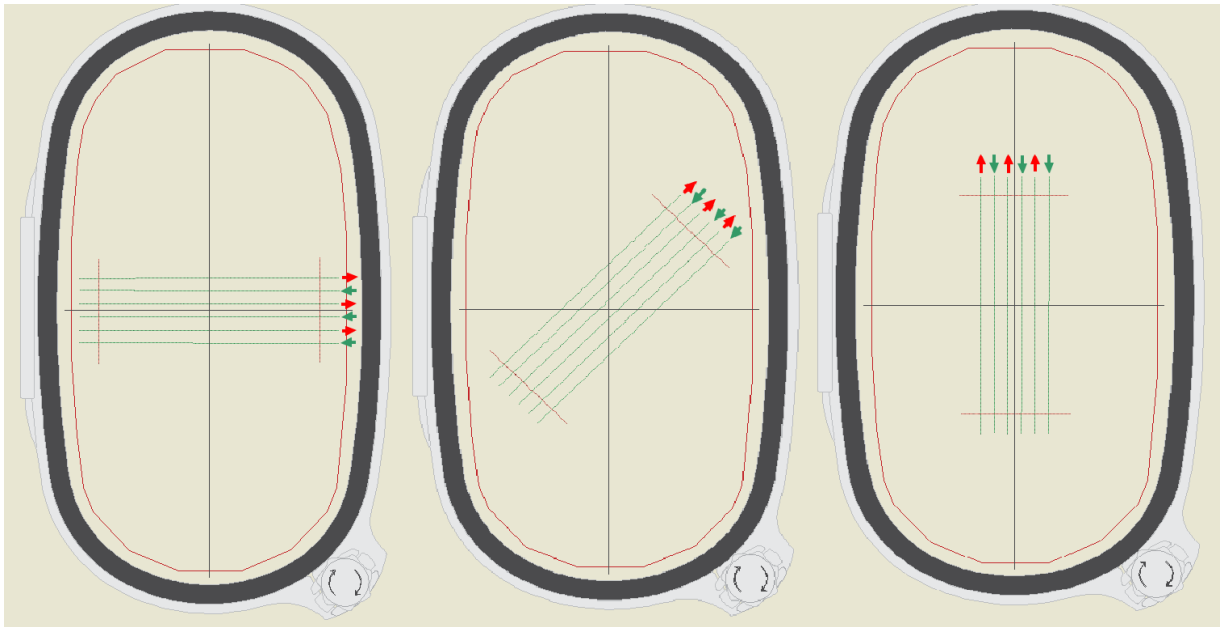
Obr. 3.5 Délky nití po vypárání (motiv úsečka)

Tab. 3.4 Délky reálně spotřebovaných nití pro vyšití vzorků motivu úsečky po vypárání

číslo vzorku výšivky	Délka spotřebované nitě [mm]
1	395
2	490
3	402
4	423
5	405
6	435

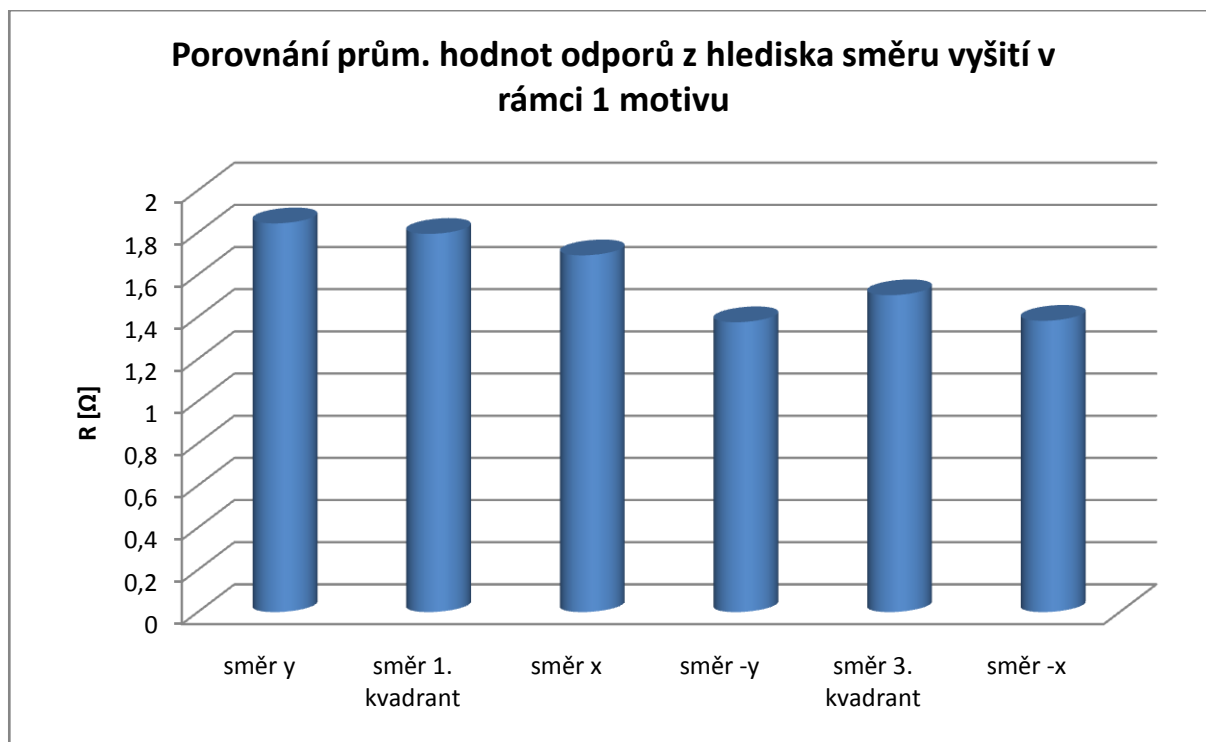
V případě vzorku č. 2 se jedná o nejvyšší naměřenou hodnotu délky spotřebované nitě (tab. 3.4). Po jejím bližším prohlédnutí pod mikroskopem bylo zjištěno zřetelnější narušení struktury způsobené zřejmě větším napínáním strojem při vyšívání. Zjistili jsme, že obě výše uvedená předpokládaná vysvětlení zvýšení hodnot odporů mají pravděpodobně vliv na snížení vodivosti vzorků vyšitých směrem y, ale větší podíl lze přisuzovat větší spotřebě nití při vyšívání směrem y.

Po zjištění těchto výsledků bylo navrženo další měření, které mělo ukázat při kterém směru vyšívání docílíme nejnižší hodnoty odporu trajektorie vyšitého motivu. Rozhodli jsme se vyšívat pouze přímé trajektorie (úsečky), které byly otočeny v souřadnicovém systému vždy o úhel 45° (Obr. 3.6). Šipky v obrázku znázorňují směr vyšítí jednotlivých vzorků.



Obr. 3.6 Vzorky sloužící ke zjištění nejvhodnějšího směru vyšívání vodivými nitěmi

Získali jsme tak sadu tří motivů vzorků vyšitých vždy v jednom směru. U každého vzorku jsme opět naměřili 30 hodnot odporu. Ze všech naměřených hodnot vzorků vyšitých stejným směrem (90 hodnot) byl vypočten aritmetický průměr a získané hodnoty pro všechny směry vyšívání jsou porovnány v grafu 3.12.

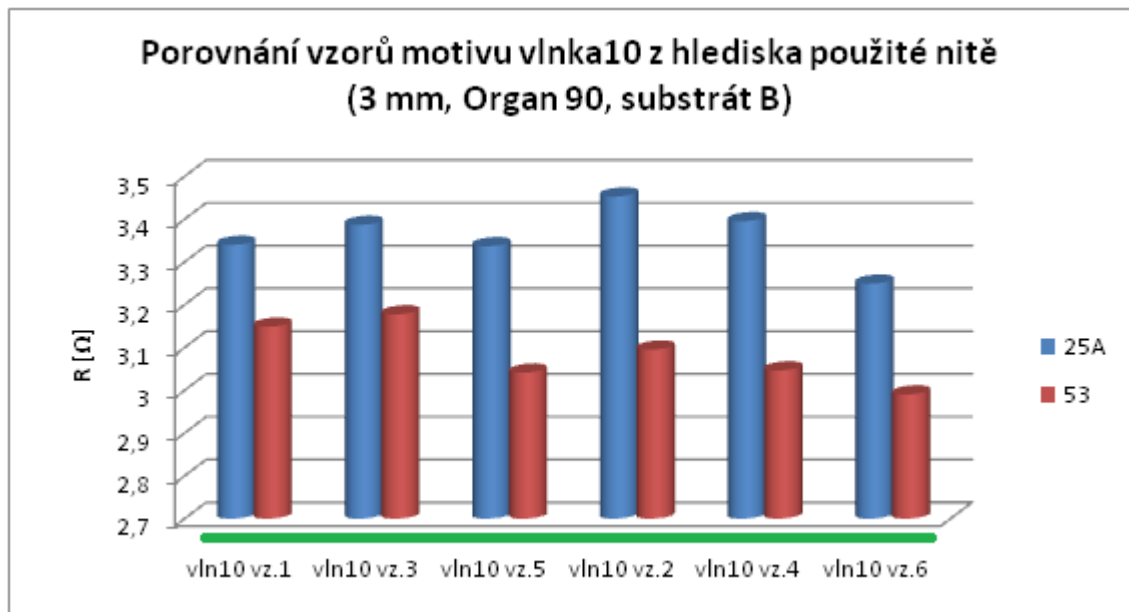


Graf 3.12 Porovnání průměrných hodnot odporů vzorků s různým směrem vyšítí

Jak ukazuje graf 3.12, nejnižších hodnot odporů bylo docíleno při vyšívání ve směru -x a -y. Naopak nejvyšší hodnoty byly naměřeny na vzorcích vyšitých ve směru x a y. Ve směrech šikmých se výsledné hodnoty nepřibližovali k hodnotám nejnižším z důvodu posuvu rámečku ve dvou osách zároveň. U vzorků vyšíváných směrem do 3. kvadrantu byly naměřeny nižší hodnoty odporů, než v případě vzorků vyšíváných ve směru do 1. kvadrantu. V případě směrů do 2. a 4. kvadrantu nelze předpokládat nejnižší hodnoty z důvodu posuvu rámečku kombinací směrů -x a y nebo x a -y. V obou těchto případech lze nalézt jeden ze směrů, ve kterých byly naměřeny jedny z nejvyšších hodnot (x nebo y). Budeme-li tyto výsledky zohledňovat již při návrhu nových trajektorií výšivek můžeme ovlivnit vodivost trajektorie motivu.

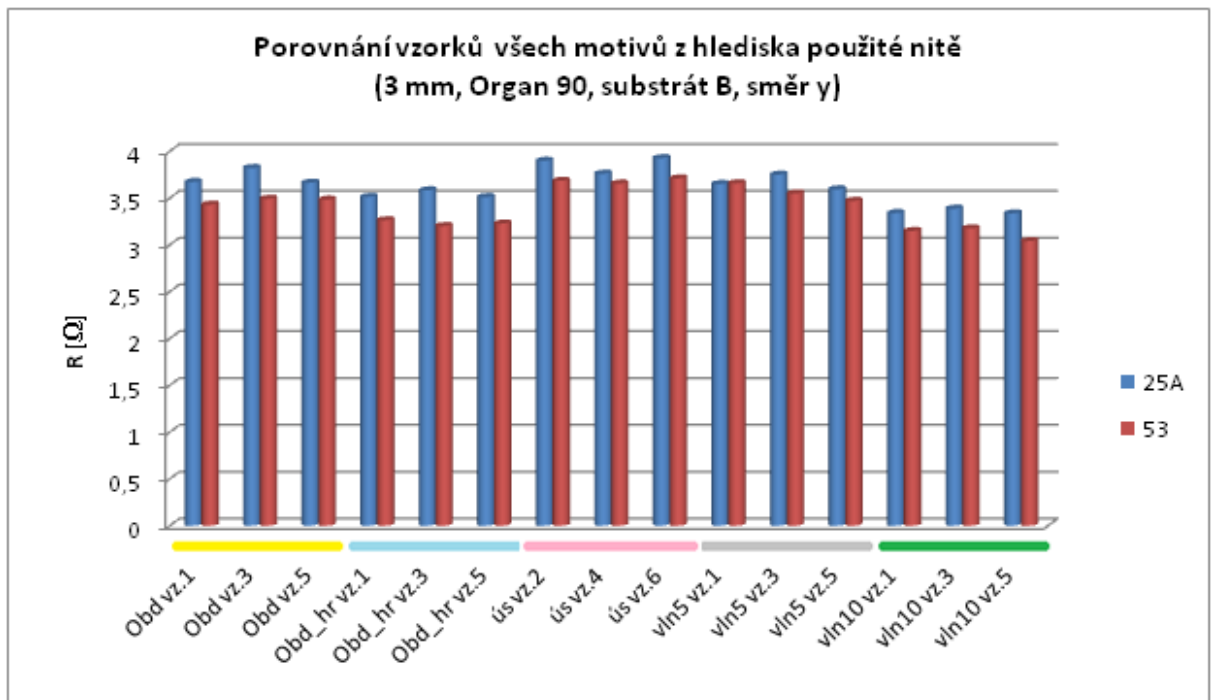
3.4 Vyhodnocení výsledků měření nití 25A a 53 z hlediska použité nití

V následující kapitole předpokládáme, že je již známá kombinace délky stehu, použité jehly a substrátu, na který byl motiv vyšit. V tomto případě máme jediný proměnný parametr a tím je nit, která je k vyšítí použita. Výsledky tohoto měření by měly ukázat, zda je vodivější trajektorie motivu vyšitá nití 25A nebo nití 53.

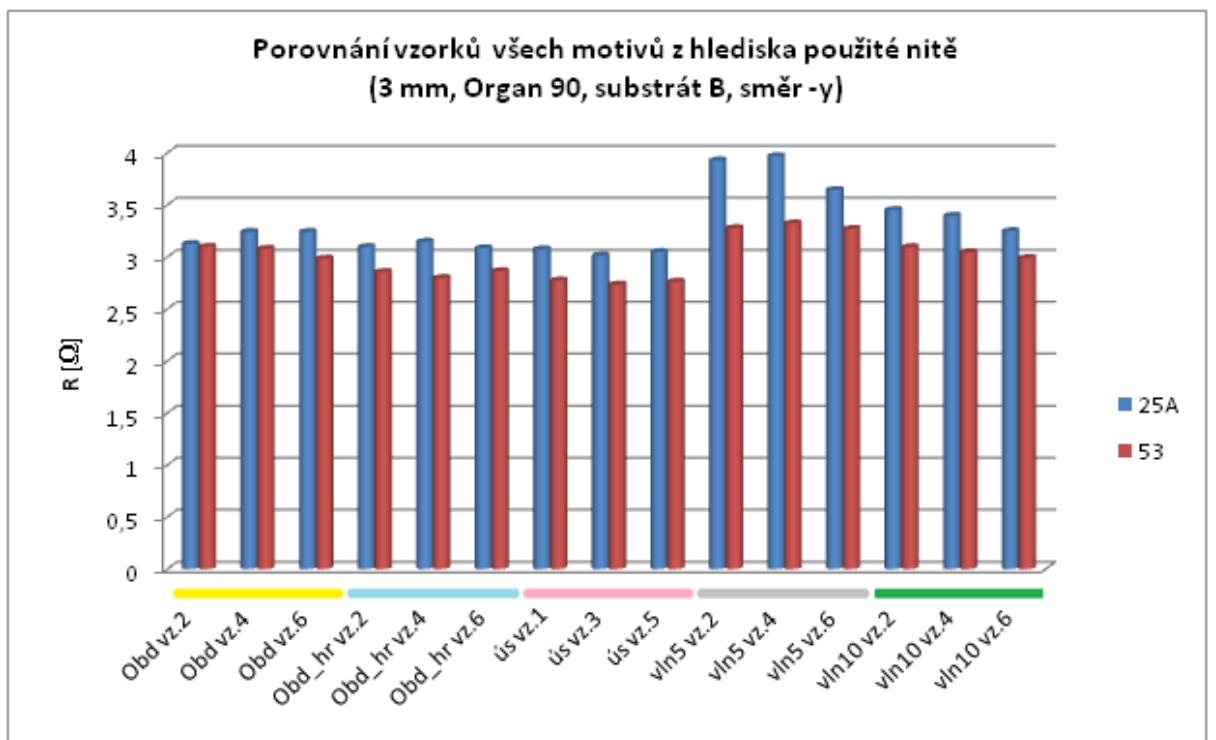


Graf 3.13 Porovnání prům. hodnot odporů vyšitých vzorků motivu vlnka10 (3 mm, Organ 90, subst. B)

Využijeme opět konkrétní příklad (Graf 3.13), kdy jsme se rozhodli vyšívat 3 mm stehem, jehlou Organ 90 na textilní substrát B. U všech 6-ti vzorků (u 100 %) jsme získali nižší průměrné hodnoty odporů při použití nití 53. Hodnoty odporů vzorků vyšitých nití 53 byly vždy minimálně o 0,2 Ω nižší, než v případě vzorků vyšitých nití 25A. Výsledky nám tedy potvrdily předpoklad vycházející z dat udávanými výrobcem, že nit 53 vykazuje menší hodnotu odporu (6,5 Ω /m) než nit 25A (8,9 Ω /m). Tato diference se může zdát zanedbatelná, ale musíme opět počítat s tím, že při vyšívání delších trajektorií by mohlo docházet ke snížení vodivosti. Nit 53 je jemnější (50 tex), než nit 25A (72 tex). Jednotka 1 tex představuje 1 miligram hmotnosti na 1 metr délky nití. Za předpokladu, že má nit 25A hrubší povrchovou strukturu může docházet k vyššímu tření na napínacích kladkách ve vyšívacím stroji, proto by při vyšívání touto nití mohlo docházet k jejich většímu opotřebení.



Graf 3.14 Průměrné hodnoty odporů vzorků všech motivů (3 mm, Organ 90, subst. B, směr y)



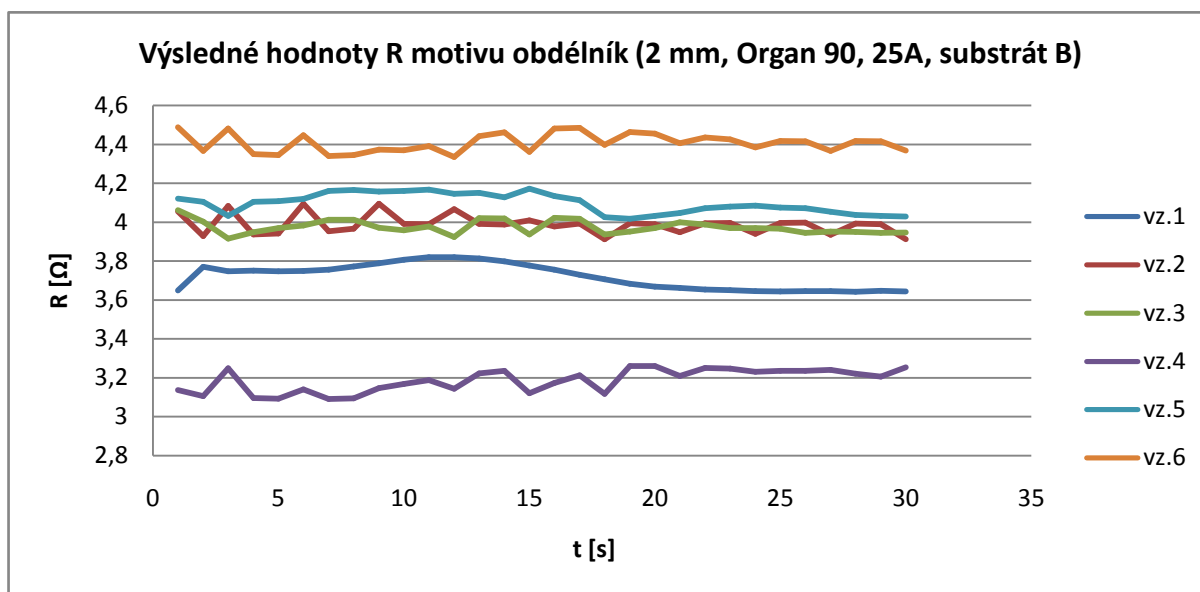
Graf 3.15 Průměrné hodnoty odporů vzorků všech motivů (3 mm, Organ 90, subst. B, směr -y)

Grafy 3.14 a 3.15 potvrzují, že se povedlo dosáhnout nižších průměrných hodnot odporů ve 29 případech ze 30 (96,6 %) při použití nití 53. Po vyhodnocení hodnot odporů se jeví nit 53 vhodnější volbou i ve všech ostatních kombinacích použitých materiálů. Nebylo nutné sestavit souhrnnou tabulku jako v kapitolách 3.1 a 3.2. Lze prohlásit, že při vyšítí výšivky nití 53 docílíme v naprosté většině případů lepší výsledné vodivosti než v případě vyšítí nití 25A.

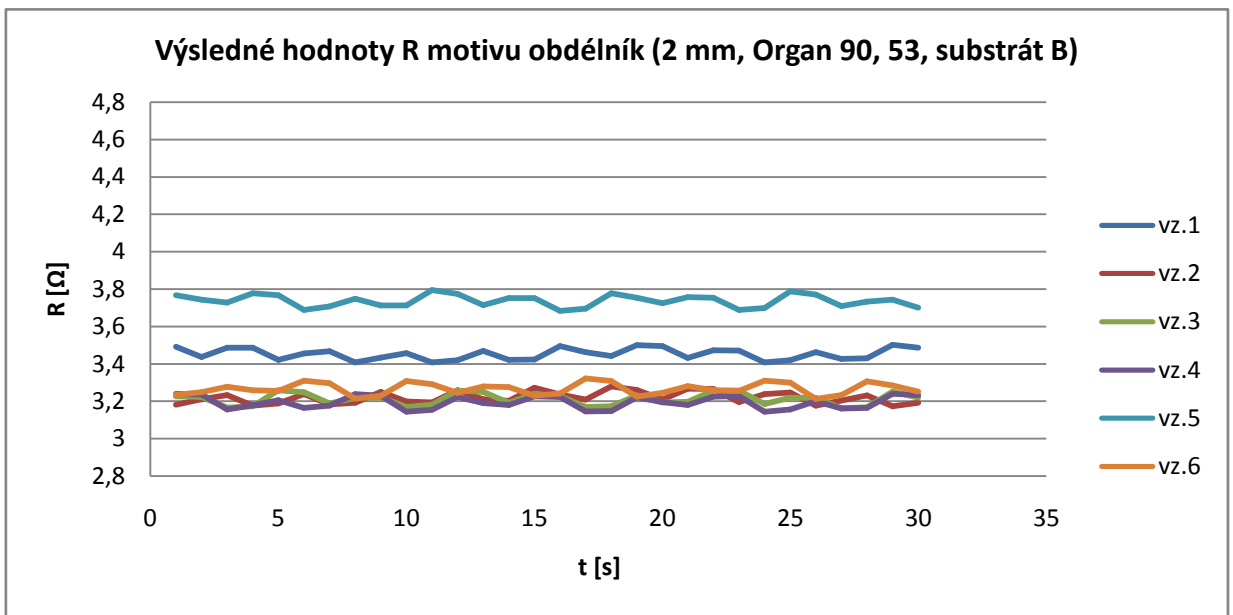
3.5 Vyhodnocení výsledků měření nití 25A a 53 z hlediska rozptylu hodnot

Z důvodu velkého množství dat souvisejících s touto kapitolou jsou veškeré podklady přikládány k diplomové práci v elektronické podobě (příloha D). Na výsledném rozptylu naměřených hodnot odporu vzorku se podílejí všechny faktory (různá jehla, substrát, nit). Záleží nejen na konkrétní kombinaci materiálů, kterou zvolíme, ale i na tvaru motivu.

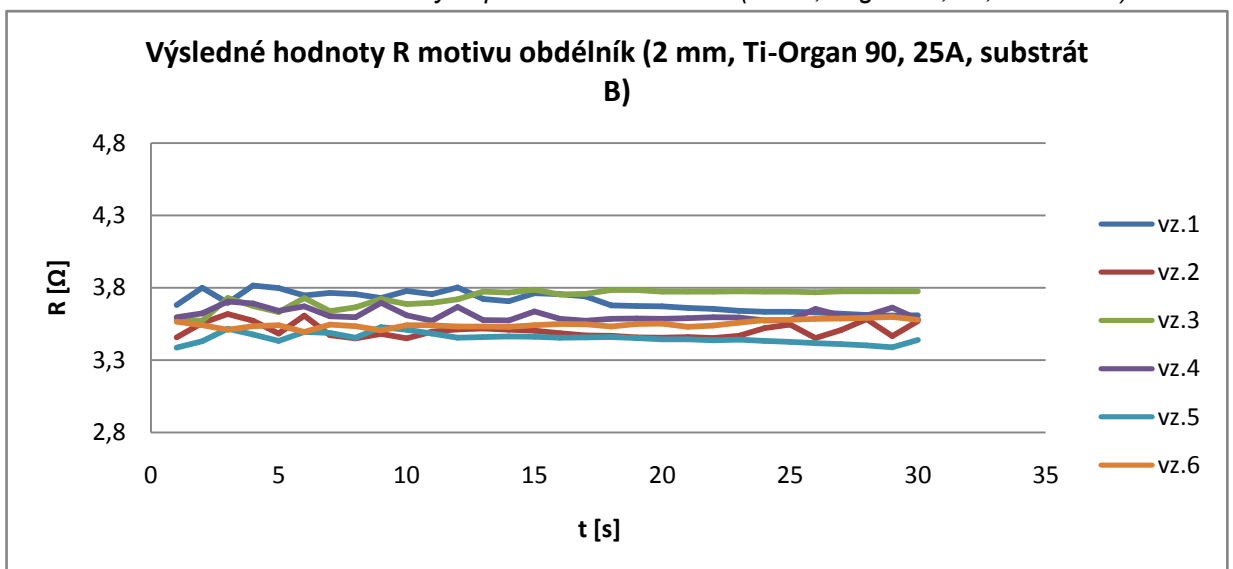
Pro ukázkou vyhodnocení pomocí grafů v příloze D si projdeme příklad všech testovaných výšivek pro délku stehu 2 mm vyšitých na textilní substrát B.



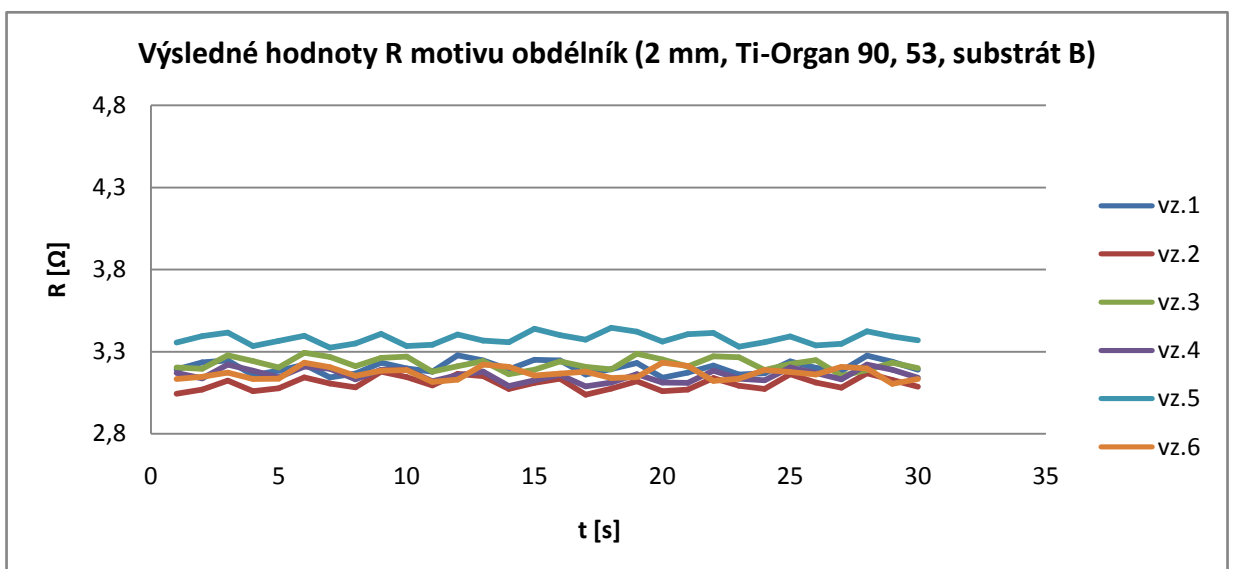
Graf 3.16 Naměřené hodnoty odporu motivu obdélník (2 mm, Organ 90, 25A, substrát B)



Graf 3.17 Naměřené hodnoty odporu motivu obdélník (2 mm, Organ 90, 53, substrát B)



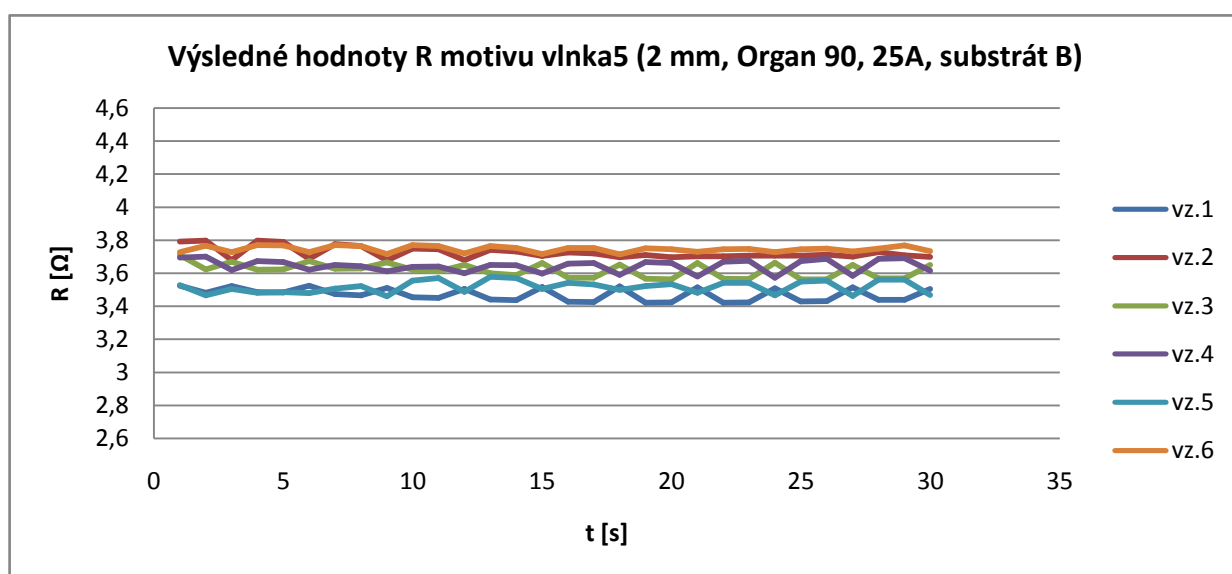
Graf 3.18 Naměřené hodnoty odporu motivu obdélník (2 mm, Ti-Organ 90, 25A, substrát B)



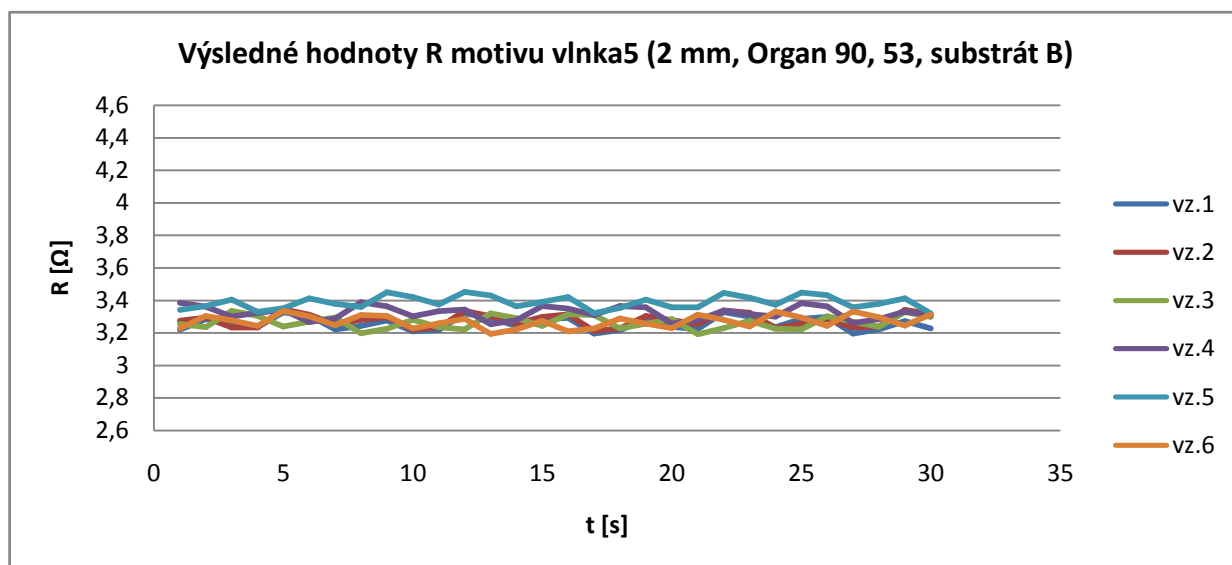
Graf 3.19 Naměřené hodnoty odporu motivu obdélník (2 mm, Ti-Organ 90, 53, substrát B)

Z předchozích grafů (Graf 3.16, 3.17, 3.18 a 3.19) lze vyčíst, že výsledný rozptyl ovlivnila nejvíce volba jehly. V případě motivů vyšitých jehlou Ti-Organ 90 jsme dosáhli menšího rozptylu hodnot než v případě motivů realizovaných jehlou Organ 90. Tato skutečnost byla vypořizována i u motivů tvaru obdélník se zkosenými hranami a úsečka. Všechny tyto motivy byly vyšívány zejména v osách souřadnicového systému (x, y, -x, -y).

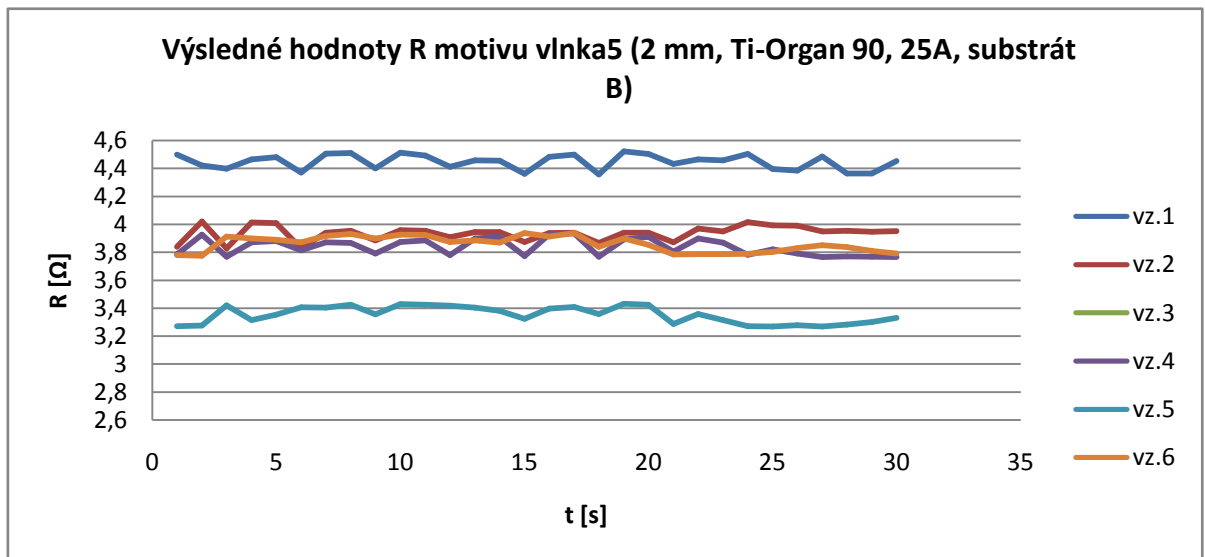
V případě motivů, které byly vyšívány šikmými směry se naopak z pohledu rozptylu naměřených hodnot osvědčila jehla Organ 90 (Grafy 3.20, 3.21, 3.22 a 3.23). Hodnoty odporů trajektorií motivů vyšitých jehlou Ti-Organ 90 měly v případě šikmých směrů vyšívání větší rozptyl. Tato skutečnost byla zjištěna i v případě motivu vlnka10.



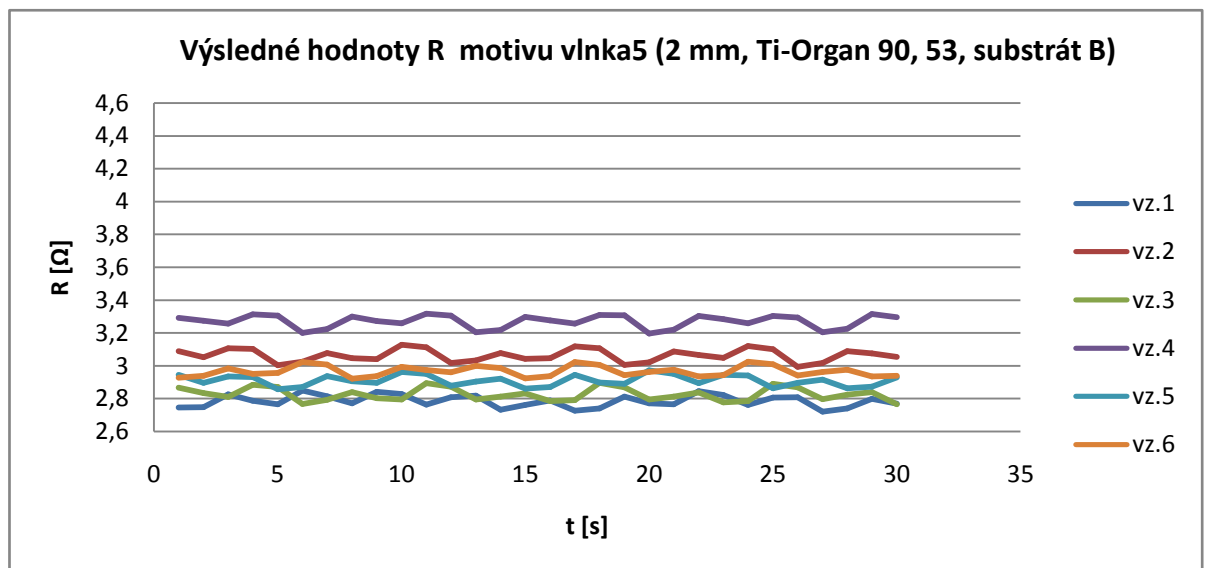
Graf 3.20 Naměřené hodnoty odporu motivu vlnka5 (2 mm, Organ 90, 25A, substrát B)



Graf 3.21 Naměřené hodnoty odporu motivu vlnka5 (2 mm, Organ 90, 25A, substrát B)



Graf 3.22 Naměřené hodnoty odporu motivu vlnka5 (2 mm, Ti-Organ 90, 25A, substrát B)

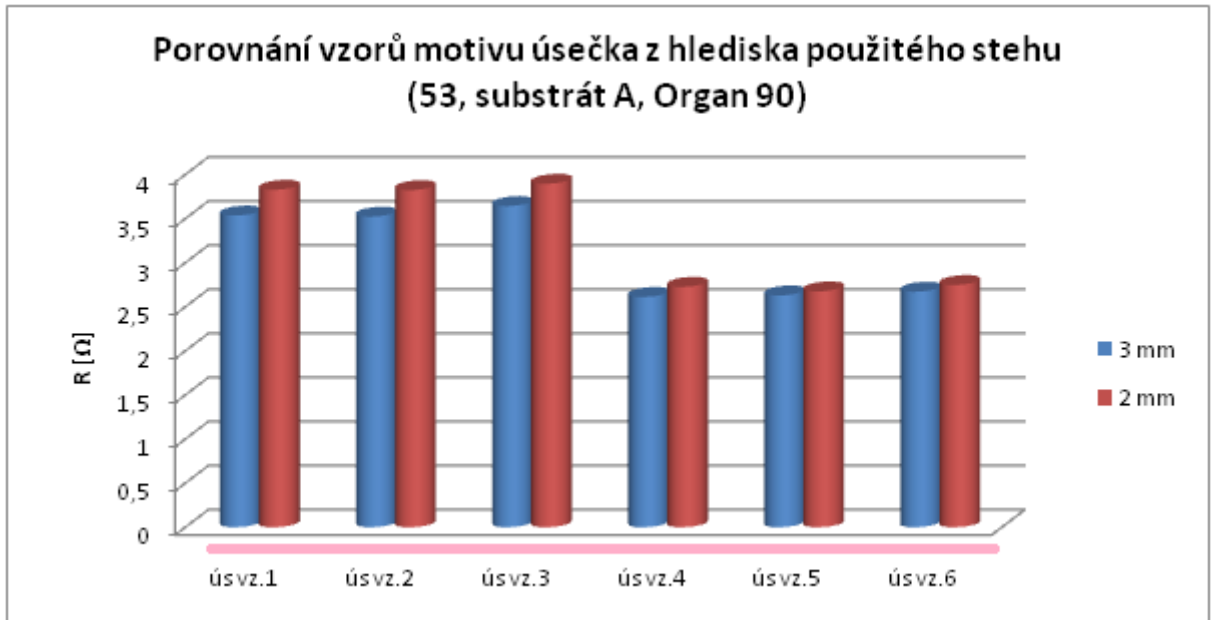


Graf 3.23 Naměřené hodnoty odporu motivu vlnka5 (2 mm, Ti-Organ 90, 53, substrát B)

Skutečnost, že na výsledný rozptyl měla největší vliv použitá jehla, byla platná pouze v tomto konkrétním případě, který slouží jako návod pro vyhodnocování. Pro jiné kombinace dojdeme k různým závěrům. Grafy pro ostatní kombinace použitých materiálů jsou uvedeny v příloze D.

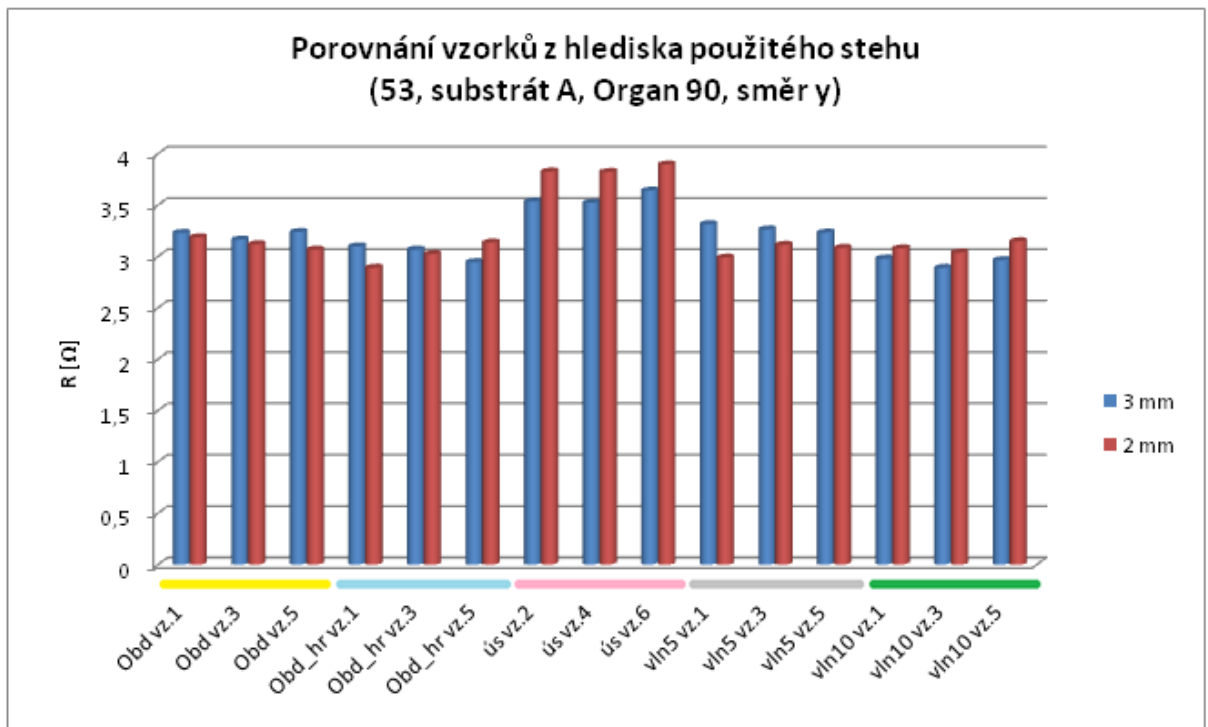
3.6 Vyhodnocení výsledků měření nití 25A a 53 z hlediska použitého stehu

V této kapitole jsme se zaměřili na porovnávání vyšitých trajektorií motivů 2 mm a 3 mm stehem. Platil zde opět předpoklad, že je již známá kombinace ostatních používaných materiálů (jehla, nit, textilní substrát) a rozhodovali jsme se pouze jakou délkou stehu budeme vyšívat, abychom dosáhli nejnižších hodnot odporů vyšitých vzorků.

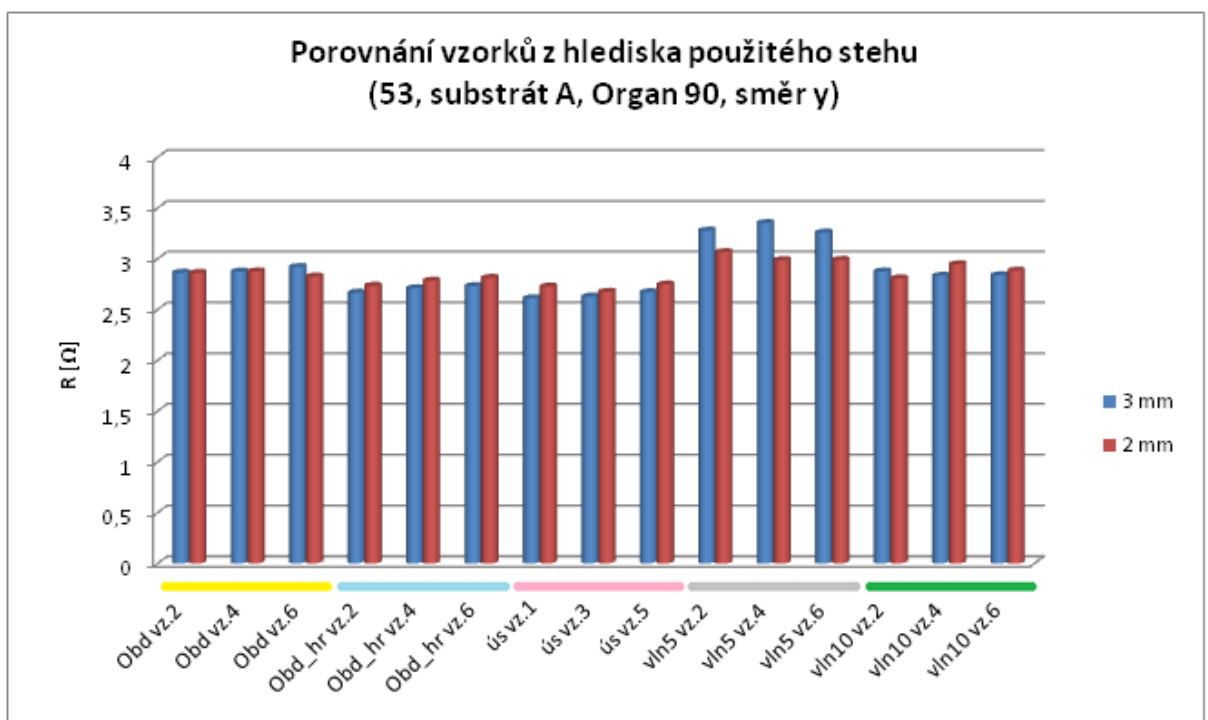


Graf 3.24 Porovnání prům. hodnot odporů vyšitých vzorků motivu úsečka (Organ 90, 53, substrát A)

Graf 3.24 ukazuje porovnání průměrných hodnot odporů vzorků motivu úsečka. Pro zhotovení těchto vzorků byla zvolena kombinace nití 53, jehly Organ 90 a textilního substrátu A. Z výsledků je patrné, že jsme docílili nižších hodnot odporů v případě zvolení 3 mm stehu ve všech 6-ti případech (ve 100%). Z tohoto důvodu je pro danou kombinaci tento steh doporučen.



Graf 3.25 Porovnání prům. hodnot odporů vyšitých vzorů všech motivů (53, Organ 90, sub. A, směr y)



Graf 3.26 Porovnání prům. hodnot odporů vyšitých vzorů všech motivů (53, Organ 90, sub. A, směr -y)

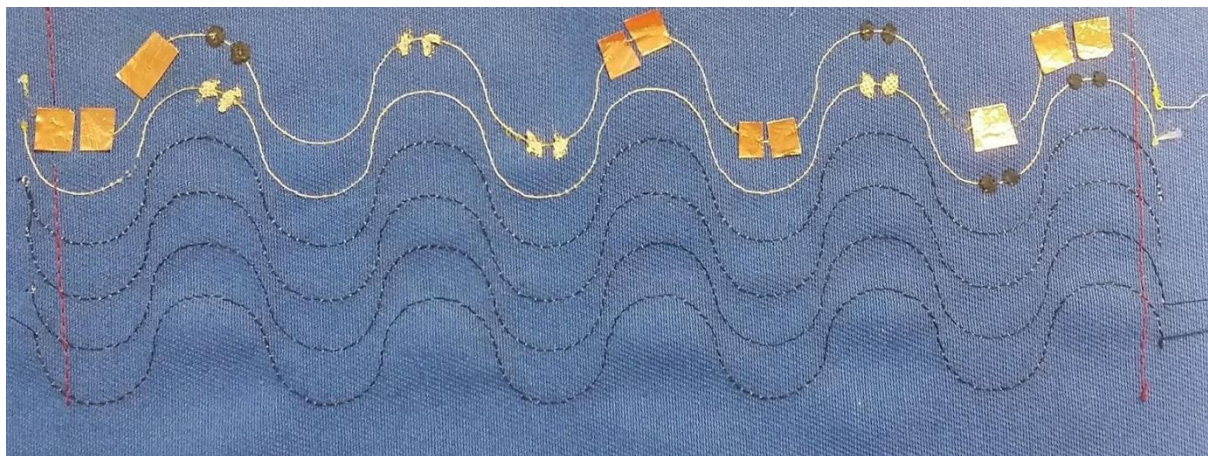
V grafech 3.25 a 3.26 jsou zobrazeny průměrné hodnoty vzorků všech testovaných motivů. Odlišná délka stehů nezpůsobuje ve výsledcích velkou diferenci. Nejzřetelnější rozdíly vykazují motivy úsečka a vlnka5. Motiv vlnka5 je také jediný, u kterého by bylo vhodnější použít 2 mm steh (tab. 3.5). Příčina tohoto poznatku nebyla bohužel ani po důkladnějším prohlédnutí těchto trajektorií zjištěna. Souhrn naměřených hodnot je zařazen v příloze E.

Tab. 3.5 Porovnání výsledných hodnot z hlediska použitého stehu (modře-3 mm, červeně-2 mm)

	Organ 90						Ti-Organ 90					
	substrát A		substrát B		substrát C		substrát A		substrát B		substrát C	
	25A	53	25A	53	25A	53	25A	53	25A	53	25A	53
obd	83%	83%	83%	83%	100%	67%	100%	67%	67%	83%	83%	83%
obd_hr	100%	67%	100%	83%	100%	100%	83%	83%	100%	67%	83%	100%
ús	67%	100%	67%	83%	83%	60%	83%	100%	50%	67%	67%	83%
vln5	67%	100%	83%	83%	83%	100%	83%	100%	60%	67%	67%	100%
vln10	100%	83%	67%	83%	83%	100%	83%	83%	83%	67%	83%	100%

3.7 Vyhodnocení výsledků niti 7A

Největším problémem v případě niti 7A je kontaktování. V její struktuře je pouze jedno vodivé vlákno. Proto bylo vyhodnocování výsledků odporů trajektorií vyšitých touto nití zařazeno do samostatné kapitoly.

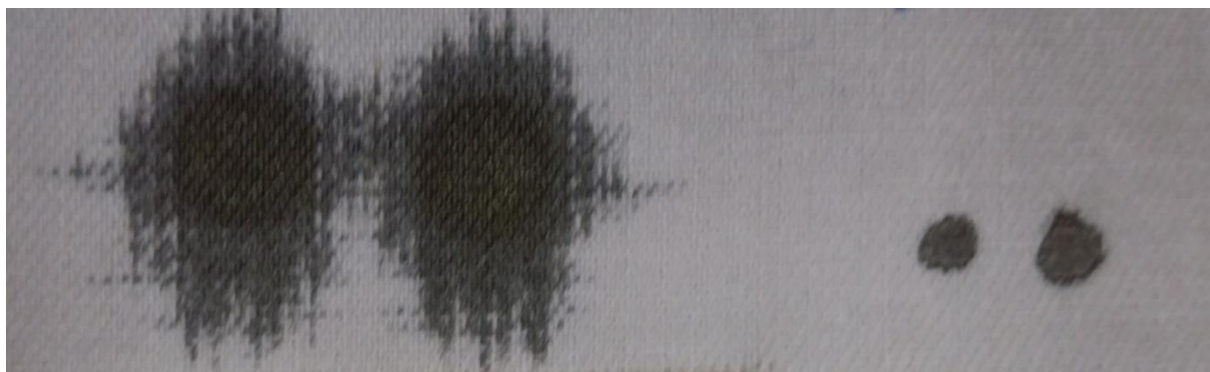


Obr. 3.7 Testované způsoby kontaktování niti 7A

Obrázek 3.7 zobrazuje první testované způsoby kontaktování. Nit byla za účelem zvýšení pravděpodobnosti kontaktu pokryta přídatnými vodivými materiály (měděná lepící páska, různé druhy vodivých lepidel). Díky tomu jsme získali větší stykovou plochu s příkládanými měřicími sondami. Samotným pokrytím povrchu přídatným materiálem se v žádném z testovaných způsobů nepovedlo docílit stabilního kontaktu. Proto byl zvolen jiný způsob, kdy byla odstraněna nevodivá složka ve struktuře niti za pomoci páječky a vodivým

materiálem bylo pokryto pouze samotné vodivé vlákno. Díky tomuto způsobu jsme docílili stabilního kontaktu pouze v případě pokrytí vodivého vlákna stříbrným lepidlem. Tento způsob kontaktování byl zamítnut kvůli velké pravděpodobnosti porušení vodivého vlákna při odstraňování nevodivé složky a také pro manipulaci s textilním substrátem. Zjistili jsme tedy, že kontaktování niti 7A pouze tlakem vlivem magnetických měřicích sond na textilní substrát nelze docílit stabilního kontaktu, který by byl vhodný pro další testování.

Další způsoby kontaktování této niti využívaly nasákavosti její nevodivé složky. Pro tyto účely byly využity dva druhy vodivých inkoustů, které jsou na bázi nanočástic stříbra a jsou primárně využívány v odvětví tištěné elektroniky. Na obr. 3.8 jsou zobrazeny testované inkousty, které byly naneseny na textilní substrát A.



Obr. 3.8 Pokus o nanesení dvou testovaných vodivých inkoustů na textilní substrát A

Inkoust DuPont (vlevo) nevyhověl z důvodu velkého rozpíjení do textilního substrátu. Díky tomu by nebylo možné tento inkoust nanést cíleně na požadovaná místa. Měření za použití čtyřvodičové metody by v tomto případě ztrácelo význam. Pro naše účely byl po tomto testu vybrán vodivý inkoust Paru. Na obr. 3.9 je snímek kontaktu vytvořeného za pomoci vybraného inkoustu. Tento snímek byl pořízen mikroskopem.



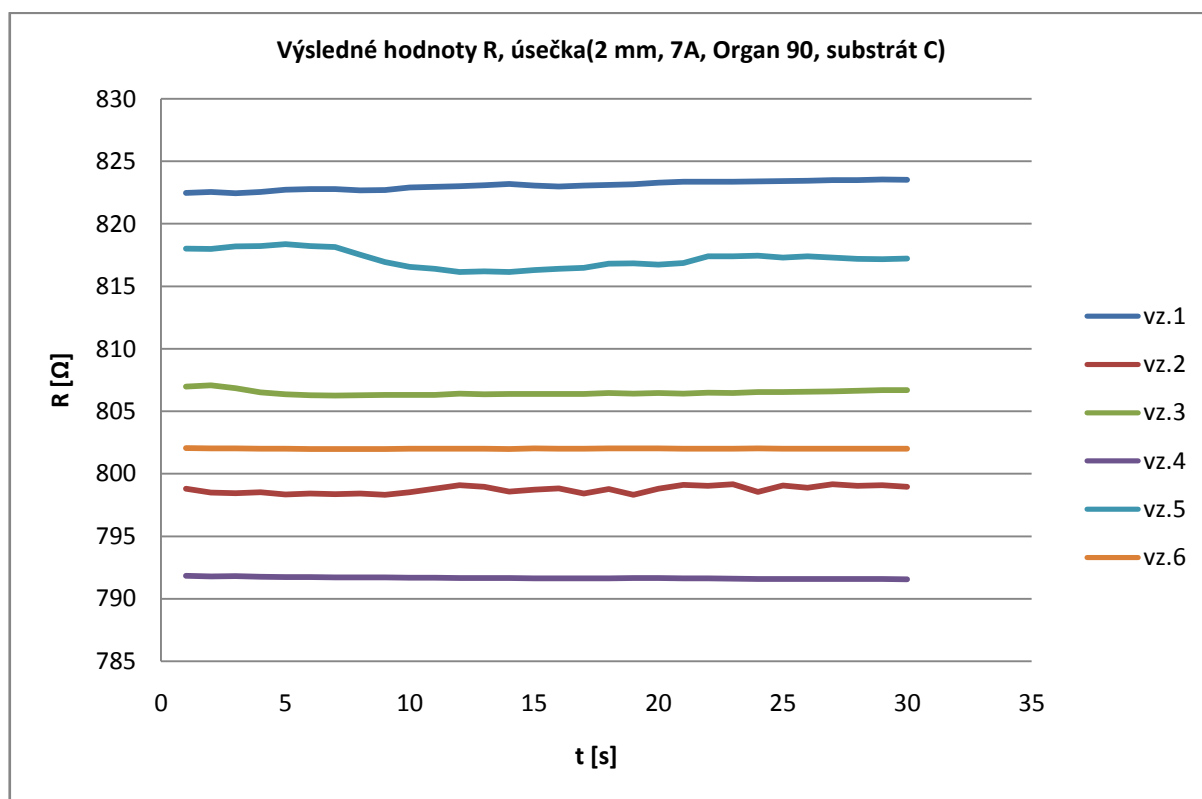
Obr. 3.9 Stabilní kontakt nití 7A vytvořený pomocí vodivého inkoustu

Po nanesení inkoustu bylo nutné jeho vytvrzení. Vzorky s naneseným inkoustem byly umístěny do laboratorní pece, kde byl inkoust vystaven teplotě 140 ° C po dobu 10 minut (Obr. 3.10). Teplota a čas potřebný pro vytvrzení byl získán z technické dokumentace poskytnuté výrobcem.



Obr. 3.10 Textilní substráty s motivy vyšítými nití 7A při procesu vytvrzování vodivého inkoustu

Výsledky získaných naměřených hodnot jsou zaznamenány v grafu 3.27. Měřené výšivky na tomto grafu byly realizovány pomocí kombinace jehly Organ 90, 2 mm stehem a byly vyšity na textilní substrát C.

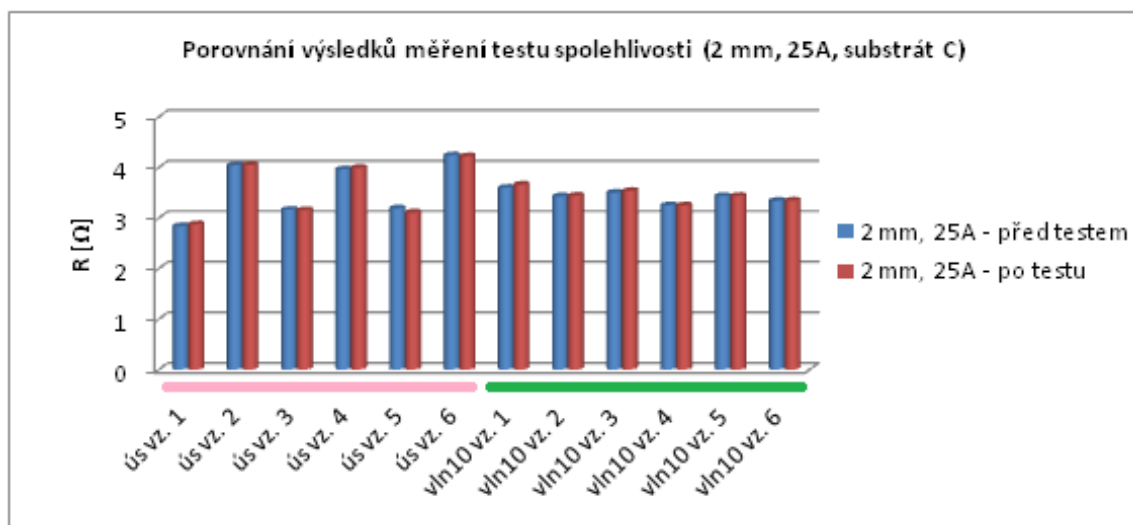


Graf 3.27 Naměřené hodnoty odporů motivu úsečka (2 mm, Organ 90, substrát C)

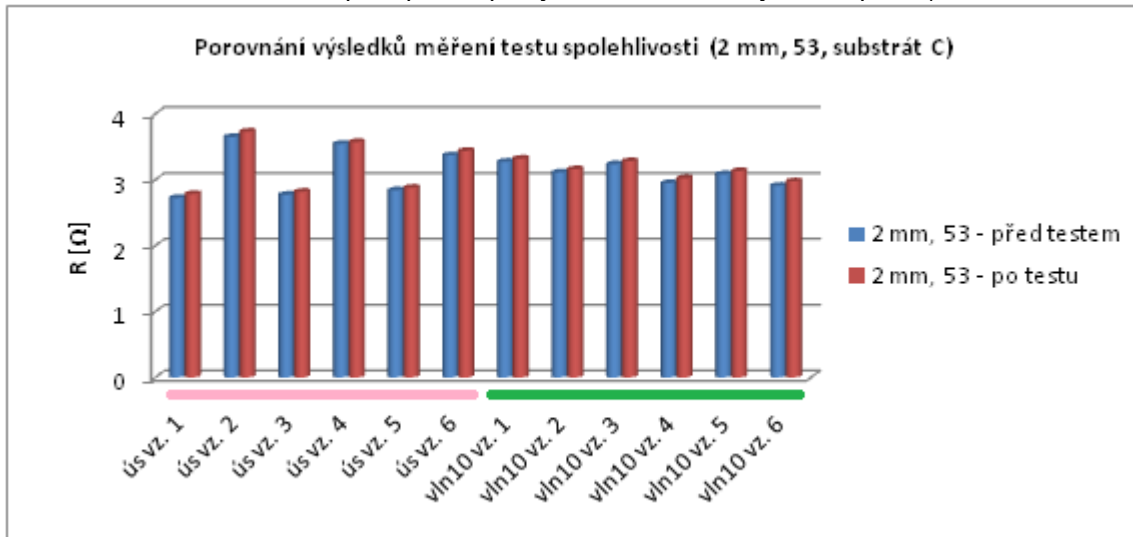
Z grafu 3.27 je zřejmé, že naměřené hodnoty měly velký rozptyl ačkoli byly vyšity stále stejnou kombinací použitých materiálů. Příčinou může být částečné poškození vodivého vlákna při vyšívání trajektorií motivu případně přichází v úvahu odlišné množství vodivé složky v inkoustu, který mohl být zapříčiněn špatnou homogenizací. Druhou variantu považují za pravděpodobnější. Při rozdílném poškození vodivého vlákna by při jeho tloušťce (27 μm) docházelo spíše k přetržení, než k natažení, které by bylo způsobeno napínáním niti ve vyšívacím stroji. Testy v této práci byly provedeny pouze s dvěma různými vodivými inkousty, a proto je dalším doporučením zmapování dnes používaných vodivých kapalných látek, které by se k těmto účelům daly použít. Další možností je tyto látky kombinovat, případně dotovat vodivými materiály.

3.8 Test spolehlivosti nití 25A a 53

Tyto nitě byly na ZČU použity například k vyšívání senzorů na hasičské obleky, proto byl test spolehlivosti zaměřen na jejich teplotní odolnost. Úkolem testu bylo napodobit situaci, kdy bude oblek vystaven teplotě 60 °C po dobu 20 minut. Pro tento experiment byly vybrány motivy úsečka a vlnka10, které byly vyšity oběma druhy nití na všechny testované textilní substráty. Vzorčky byly vyšity jehlou Organ 90 délkami stehů 2 a 3 mm. K simulaci dané situace sloužila laboratorní pec, kam byly testované vzorky umístěny. Nit 7A nebyla v tomto případě testována, jelikož už byla vystavena teplotě 140 °C po dobu 10 minut při procesu vytvrzení vodivého inkoustu.



Graf 3.28 Porovnání hodnot odporů před a po vystavení vzorků zvýšené teplotě (2 mm, 25A, sub. C)



Graf 3.29 Porovnání hodnot odporů před a po vystavení vzorků zvýšené teplotě (2 mm, 53, sub. C)

Grafy 3.28 a 3.29 znázorňují výsledky naměřených hodnot pro vzorky obou motivů určených pro tento test. Ani v jednom případě nedošlo u vodivostí těchto vzorků k žádným změnám, které by způsobila zvýšená teplota. Porovnání ostatních testovaných vzorků je v příloze F, která je k diplomové práci přikládána v elektronické podobě.

4 Závěr

Předkládaná diplomová práce byla zaměřena na možnosti vyšívání využívané v odvětví SMART textilií. Pozornost byla soustředěna na různé kombinace používaných materiálů, přičemž důraz byl kladen na proměnlivost elektrických parametrů s ohledem na uživatelské požadavky. Vhodnou volbou kombinací materiálů můžeme ovlivnit vodivost nebo snížit například rozptyl hodnot odporů na vyšívané trajektorii.

Celkově bylo softwarově navrženo, vyšito a testováno pět tvarem rozdílných motivů, dvě strojní šicí jehly s odlišnou povrchovou úpravou, tři vodivé nitě a tři textilní substráty, na kterých byly výšivky realizovány. Abychom omezili náhodné chyby a vyhodnocení mělo i vypovídající hodnotu, byly výsledné trajektorie motivů vyšity vždy p 6-ti vzorcích. Realizací všech kombinací materiálů vzniklo celkem 1080 trajektorií (vzorků) jednotlivých motivů, každého s délkou 350 mm umístěných do 108 vyšívacích rámečků s průměrnou dobou vyšívání 1 rámečku 15 min. Vyšívání probíhalo stále stejnou rychlostí (5 stehů/s), abychom do procesu nezaváděli další proměnnou. Vyšívání touto rychlostí bylo vhodné pro všechny testované nitě. Všechny vzorky byly proměřeny pomocí čtyřvodičové metody měření odporů. Surová naměřená data jsou uvedena v příloze G. Získané výsledky byly rozděleny do dvou skupin kvůli velmi odlišné vodivosti použitých nití.

V případě nití 25A a 53 se jednalo o zkoumání vlivu rozdílných parametrů textilních substrátů a použitých jehel na výslednou vodivost vyšitých vzorků. Zároveň byly testovány dvě délky stehů (2 mm a 3mm). Na základě výsledků těchto měření nelze vyvodit obecně platné závěry, ale můžeme určit trend či vymežit hranice. V případě použití jiných materiálů může diplomová práce sloužit k porovnání s již otestovanými materiály. Spolehlivost trajektorií motivů byla zaměřena pouze na jejich teplotní odolnost kvůli časové náročnosti návrhu a samotné realizace všech vzorků. Všechny vzorky mohou být využity k dalším testům spolehlivosti (praní, aplikace umělého potu, testy deformace) a jejich výsledné vlastnosti opět porovnány s výsledky této diplomové práce. Po provedení těchto testů můžeme vyhodnotit nežádoucí vlastnosti některých elektricky vodivých nití (např. koroze, křehkost vodivých vláken atd.), který může významně ovlivnit naše konečné hodnocení připravené výšivky. Podobně jako se během této diplomové práce ukázal být podstatný parametr směru posunu vyšívacího rámu.

Nit s označením 7A má podstatně nižší vodivost než výše zmíněné a testované nitě 25A a 53. Hlavním úskalím u této niti byla problematika jejího stabilního kontaktování. Po vyhodnocení všech provedených experimentů lze konstatovat, že není dostatečné ani vhodné nit kontaktovat pouhým zvýšením tlaku v místě styčné kontaktní plochy. Ve většině případů tím docílíme jen stlačení celkové struktury nitě včetně její nevodivé složky, která nám znemožní kontakt s vodivým vláknem. Lepší variantou se ukázalo využít nasákavost materiálu nevodivé složky niti a tím dosáhnout zvýšení vodivosti struktury niti a kontaktu s vodivým vláknem.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] X. Tao, *Smart Fibres, Fabrics and Clothing: Fundamentals and Applications*. Elsevier, 2001.
- [2] „The best smart clothing: From biometric shirts to contactless payment jackets”, *Wearable*. [Online]. Dostupné z: <https://www.wearable.com/smart-clothing/best-smart-clothing>. [Viděno: 19-úno-2018].
- [3] „LincLab | Curve | Linclab, smart, textiles, innovation, wool”. [Online]. Dostupné z: <http://www.curvelive.com/Magazine/Archives/two/LincLab>. [Viděno: 19-úno-2018].
- [4] „Edema · Ohmatex”, *Ohmatex*. .
- [5] „Gerbing.CZ - Elektricky vyhříváné oblečení”. [Online]. Dostupné z: <http://www.gerbing.cz/show.php?show=124>. [Viděno: 07-dub-2018].
- [6] its COOL, *5 Innovative Smart Clothing to Look Out For in 2017*. .
- [7] „OVERLAND magazine - Adventure Motorcycle Travel”, *OVERLAND magazine*. [Online]. Dostupné z: <https://overlandmag.com/>. [Viděno: 23-dub-2018].
- [8] „Předmět: Stroje a zařízení v oděvní výrobě. Strojní šicí jehla, povrchové úpravy yjehel Nové trendy jehel. Ing. Katarína Želová, Ph.D. - PDF”. [Online]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/14722848-Predmet-stroje-a-zarizeni-v-odevni-vyrobe-strojni-sici-jehla-povrchove-upravy-yjehel-nove-trendy-jehel-ing-katarina-zelova-ph-d.html>. [Viděno: 22-dub-2018].
- [9] „Jehla pro šicí stroj a její části | Šicí stroj.cz Šicí stroj.cz | Šicí stroje, overlocky, coverlocky”. [Online]. Dostupné z: <http://www.sici-stroj.cz/casti-jehly-pro-sici-stroj/>. [Viděno: 19-úno-2018].
- [10] „univerzální jehly pro šicí stroj - Kůže MIX č. 90 až 100 | ŠICÍ STROJE VERONICA”. [Online]. Dostupné z: <https://www.sici-stroje.cz/jehly-pro-sici-stroj-kuze-mix>. [Viděno: 23-dub-2018].
- [11] Vicente, „All about needles in production of luxury Brands”, *Create Fashion Brand*, 19-říj-2016. .
- [12] „Konstrukce a povrchové úpravy strojních šicích jehel”. [Online]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/konstrukce-a-povrchove-upravy-strojnich-sicich-jehel.html>. [Viděno: 19-úno-2018].
- [13] „Druhy textilních materiálů - ppt stáhnout”. [Online]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3409618/>. [Viděno: 22-dub-2018].
- [14] „Types Of Polyester & Polyester Yarn With Its Manufacturing Process & Application”. [Online]. Dostupné z: <http://www.teonline.com/knowledge-centre/polyester-manufacturing.html>. [Viděno: 22-dub-2018].
- [15] „Kevlar® Para-Aramid: Lightweight, Durable, and Strong | FIBER-LINE®”. [Online]. Dostupné z: <https://www.fiber-line.com/en/fibers/kevlar/>. [Viděno: 22-dub-2018].
- [16] „Z historie čalounických materiálů - tkané textilie | Nábytek-dnes.cz”. [Online]. Dostupné z: <http://www.nabytek-dnes.cz/z-historie-calounicky-ch-materialu-tkane-textilie-p144>. [Viděno: 23-dub-2018].
- [17] „Druhy stehů a švů. Spojovací proces - PDF”. [Online]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/7703202-Druhy-stehu-a-svu-spojovaci-proces.html>. [Viděno: 14-kvě-2018].
- [18] „BRAŠNÁŘSKÉ VÝROBKY”. [Online]. Dostupné z: http://www.brasnarske-vyrobky.cz/Druhy-stehu-a6_3.htm. [Viděno: 14-kvě-2018].
- [19] www.tex-expert.cz, „Jak vybrat vyšívací stroj”, *TexExpert*. [Online]. Dostupné z: <https://www.tex-expert.cz/jak-vybrat-vysivaci-stroj>. [Viděno: 14-kvě-2018].
- [20] „BERNINA 830 NG – Sew Much More - Austin, Texas”. [Online]. Dostupné z: <https://sewaustin.com/products/bernina-830-ng>. [Viděno: 23-dub-2018].
- [21] „Vyšívací stroje”, *Sewi šicí stroje*. [Online]. Dostupné z: <http://www.sicistroje.biz/vysivaci-stroje>. [Viděno: 23-dub-2018].
- [22] „Kelvin (4-wire) Resistance Measurement | DC Metering Circuits | Electronics Textbook”. [Online]. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-8/kelvin-resistance-measurement/>. [Viděno: 23-dub-2018].
- [23] „Měření napětí a proudu”. [Online]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/elektronika/kap4/4_1.html. [Viděno: 23-dub-2018].
- [24] R. H. Gong, *Specialist Yarn and Fabric Structures: Developments and Applications*. Elsevier, 2011.
- [25] „E-Textiles For Wearability: Review Of Integration Technologies | Textile World”. [Online]. Dostupné z: <http://www.textileworld.com/textile-world/features/2010/04/e-textiles-for-wearability-review-of-integration-technologies/>. [Viděno: 24-dub-2018].
- [26] P. D. H. Kadoglu, „Conductive Yarns and their Use In Technical Textiles”, *Technical Textiles*. .

Přílohy

Veškeré přílohy jsou k této diplomové práci přikládány v elektronické podobě, jelikož se jedná o velké množství dat.