

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra technologií a měření

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Kontaktování chytrých textilií

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Martin ČECHURA
Osobní číslo: E16B0104P
Studijní program: B2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Komerční elektrotechnika
Téma práce: Kontaktování chytrých textilií
Zadávající katedra: Katedra technologií a měření

Zásady pro vypracování

1. Popište aktuální vývoj chytrých textilií a jejich aplikace.
2. Popište dostupné způsoby kontaktování elektronických prvků v chytrých textiliích.
3. Navrhněte a zrealizujte vzorky kontaktů na textilních substrátech.
4. Proměřte elektrické parametry jednotlivých kontaktů a proveďte kritické zhodnocení.

Rozsah bakalářské práce: 30 – 40 stran
Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická


Seznam doporučené literatury:

1. L. VAN LANGENHOVE. Smart textiles for medicine and healthcare: materials, systems and applications. Cambridge, England: Woodhead, 2007. ISBN 978-184-5690-274
2. KONCAR, Vladan, ed. Smart Textiles and Their Applications. Woodhead Publishing, 2016. ISBN 9780081005743
3. Smart textiles. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2017. ISBN 978-3-319-50123-9
4. LANGENHOVE, Lieva van. Advances in smart medical textiles: treatments and health monitoring. Waltham, MA: Elsevier, 2015. ISBN 978-178-2423-799


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

Datum zadání bakalářské práce: 5. října 2018
Termín odevzdání bakalářské práce: 13. června 2019

V Plzni dne 5. října 2018


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




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

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce se zabývá popisem aktuálního vývoje chytrých textilií a jejich aplikace. V bakalářské práci jsou popsány dostupné způsoby kontaktování elektronických prvků v chytrých textiliích a návrh vzorků kontaktů na textilních substrátech izolovanou vodivou nití. Vybrané metody kontaktování jsou tisk, svařování, Amphenol FCI konektor, Crimpflex konektor a pájení. Další část práce se zabývá měřením elektrických parametrů jednotlivých typů kontaktů. Vybrané metody jsou hodnoceny čtyřbodovým měřením pro zjištění kontaktního odporu a hodnoceny aplikací vyšších hodnot proudu a následné měření termokamerou. Závěr bakalářské práce je o kritickém zhodnocení naměřených parametrů jednotlivých kontaktů. Amphenol FCI konektor a Svařování vykazuje 100% účinnost funkčního nakontaktování. Nejnižší kontaktní odpor byl naměřen u Amphenol FCI konektoru. Měření zkouškou přiložením vyšších proudů bylo prováděno za účelem ověření, zda-li v oblasti kontaktu nevznikají horká místa. Měření bylo ověřeno, že všechny vzorky jsou odolné proti přiloženým proudům.

Klíčová slova

Inteligentní textilie, e-textilie, chytré textilie, kontaktování, textilní připojení,

Abstract

This bachelor thesis deals with description of current development of smart textiles and their application. The bachelor thesis describes available methods of contacting electronic elements in smart textiles and proposal contact samples on textile substrates with insulated conductive thread. Selected methods of contacting are the metal snap fastener, resistance welding, Amphenol FCI connector, Crimpflex connector and soldering. The next part deals with the measurement of electrical parameters of individual types of contacts. Selected methods of measurement are a 4-wire contact resistance measurement and test of contact by applying higher current values and subsequent thermal imager measurements. The conclusion of the thesis is about critical evaluation of measured parameters of individual contacts. Amphenol FCI connector and Welding bring 100 % functional contacting efficiency. The lowest contact resistance was measured at the Amphenol FCI connector. By measuring the application of higher values, it was verified that all samples were resistant to the applied currents without creation of any hot spots.

Key words

Smart Textiles, E-Textiles, Smart Textiles, Contacting, Textile Connections,

Prohlášení

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

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

.....
podpis

V Plzni dne 10.6.2019

Martin Čechura

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Janu Řebounovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, trpělivost, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 AKTUÁLNÍ VÝVOJ CHYTRÝCH TEXTILIÍ A JEJICH APLIKACE	11
1.1 ROZDĚLENÍ PODLE ZPŮSOBU INTEGRACE DO STRUKTURY TEXTILIE.....	11
1.1.1 <i>Wearables - nositelná elektronika</i>	11
1.1.2 <i>Textil jako nosič modulů</i>	11
1.1.3 <i>Integrace modulů do textilu</i>	12
1.1.4 <i>Všechny prvky integrované do látky</i>	12
1.2 VÝVOJ CHYTRÝCH TEXTILIÍ.....	13
1.3 APLIKACE CHYTRÝCH TEXTILIÍ	14
1.3.1 <i>Zdravotnictví</i>	14
1.3.2 <i>Ochranné obleky</i>	15
1.3.3 <i>Sportovní oblečení</i>	16
1.3.4 <i>Sportovní obuv</i>	19
2 ZPŮSOBY KONTAKTOVÁNÍ ELEKTRONICKÝCH PRVKŮ V CHYTRÝCH TEXTILIÍ	20
2.1 VODIVÉ TEXTILNÍ NITĚ A PŘÍZE	20
2.1.1 <i>Pokovené nevodivé vlákno</i>	20
2.1.2 <i>Opřádání kovovým drátkem (Metal-wrapped yarn)</i>	21
2.1.3 <i>Izolované kovové vlákno (Metal-filled yarn)</i>	21
2.1.4 <i>Kovová příze (Metal yarn)</i>	22
2.1.5 <i>Staplové vodivé vlákno</i>	23
2.2 VODIVÉ TEXTILIE	23
2.2.1 <i>Netkaná textilie</i>	23
2.2.2 <i>Pletenina</i>	24
2.2.3 <i>Vodivá tkanina</i>	25
2.3 DOSTUPNÉ TECHNOLOGIE KONTAKTOVÁNÍ VODIVÝCH TEXTILIÍ.....	26
2.3.1 <i>Odporové svařování</i>	26
2.3.2 <i>Ultrazvukové svařování</i>	27
2.3.3 <i>Kontaktování pájením</i>	28
2.3.4 <i>Přešití</i>	29
2.3.5 <i>Textilní zařezávací krimpy</i>	30
2.3.6 <i>Vodivý inkoust</i>	32
2.3.7 <i>Vodivý suchý zip</i>	33
3 NÁVRH A REALIZACE KONTAKTŮ NA TEXTILNÍCH SUBSTRÁTECH...	34
3.1 TESTOVACÍ MOTIV.....	35
3.2 KONTAKTOVÁNÍ PLOŠEK	36
3.3 REALIZACE KONTAKTŮ	37
3.3.1 <i>Kovový nýtovací druk</i>	38
3.3.2 <i>Kontakt Nicomatic Crimpflex™</i>	39

3.3.3	<i>Amphenol FCI konektor</i>	40
3.3.4	<i>Svařování</i>	41
3.3.5	<i>Kontaktování pájením</i>	42
3.3.6	<i>Přešití</i>	43
4	MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH PARAMETRŮ JEDNOTLIVÝCH KONTAKTŮ A KRITICKÉ ZHODNOCENÍ	44
4.1	MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH ODPORŮ	44
4.1.1	<i>Dvoubodové měření elektrických odporů dráhy ploška – kontakt</i>	45
4.1.2	<i>Čtyřvodičové měření elektrických odporů</i>	46
4.2	ZKOUŠKA KONTAKTŮ APLIKACÍ VYŠŠÍCH HODNOT PROUDU A MĚŘENÍ TERMOKAMEROU	48
	ZÁVĚR	53
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	55

Úvod

Hlavní směry vývoje elektroniky je možné sledovat například v neustálém zmenšování elektronických komponent nebo ve vývoji chytrých textilií a jejich stále častějšímu uvedení do běžného života. Vývoj došel tak daleko, že dnes je aktuálním tématem elektronika implementována na textil, či bezdrátové elektronické prvky nositelné na těle. Obě tyto skupiny mají svá opodstatnění a tato práce se zabývá první skupinou, v dnešní době velmi rozvíjenou částí elektroniky.

Práce je rozdělena na čtyři části. První část představuje chytré textilie, popisuje jejich historický vývoj a aktuální možná uplatnění. Druhá část popisuje příklady vytváření vodivých cest na textiliích, které jsou podstatou vzniku e-textilií a nejčastěji se realizují vodivou nití aplikovanou do textilie vetkáním, vpletením či vyšíváním. Popsány jsou různé druhy textilií a dostupné způsoby kontaktování elektronických prvků v chytrých textiliích. Třetí část je zaměřena na praktický návrh a realizaci vzorků kontaktů na textilních substrátech a čtvrtá část se zabývá měřením elektrických parametrů jednotlivých kontaktů včetně vyhodnocení získaných dat.

Cílem práce je seznámení s možnostmi kontaktování textilií s vyšitou cestou izolovanou vodivou nití. Tato nit se vyznačuje svojí bezpečností, ale naopak je komplikované kontaktování elektrických přívodů nebo elektrických modulů. Cílem je realizace spojů různými technikami, následné měření parametrů a výběr nejvhodnější metody.

Seznam symbolů a zkratk

Ag	.....	Stříbro
Cu	.....	Měď
DPS	.....	Deska plošných spojů
EKG	.....	Elektrokardiograf
EMG	.....	Elektromyografie
FCI	.....	Framatone Connectors International
IR	.....	InfraRed
LED	.....	Light Emitting Diode
PCM	.....	Polymer matrix composite
PVC	.....	Polyvinylchlorid
PES	.....	Polyester
Pu	.....	Polyuretan
SS	.....	Stejnoseměrný

1 Aktuální vývoj chytrých textilií a jejich aplikace

Inteligentní textilie v dnešní době zahrnují velké spektrum pokročilých materiálů a výrobků. Takové textilie představují kombinaci pokročilých materiálů, technologií a zároveň textilu. Označení inteligentní textilie představuje textilie se specifickou strukturou materiálu, příkladem mohou být PCM materiály. Druhou skupinou jsou chytré textilie, které mají například elektrickou či další funkcionalitu. Chytré textilie lze dělit do tří kategorií: pasivní smart textilie, aktivní smart textilie a ultra smart textilie. Práce se bude zabývat popisem smart textilií, přesněji popisem e-textilií, které představují implementování elektroniky do struktury látky.

1.1 Rozdělení podle způsobu integrace do struktury textilie

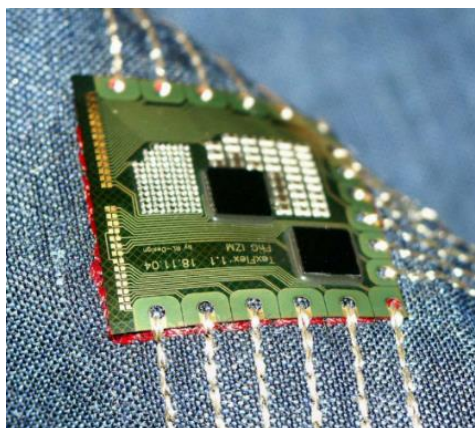
Z hlediska integrování do struktury textilie se e-textilie dělí do čtyř skupin:

1.1.1 Wearables - nositelná elektronika

Wearables neboli nositelná elektronika označuje skupinu elektrických zařízení, které jsou nositelné při sobě nebo přímo na těle; mohou být umístěné v kapse, na ruce nebo třeba na obličeji. Komunikace zařízení s okolím a přenos dat je zpravidla zajištěn bezdrátově. Příkladem mohou být chytré hodinky, které pomáhají sledovat zdravotní stav svého majitele nebo zařízení jako je např. Google Glass [1], které může například navigovat či fotografovat.

1.1.2 Textil jako nosič modulů

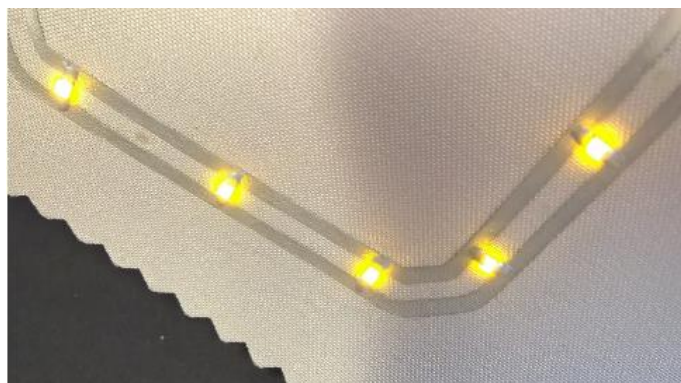
Jedná se o skupinu e-textilií, kde textil slouží jako nosič konvenčních elektronických modulů, které jsou umístěné na textili. Elektronické moduly mohou být umístěny do pouzdra na textilním výrobku, nebo může být osazená DPS přímo integrována na látku (Obr. 1) a enkapsulovaná například zalitím silikonem.



Obr. 1 Osazená DPS integrovaná na látku (převzato z [2])

1.1.3 Integrace modulů do textilu

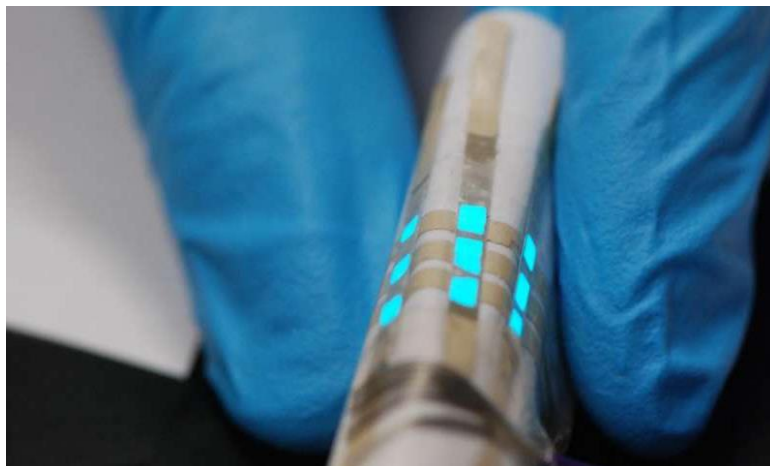
Konvenční prvky jsou integrované do textilie, propojení mezi prvky je zajištěno textilně a to vodivou nití nebo například vodivým inkoustem (Obr. 2). Na rozdíl od 1.1.2 je toto řešení jen pro jednotlivé prvky a ne pro celá DPS.



Obr. 2 Konvenční LED dioda připevněný vodivým lepidlem k vodivé cestě z vodivého inkoustu (převzato z [3])

1.1.4 Všechny prvky integrované do látky

Nejmladší skupina dělení z hlediska dělení do struktury textilie. Veškeré elektrické prvky jsou integrovány přímo na nebo do vlákna textilií použitím pružných a lehkých komponent (Obr. 3). Příkladem lze uvést zabudování LED diod a fotodiod do vláken. Když se na konec vláken přivede napětí, tak se diody rozsvítí nebo detekují světlo v případě fotodiod. Integrovaná takto vzniklá vlákna jsou dostatečně pružná a trvanlivá, aby mohla být použita v textilií, mohla se prát a mohlo se nimi pracovat jako s běžnou textilií [4].



Obr. 3 Svítící oblečení vytvořené všemi prvky integrovanými na vlákna (převzato z [4])

1.2 Vývoj chytrých textilií

Na konci 19. století začali lidé kombinovat elektřinu s oděvy a šperky. Vznikaly osvětlené náhrdelníky, klobouky a brože. Příkladem může být taneční skupina Electric Girl Lighting Company (Obr. 4), kde tanečnice měly své oděvy osvětleny [5].



Obr. 4 Osvětlené šaty taneční skupiny (převzato z [6])

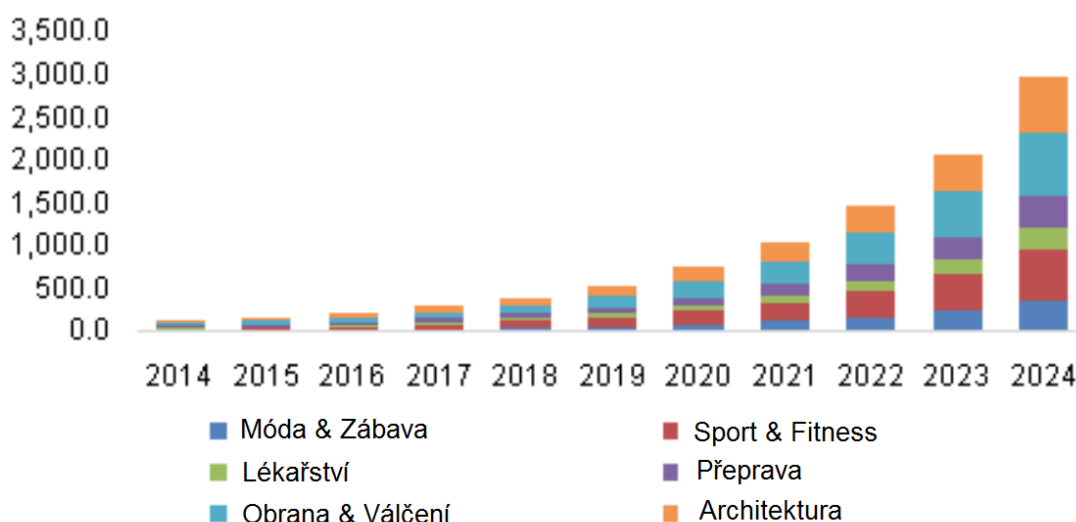
Dalším pokrokem bylo v roce 1968 v New Yorku představení obleků pro kosmonauty, které se mohly nafouknout a vyfouknout dle potřeby.

V roce 1985 vynálezce Harry Wainwright vytvořil první plně animovanou mikinu složenou z optických vláken a mikroprocesoru, který vytvářel na mikině barevnou kresbu [7]. Kromě mikiny v roce 1995 vymyslel první stroj umožňující zapracování optických vláken do libovolného flexibilního materiálu. Wainwrighten a David Bychov (generální ředitel společnosti Exmovere) v roce 2005 představili použití

senzorů GSR v hodinách připojených přes Bluetooth. Společnost Wainwright ukázala na konferenci ve Phoenixu infračervený digitální zobrazovací stroj vložený do tkanin [8].

1.3 Aplikace chytrých textilií

Odvětví chytrých textilií dostává stále větší popularity, zejména ve zdravotnictví, kde roste nejrychleji. Očekává se, že celosvětový trh v roce 2024 v segmentu chytrých textilií dosáhne příjmu 1000 mil \$ (Obr. 5) [9, 10].



Obr. 5 Evropský trh chytrých textilií podle konečného použití v milionech USD (převzato z [10])

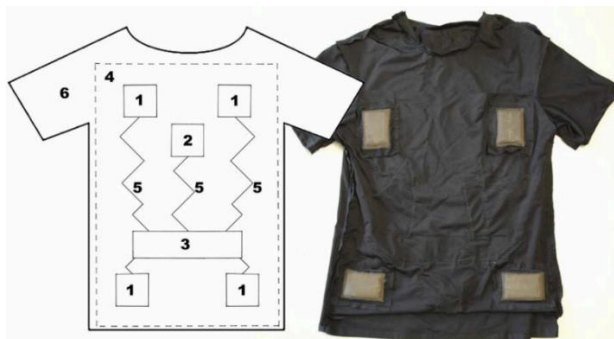
1.3.1 Zdravotnictví

Chytré textilie ve zdravotnictví jsou užitečné pro monitorování EKG, srdeční frekvence, EMG a je možné jejich využití dalších aplikacích [9].

- **Měření EKG**

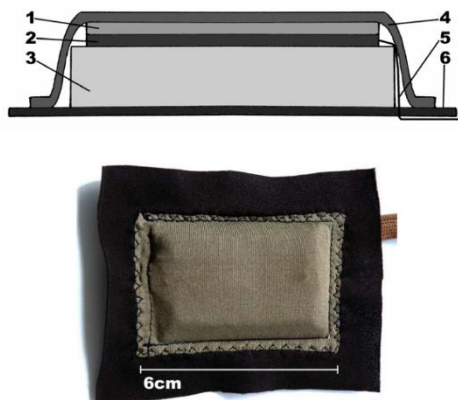
EKG je zkratkou pro Elektrokardiogram. Slouží ke kontrole funkce srdce, tedy sleduje srdeční rytmus, zjišťuje průtok krve do srdečního svalu a diagnostikuje infarkt. Princip je založen na zaznamenávání změn v čase elektrického potenciálu vlivem srdeční aktivity [11][12].

V literatuře [13] je popsána možnost integrace systému EKG založeného na technologii bluetooth do oblečení. Systém je schopný přenášet naměřená data pomocí bluetooth do smartphonu. Oproti obvyklé podobě kardiografu má tento nalepovací elektrody nahrazeny textilními elektrodami a kabely jsou integrovány do trička (Obr. 6).



Obr. 6 Přehled EKG systému (převzato z [13])

Popis (Obr. 6): čtyři textilní elektrody (1), textilní spínač (2), hardware EKG a jeho připojení ke košili (3), základní látka (4), kabeláž (5) a samotné tričko (6)



Obr. 7 Průřez a ukázka textilní elektrody (převzato z [13])

Popis (Obr. 7): stříbrem potažená tkanina s nízkým odporem (1), stříbrem potažená měděná tkanina (2), pěnový materiál (3), stříbrem pokovená látka (4), vodič (5), základová tkanina (6) [13].

1.3.2 Ochranné obleky

V roce 2017 bylo na území České republiky více než 16 tisíc požárů a celkem více než 125 tisíc zásahů jednotek požární ochrany [14], proto je velmi důležitá

implementace chytrých textilií i v tomto odvětví pro předcházení nehod a snížení rizika poranění při výkonu takto náročného povolání.

Jako příklad lze uvést ochranný oblek (Obr. 8) pro hasiče vyvíjeného Regionálním inovačním centrem elektrotechniky plzeňské Západočeské univerzity a společností Vochoc. Technologie smartPRO je vybavena sofistikovaným elektronickým systémem, který dokáže sledovat teplotu a vlhkost uvnitř i vně oděvu, výbušné a dusivé plyny (CH₄ a NO₂), základní fyziologické procesy a je schopný detekovat pohyb hasiče [15]. Naměřená data posílá odpovědné osobě, která data vyhodnocuje, nebo při překročení určité hodnoty systém automaticky aktivuje akustický a vizuální alarm [16]. Systém je schopný komunikovat i s dalšími zařízeními jako jsou například chytré rukavice ELECTRA SensPro, které jsou vybaveny snímačem teploty na povrchu, ale umožňuje i vzdálené snímání teploty pomocí IR senzoru [15].



Obr. 8 Hasičský oblek (převzato z [17])

1.3.3 Sportovní oblečení

- *Sportovní oblečení*

Ve stále zvyšující se popularitě provozování sportovních aktivit se i v tomto odvětví rozšířila aplikace chytrých textilií. Lze je najít ve všech sportech a slouží ke zvýšení aktuálních sportovních výkonů, nebo k následnému rozboru průběhu sportovní aktivity.

Příkladem mohou být například sportovní obuv, chytrá podprsenka nebo chytré ponožky.

- ***Soma chytrá podprsenka***

Soma je společnost prodávající oblečení, spodní prádlo a podprsenky [18]. V roce 2019 společnost Soma představila na konferenci CES v Las Vegas chytrou podprsenku, která předchází k jejímu špatnému výběru velikosti, kdy špatnou velikost nosí až 80 % žen [19]. Jedná se o černou podprsenku sportovního střihu (Obr. 9) se čtyřmi našitými pásky, které vedou vodorovně přes celý obvod podprsenky a pásky se spojují na zadní straně podprsenky v oranžovém obdélníku s měřícím senzorem a technologií Bluetooth, který naměřená data odešle do aplikace, ve které dojde k vyhodnocení a výběru správné velikosti podprsenky [20]. Cena podprsenky je 59 dolarů pro domácí použití a cena za propůjčení je 25 dolarů [21].



Obr. 9 Soma podprsenka (převzato z [21])

- ***chytré ponožky***

Chytré ponožky patří mezi další chytré sportovní vybavení například pro běžce. Ponožky dokážou měřit kroky, rychlost ale i uběhlou vzdálenost. Příkladem mohou být chytré ponožky Sensoria (Obr. 10). Ponožky Sensoria mají odnímatelný Bluetooth modul, který zaznamenává kroky, rychlost, kalorie, nadmořskou výšku a vzdálenost. Díky těmto hodnotám lze vyhodnotit styl běhu, čímž lze předcházet poraněním; spolu s ponožkami je k dispozici i mobilní aplikace, ve které lze sledovat naměřené údaje o pohybu [22].



Obr. 10 Ponožky Sensoria (převzato z [23])

V literatuře [24] jsou popsány inteligentní diabetické ponožky, které jsou schopny měření tlaku působícího pod nohou, u kterých je cílem zabránit vzniku vředů na nohou u diabetiků. Ponožka (Obr. 11) se skládá ze tří částí: 100% textilní ponožky shromažďující vnější tlaky nohou, centrální jednotky připojené k horní části ponožky a externího zařízení přijímající odeslané informace z centrální jednotky odhadující rizika vzniku dekubitů¹.

Inteligentní ponožka je vyrobena ze tří druhů vláken. V největším zastoupení jsou vlákna bavlny, polyamidu nebo elastanu; další jsou vlákna pokovená stříbrem, která vedou elektrický proud a vlákna, která mají piezo-rezistivní chování.

Centrální jednotka se skládá z elektronického obvodu a ohebné baterie. Změna tlaku při stlačení vyvolá změnu odporu piezorezistivních vláken a na piezorezistivních vláknech vzniká napětí [25], to vyvolá změny v centrální jednotce, kde mohou být data uložena v její paměti nebo odeslána do vzdáleného přijímacího zařízení, jako jsou hodinky, chytrý telefon nebo notebook [24].

¹ Poškození kůže, které vzniká v důsledku tlaku z vnějšího prostředí na části těla.



Obr. 11 Prototyp ponožky pro diabetiky (převzato z [24])

1.3.4 Sportovní obuv

Příkladem sportovních chytrých bot jsou Xiaomi Mijia Shoes (Obr. 12). Tyto boty automaticky detekují a ukládají data, které je možno procházet v aplikaci, ke které je možné připojit i chytrý náramek Xiaomi Mi Band 2 [26]. Celý systém je založený na čipu, který dokáže měřit počet kroků, průměrnou rychlost nebo vzdálenost, přičemž se tyto informace následně spárují s telefonem pomocí technologie Bluetooth [27]. Cena těchto bot je 60 \$ [28].



Obr. 12 Xiaomi Mijia Smart Shoes (převzato z [27])

2 Způsoby kontaktování elektronických prvků v chytrých textiliích

Způsob vytvoření vodivé cesty je důležitým aspektem pro výběr vhodné metody kontaktování, kterých je několik.

2.1 Vodivé textilní nitě a příze

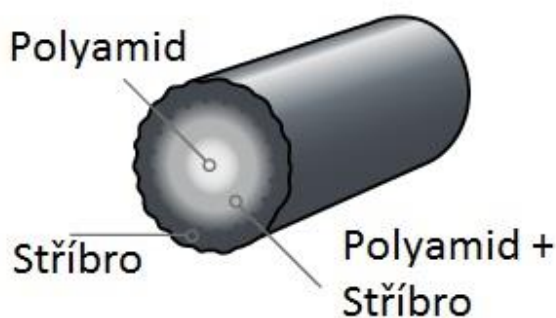
Nit je tvořena z pramenů, které vznikají skrutem vláken. U vodivých nití jsou seskána vlákna kovová zajišťující vodivost a vlákna nevodivá zajišťující dobré mechanické vlastnosti nitě. Nitě jsou používány zejména pro šití, ale najdou své uplatnění i u pletení nebo tkaní, zatím co příze je vytvořena několika vlákny, které vzájemně spojují jejich skaním² a jsou používány také u pletení, tkaní a vyšívání, ale nepoužívá se pro šití [29][30]. Vlákna se dělí buď na vlákna nekonečná nebo vlákna staplová. Příkladem nekonečných vodivých vláken je pokovené vlákno, kovové vlákno s nevodivým obalem a kovová příze, zatím co příkladem staplových vláken je stříž z vodivých materiálů. Vodivá příze se dělí do těchto tří skupin podle vnitřního uspořádání:

2.1.1 Pokovené nevodivé vlákno

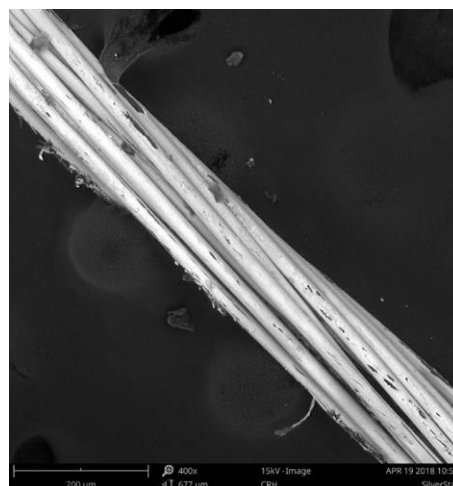
Příkladem pokoveného vlákna je silver.STAT® (Obr. 13). Vlákna silver.STAT® jsou polyamidová vlákna, která jsou odolná proti otěru, mají vysokou elasticitu, jsou lehké, rychleschnoucí [31] a vyrábějí se z ropy, mají na povrchu stříbro zajišťující vodivost, a však vrstva stříbra je dostatečně tenká pro zachování původní textilních vlastností. Vlákno má lineární vodivost $\leq 10^3 \Omega/\text{cm}$. Vlákna si drží stálé vlastnosti i po stárnutí 1000 hodinách v peci při 60 °C a 70% relativní vlhkosti, více než 50 praní [32].

Mezi nevýhody tohoto vlákna patří možnost oděru vrstvy stříbra (tmavá místa vlákna na Obr. 14) a tím způsobení změn svých elektrických vlastností.

² Skaním se označuje proces, při kterém zkroucením dvou nebo více přízí dojde k jejich spojení a tím vzniku jedné pevnější příze [45].



Obr. 13 Průřez *silverR.STAT®* vláknem
(převzato z [32])



Obr. 14 Snímek - *silverR.STAT®*

2.1.2 Opřádání kovovým drátkem (Metal-wrapped yarn)

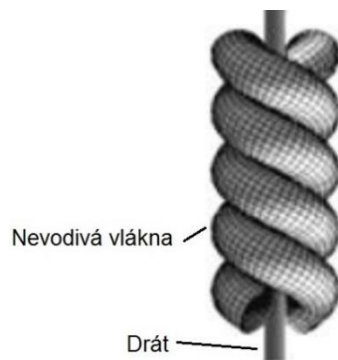
Jedná se o opřádání jedním nebo více kovovými drátky kolem nevodivého vlákna (Obr. 15)[33][34].



Obr. 15 Pokovené vlákno (převzato z [35])

2.1.3 Izolované kovové vlákno (Metal-filled yarn)

U přízí s kovovou výplní slouží jemný kovový drát jako jádro pokryté nevodivými vlákny (Obr. 16). Nevodivá vlákna na povrchu mohou sloužit i jako ochrana kovového drátu v jádře a tím odolávat fyzickému namáhání [33][34].

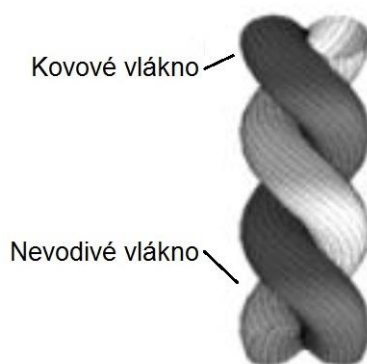


Obr. 16 Izolované kovové vlákno (převzato z [35])

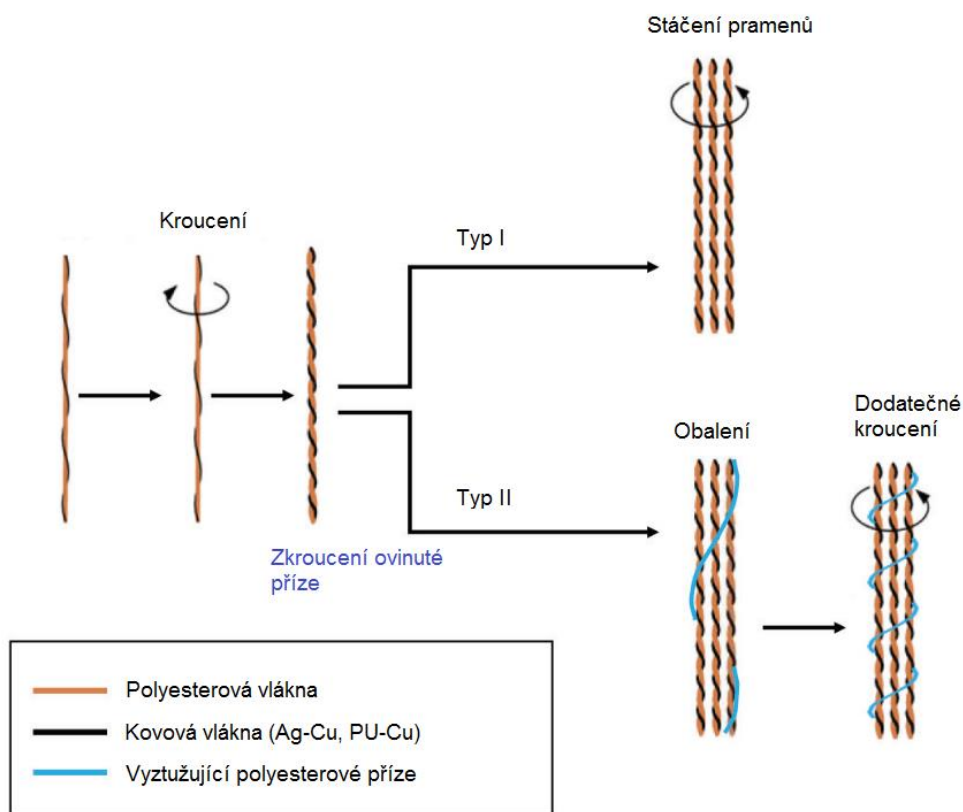
Nevýhoda tohoto vlákna je možný oděr izolace po delší době používání. Použití této nitě je nevhodné pro kontaktování přešitím z důvodu nevytvoření vodivého kontaktu. Při kontaktování je nutné nejprve narušit obal vodivých vláken a to použitím například svařování, cínování a nebo narušení mechanické například krimpovacím konektorem.

2.1.4 Kovová příze (Metal yarn)

Tento druh kovové příze nemá konstrukci jádra a pláště. Kovová vlákna z mědi nebo postříbřené mědi jsou propletena mezi nevodivá polyesterová vlákna (Obr. 17). Na Obr. 18 je zobrazena i varianta II, u které se využívá vyztužující polyesterové příze (modře na Obr. 18) v procesu výroby zajišťující zvýšení meze kluzu na rozdíl od metody I [33][34][36].



Obr. 17 Kovová příze (převzato z [35])



Obr. 18 Výroba kovové příze (převzato z [36])

2.1.5 Staplové vodivé vlákno

Stříž nebo také staplová vlákna nejsou na rozdíl od předešlých třech skupin tvořena nekonečnými vlákny. Střížová vlákna mají délku do 6,4 cm [37]. Jedná se o nerezová vlákna propletena mezi nevodivá Polyesterová vlákna sloužící jako nosná. Při napnutí dochází ke spojení vodivých vláken a tím se snižuje odpor stříže.

2.2 Vodivé textilie

Jako textilní substrát pro textilní kontaktování lze použít tyto varianty:

2.2.1 Netkaná textilie

Netkané textilie jsou vyrobeny z dlouhých vláken, filamentů nebo staplových³ přízí a jsou spojeny dohromady mechanickým provázáním, tepelně nebo chemicky,

³ Stapl je průměrná délka vláken.

nejsou tedy vyráběny tkaním nebo pletením [38]. Použitými kovy jsou stříbro, měď, nikl a cín v různých kombinacích [39].



Obr. 19 Netkaná textilie Shieldex® (převzato z [39])

2.2.2 Pletenina

Jedná se o dobře prodyšnou textilií, která je schopna se natáhnout; vyrobenou provázáním jednoho nebo vícero vláken pomocí soustavy oček (Obr. 20) [40].



Obr. 20 Provázání vláken pleteniny (převzato z [41])

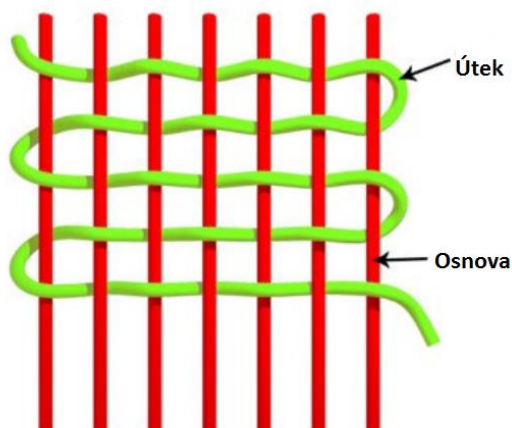
Příkladem mohou být pleteniny Shieldex® , které společnost nabízí v různých hmotnostech a strukturách včetně pletenin a elastických úpletů s jedním nebo dvojitým směrem [42].



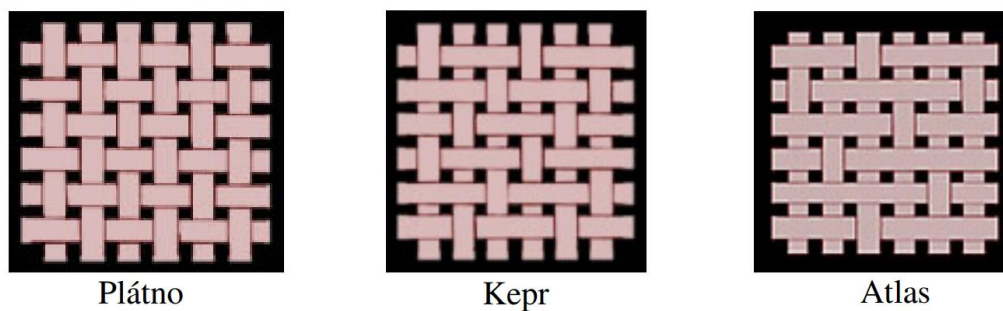
Obr. 21 Pletenina Shieldex® (převzato z [42])

2.2.3 Vodivá tkanina

Tkanina je textilie, která vzniká různými tkacími technikami nití útků⁴ a osnov (Obr. 22) [43]. Vodivé tkaniny se skládají z jednotlivých na sebe kolmých soustav nití, které jsou postříbřeny stříbrem. Jsou k dispozici jak v základní rovinné vazbě (PW), která je hladká a trvanlivá, tak i ve vazbě označované Ripstop (RS), který je vyztužen tak, aby odolal trhání [44]. Příkladem tkaniny je i kepr (Obr. 23), který byl použitý jako textilní substrát pro realizaci vzorků kontaktů.



Obr. 22 Tkanina (převzato z [41])



Obr. 23 Tři základní typy vazeb (převzato z [45])

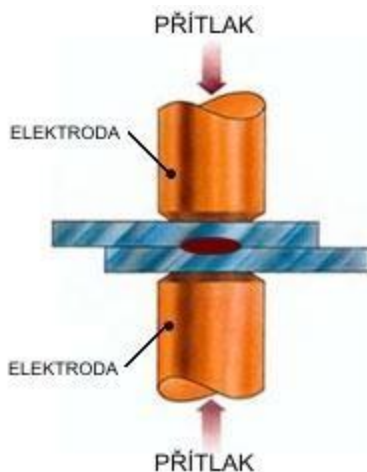
⁴ Útek je označení pro nit, která se provléká v příčném směru.

2.3 Dostupné technologie kontaktování vodivých textilií

Kontaktováním je označován proces elektricky vodivého spojení, který umožňuje přenos signálů či elektrického proudu z jedné struktury na druhou. Nejdůležitějšími parametry kontaktování je vodivost nebo přesněji velikost kontaktního odporu. Při výběru metody kontaktování je nutné vědět, jaké materiály se budou kontaktovat. Příkladem nevhodné metody kontaktování může být kontaktování přešitím drátku izolovanou vodivou nití, kde nemůže vzniknout spojení vodivých vláken nitě a drátku. V kapitolách níže jsou vypsány vybrané metody kontaktování, kterých je ve skutečnosti více.

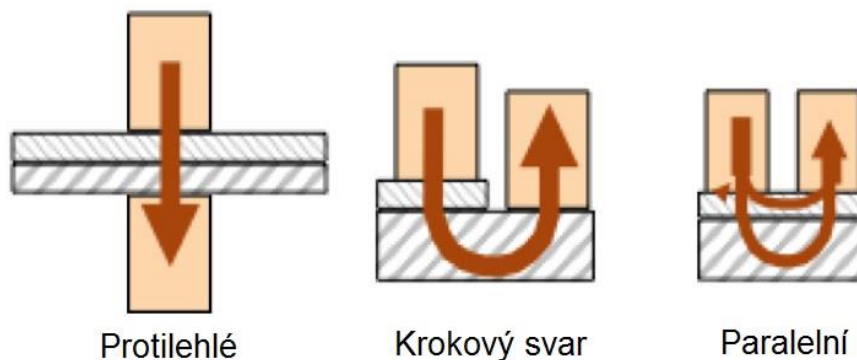
2.3.1 Odporové svařování

Odporové svařování se využívá ke spojení dvou kovů. U paralelního svařování svařovaný kov je umístěn mezi elektrodami (Obr. 24), které drží svařovací hlava. Svařovací zdroj přivádí elektrický proud ke kovu, který má být svařen [46].



Obr. 24 Schéma odporového svařování (převzato z [47])

Odporové svařování se v procesu kontaktování chytrých textilií může využívat i k odstranění izolace vodičů vlivem tepla způsobeného procházejícím svařovacím proudem, tím se vodivá vlákna odhalí a mohou se nakontaktovat.



Obr. 25 Způsoby odporového svařování (převzato z [48])

Paralelní svařování používá dvě paralelně uspořádané elektrody. Obě elektrody se nacházejí na stejné straně svaru a přitlačují místo budoucího svaru. Jedna elektroda je kladná a druhá je záporná. Energie proudí dolů do obrobku jednou elektrodou a druhou pro dokončení svaru. Tato metoda svařování je upřednostňována před dalšími možnostmi svařování pro získání nejlepších výsledků svařování.

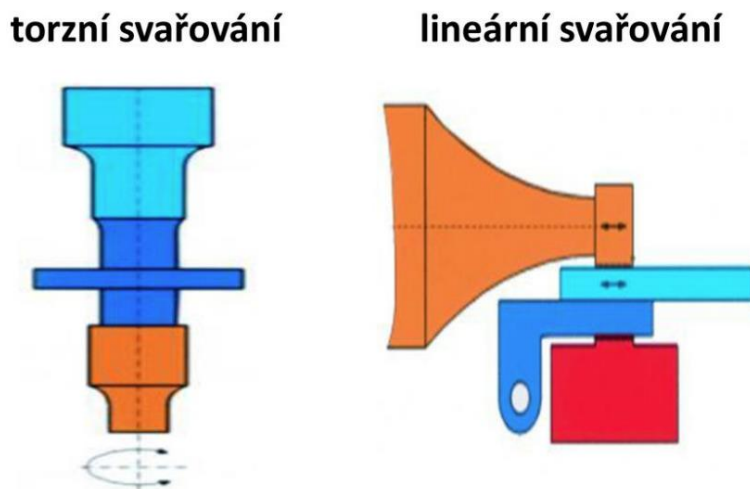
Krokové svařování je podobné paralelnímu svařování tím, že na stejné straně substrátu jsou obě elektrody. Rozdíl je v tom, že jedna elektroda je na obou vrstvách a druhá je pouze na jedné vrstvě. To soustředí energii na jedné straně elektrody spíše než na obě. Tato konfigurace umožňuje výkonnější svar než paralelní svar, ale ne tak silný jako protilehlý. Nepřímé svařování se často používá, když jsou obrobky postaveny tak, že s elektrodou je přístupná pouze jedna strana obrobku nebo je zde velká tepelná nerovnováha. Svařovací proud proudí z první elektrody, přes obrobek, oblast svaru, druhý obrobek a do druhé elektrody [48, 49].

2.3.2 Ultrazvukové svařování

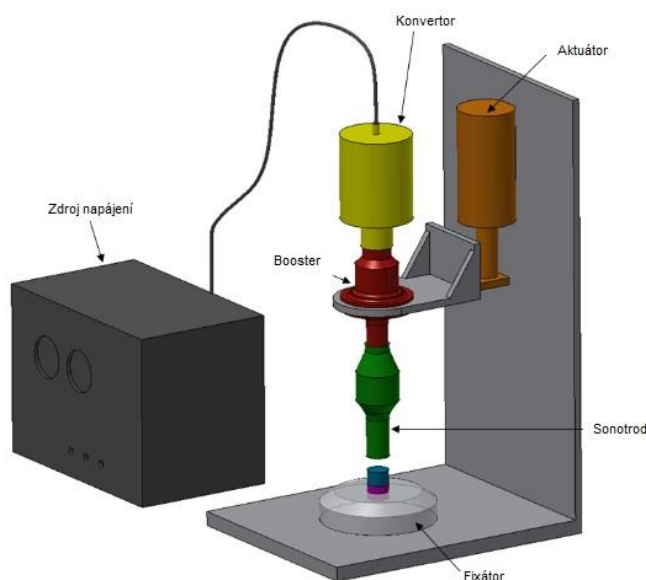
Ultrazvukové svařování využívá vysokofrekvenční vibrace k ohřevu a spojení dvou navzájem dotýkajících se částí, kde jedna je fixovaná. Tyto ultrazvukové frekvence se pohybují v rozmezí od 15 kHz do 75 kHz [50].

Princip ultrazvukového svařování je rozdílný podle svařovaného materiálu. V případě ultrazvukového svařování plastů je směr vibrací vertikální k povrchu svaru, na rozdíl od svařování kovů, kde je směr vibrací horizontální vůči směru svarových

ploch označované jako lineární svařování [51] [52]. Další metodou je torzní svařování, u které se horní díl pohybuje lineárně a vibrace se aplikují tangenciálně. Spodní kus není vibracemi namáhán, a proto je tato metoda vhodná na místech náchylných na další vibrace [53] [54].



Obr. 26 Schématické znázornění torzního a lineárního svařování (převzato z [55])



Obr. 27 Schéma ultrazvukového svařování (převzato z [50])

2.3.3 Kontaktování pájením

Příklad pevného kontaktování, kdy se spojuje roztavenou pájkou - cínem. Výsledkem je kontakt vytvořený vodičem připájeným pájkou k vodivé textilií nebo niti (Obr. 28). Mezi nevýhody kontaktování pájením patří nutná enkapsulace kontaktu,

křehkost kontaktu a potřebná teplota pro vznik kontaktu, která může poškodit textilní substrát.



Obr. 28 Pájený kontakt (převzato z [56])

2.3.4 Přešití

Kontaktování přešitím je možné buď v přešití holých vodičů (Obr. 29) nebo je toto řešení možné uplatit také u osazené desky plošného spoje, na které jsou vyvedeny vnitřně pokovené díry. Tyto díry se prošíjí vodivou nití a tím vznikne vodivé propojení (Obr. 30) [57]. Tato metoda kontaktování je závislá na výběru nitě. V případě izolované vodivé nitě nedojde k vodivému spojení vláken nitě a holých vodičů. Po přešití je nutné pevného obepnutí obšívávaného prvku pro zajištění fixace a zamezení pohybu prvku. Kontakt je náchylný na mechanické namáhání, hodnota odporu tak může fluktuovat.



Obr. 29 Kontaktování přešitím (převzato z [58])



Obr. 30 Připojení DPS k textilii přešitím vodivou nití (převzato z [57])

2.3.5 Textilní zařezávací krimpky

Textilní zařezávací krimpky patří mezi kontakty, které primárně v současné době slouží k nakontaktování flexibilních plošných spojů, ale dají se použít i jako zařezávací krimpky do textilie. Jejich účel spočívá v proděravění textilie, případně vodivé nitě a tím vzniku vodivého spojení. Pro měření byly použity tři příklady zařezávacích textilních krimpů:

2.3.5.1 Kovové nýtovací druky

Kontaktování kovovými nýtovacími knoflíky (označováno taky jako druky) (Obr. 31) spočívá v proražení vodivé textilie nebo textilie s našitou vodivou nití a tím vzniku vodivého propojení. Při měření byl použitý stiskací knoflík od firmy Koh-i-noor typ Roland.



Obr. 31 Kovový nýtovací druk Koh-i-noor typ Roland (převzato z [59])

2.3.5.2 Nicomatic Crimpflex™ kontakt

Krimpovací kontakty Crimpflex™ (Obr. 32) od společnosti Nicomatic vytváří kontakt propíchnutím textilie v 6 bodech pomocí nožovitých jazýčků. Mezi parametry Crimpflex™ kontaktu patří: proděravění nejrůznějších druhů substrátů jako je polyester, FR4, polyamid atp. Prodává se ve dvou různých roztečích a to 2,54 nebo 1,27 mm [60]



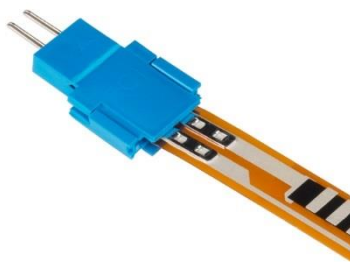
Obr. 32 Nicomatic Crimpflex (převzato z [60])

2.3.5.3 Amphenol FCI konektor

Konektor od společnosti Amphenol (Obr. 33) slouží primárně ke kontaktování flexibilních plošných spojů (Obr. 34), kde se flexibilní plošný spoj nasune dovnitř konektoru, který se sevře a kovové nožovité jazýčky vytvoří vodivé spojení, tento princip jde ale i využít u kontaktování textilií.



Obr. 33 Amphenol FCI konektor (převzato z [61])

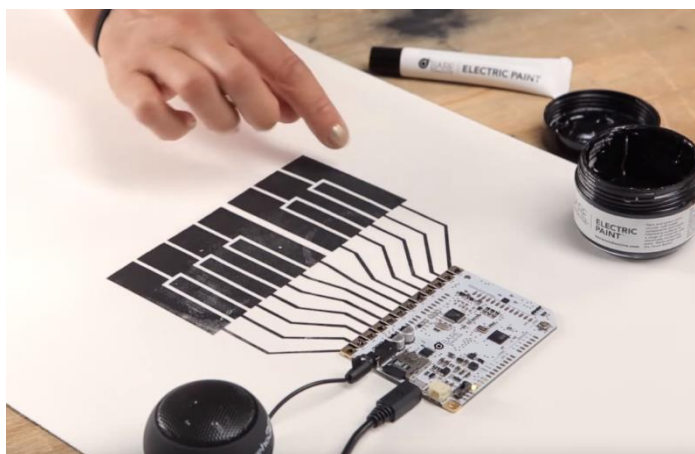


Obr. 34 Použití krimpovacího kontaktu Amphenol FCI konektoru (převzato z [62])

2.3.6 Vodivý inkoust

Použití vodivého inkoustu má v kontaktování své místo hlavně pro schopnost vytváření flexibilních vodivých cest a díky možné aplikaci na různých tvarech.

Existuje několik druhů vodivých inkoustů. Příkladem může být inkoust s přísadou mědi nebo stříbra, kde tyto přísady jsou v inkoustu pro zajištění elektrické vodivosti cesty. Vytvořené inkousty nedosahují zdaleka hodnot elektrické vodivosti jako je tomu u objemového stříbra či mědi, kdy měď má měrný elektrický odpor ($1,72 \mu\Omega/\text{cm}$), to je pouze 1,08 krát vyšší odpor oproti stříbru ($1,59 \mu\Omega/\text{cm}$) [63]. Měď je vhodným materiálem z důvodu nižších nákladů, které jsou 1% oproti stříbru. Nevýhodou je, že měď se snadno oxiduje, což zhoršuje elektrickou vodivost [64]. Dalším příkladem může být uhlíková barva s přísadou grafitového prášku [65].



Obr. 35 Použití vodivého inkoustu (převzato z [66])

Výhody této možnosti kontaktování jsou schopnost vytvářet flexibilní vodivé cesty a na různých tvarech.

Nevýhody tohoto řešení jsou v rostoucím elektrickém odporu s časem používání látky, kdy dochází k narušení vodivých cest, ovšem tento proces lze vyřešit enkapsulací.

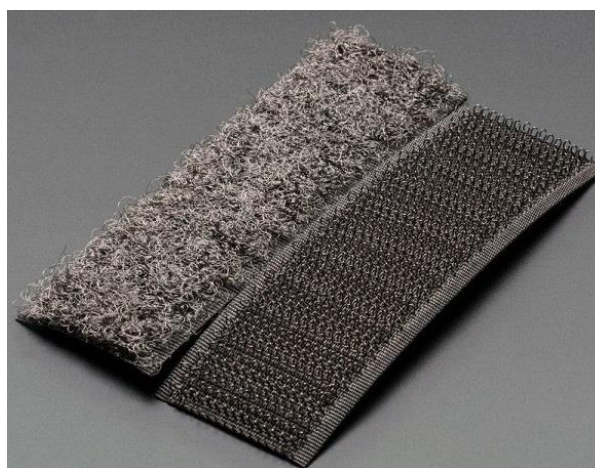
2.3.7 Vodivý suchý zip

Vodivé suché zipy se používají jako spojovací materiál pro různé typy spojů díky jejich schopnosti rychle kontakt rozpojit. Suchý zip tvoří dva pásy, které mají na jedné straně háčky a na druhé straně smyčky. Vodivost suchého zipu je zajištěna nanesením stříbra. Vzhledem k mikroskopickým kontaktním místům mezi vlákny a háčky ve spojích suchého zipu je zjištěn velký elektrický kontaktní odpor.

Původně tento způsob byl vytvořený k výrobě elektro-staticky bezpečného oděvu, ale je dobrý i pro další aplikace [67].

Příkladem může být vodivý suchý zip od společnosti Adafruit (Obr. 36), který má následující technické parametry:

Očekávaná životnost pásku (slepení a odlepení):	5000
Pevnost ve smyku	12,3Pa
Síla odlepení	1,2N
Hmotnost jednoho kusu	1,38g
Cena	10,68\$ za 3" proužek [68].

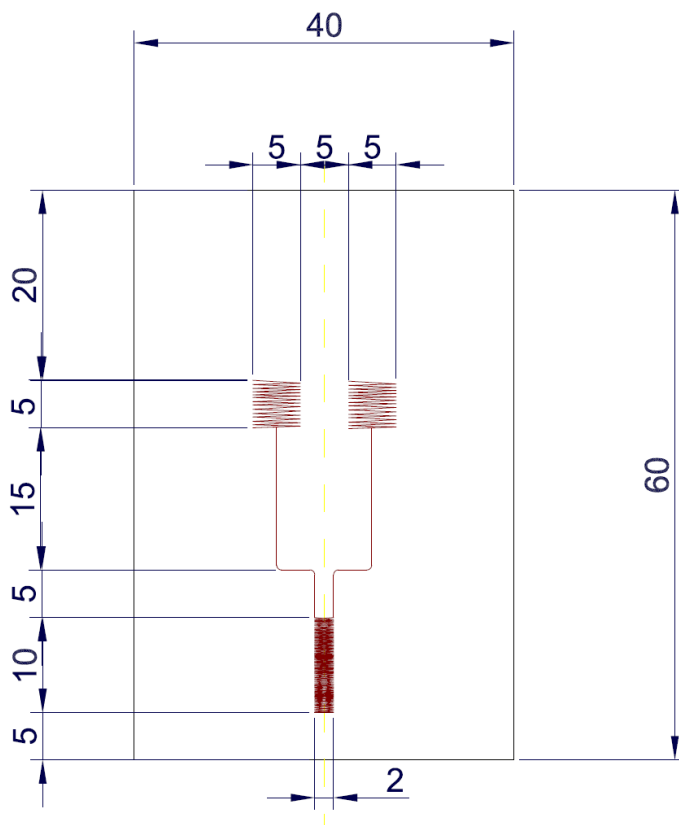


Obr. 36 Vodivý suchý zip od společnosti Adafruit (převzato z [68])

Mezi výhody patří snadná instalace elektrického prvku a následné rychlé odebrání, naopak nevýhoda tohoto řešení kontaktu je v omezeném počtu použití (odlepení a přilepení), kdy při vyšším počtu už kontakt ztrácí na pevnosti.

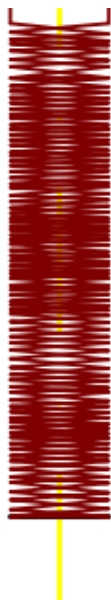
3 Návrh a realizace kontaktů na textilních substrátech

Realizace kontaktů byla prováděna na testovacím motivu (Obr. 37). Motiv je navržený v kreslicím programu progeCAD a je vyšitý pomocí souřadnicového šicího stroje na textilií izolovanou vodivou nití. Rozměry jednoho testovacího vzorku jsou 60x40 mm.

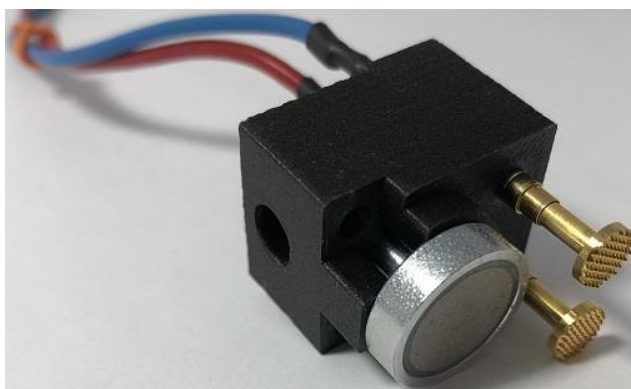


Obr. 37 Návrh testovacího motivu v progeCAD

Tvar motivu je přizpůsoben měření pomocí použití dostupné měřící sondy (Obr. 39) a pro použití čtyřbodové metody měření odporů. Testovací motiv se skládá ze dvou plošek, které jsou od sebe vzdálené 5 mm pro možné použití magnetické měřící sondy, která se skládá ze dvou pružných měřících hrotů a magnetu, který zajišťuje fixaci látky v průběhu měření. Z těchto plošek vede cesta vyšitá vodivou nití ke třetí testovací ploše (detail plošky na Obr. 38) o rozměrech 10x2 mm. Ta slouží k umístění a vyzkoušení jednotlivých typů kontaktů. Celý motiv je vyšitý nití v jednom kuse.



Obr. 38 Detail návrhu testovacího motivu pro umístění kontaktů



Obr. 39 Magnetická měřicí sonda

3.1 Testovací motiv

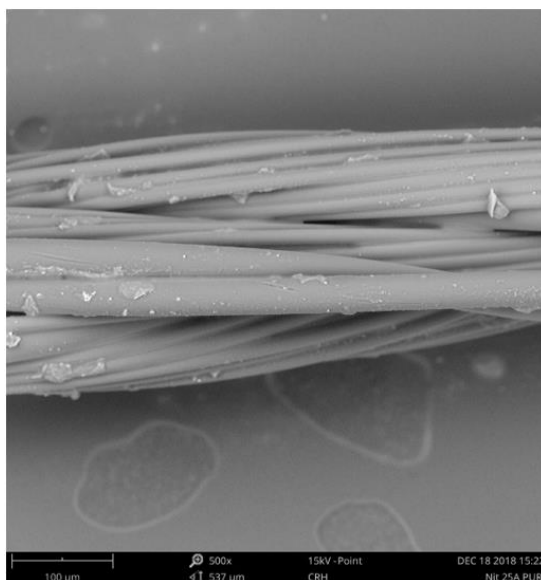
Testovací motiv byl vyšíť na tkaninu s keprovou vazbou (Tab. 1) pomocí souřadnicového šicího stroje. Jako šicí nit je použita nit č. 53PUR (Tab. 2).

Tab. 1 Charakteristika textilie - Kepru [69]

Materiál	100% Bavlna
Váha	244 g/m ²
Šíře	150 cm
Cena za 1 m	139 Kč

Tab. 2 Charakteristika vodivé nitě

Složení	47 % (4x 5,5 tex PESH)/53% 4x drát Cu/Ag o průměru 0,03 mm
Izolace drátu	Polyurethan
Jemnost ⁵	Tex 60
Optický průměr	0,24 mm
Lineární odpor	7,5 Ohm/m



Obr. 40 Detail izolované vodivé nitě

3.2 Kontaktování plošek

Před umístěním kontaktů je nutné nejprve nakontaktovat měřicí plošky, protože není známo, zda-li procesem nakontaktování nedojde například k přerušení vodivé nitě (tudíž je po nakontaktování nutné ověřit správně provedené nakontaktování). Pokud by se nejprve kontaktovala ploška k umístění kontaktu a poté měřicí ploška, tak by tímto postupem nebylo možné zjistit, jestli přerušení cesty „ploška – ploška“ došlo špatným nakontaktováním plošky nebo přerušením cesty přidáním kontaktu. Pro umožnění měření je nutné narušit izolaci nitě a tím spojení pružných měřících hrotů sondy a vodivých vláken nitě. Za tímto účelem byly použity tyto dva způsoby:

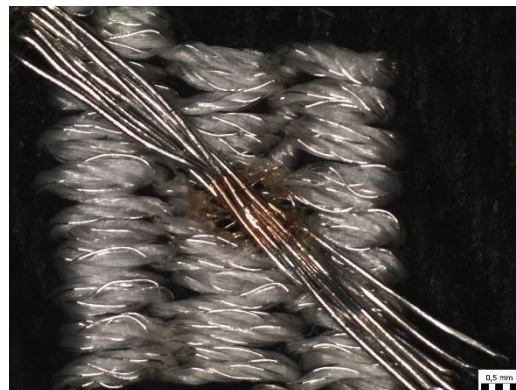
Prvním způsobem je odporové svařování, konkrétně v tomto případě paralelní. K odporovému svařování byl použit přístroj SUNKKO 709A. Tímto způsobem se vlivem

⁵ Jednotkou jemnosti příze je Tex. Ta představuje hmotnost příze v gramech na délku jednoho kilometru.

tepla nejprve naruší izolace vodivých vláken a posléze dojde ke svaru mezi vodivými vlákny nitě a drátky (Obr. 41) a (Obr. 42), na které se umístila měřící sonda.



Obr. 41 Vytvořené vodivého místa odporovým svařováním



Obr. 42 Detail vytvořeného vodivého místa odporovým svařováním

Druhým způsobem vytvoření vodivého místa je pájení (Obr. 43). Pájením nejprve dochází k narušení izolace nitě a poté ke vzlínání cínu na vodivá vlákna.



Obr. 43 Pájením vytvořený kontakt na plošce

3.3 Realizace kontaktů

Pro měření byly vybrány tyto zástupci jednotlivých druhů kontaktů:

3.3.1 Kovový nýtovací druk

Pro testování byly použité kovové stiskací knoflíky od výrobce Koh-i-noor (Obr. 44). Druky jsou typu Roland. Čepička knoflíku se umístila do horní části přípravku (Obr. 45) a do spodní části se vložila prořezávací část knoflíku. Mezi tyto knoflíky se vložila textilie a stiskem se druk upevnil.



Obr. 44 Druk typu Roland



Obr. 45 Přípravek pro umístění kovového
druku



Obr. 46 Umístění druku na látku

Výhoda použití druku: Jedná se o dostupnou variantu kontaktu používaného i v běžné textilií. Kromě toho druk vytváří masivní kontakt, u kterého není třeba enkapsulace, protože nemá tak ostré hrany jako ostatní krimpovací kontakty, který by po delší době používání mohly přerušit vodivou nit. Druk se řadí mezi nerozebíratelné kontakty.

Nevýhodou tohoto způsobu kontaktování je závislost na správném umístění látky do přípravku, kdy v případě jeho nesprávného umístění nemusí dojít ke vzniku vodivého spojení. Vyšší pravděpodobnost vzniku elektrického kontaktu v případě použití nitě s vodivým vláknem na rozdíl od izolovaného vodivého vlákna, kde nestačí pouhý dotyk vlákna a druku, ale je nutné narušení jeho izolace.



Obr. 47 Druk na látce



Obr. 48 Umístění druku na látce

3.3.2 Kontakt Nicomatic Crimpflex™

Kontakt typu Crimpflex™ (Obr. 49) od společnosti Nicomatic je dodáváný ve formě pásku. Realizace kontaktu spočívá v umístění kontaktu do krimpovacích kleští (Obr. 50), kam se umístí i textilie a kleštěmi dojde k upevnění.



Obr. 49 Detail Crimpflex™ konektoru



Obr. 50 Krimpovací kleště



Obr. 51 Crimpflex™ konektor - lícová
strana



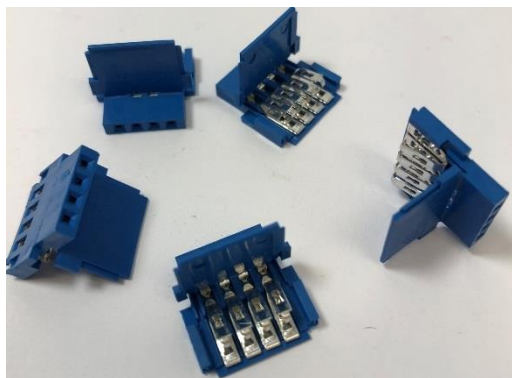
Obr. 52 Crimpflex™ konektor - rubová
strana

Výhoda toho řešení je stabilita (pevnost) kontaktu a funkčnosti i pro izolovaná vodivá vlákna.

Nevýhoda tohoto krimpovacího kontaktu je nutnost enkapsulace pro přecházení možného přerušeni nitě po delším čase používání.

3.3.3 Amphenol FCI konektor

Pro realizaci kontaktu krimpovacím konektorem byl použit čtyř pinový Amphenol FCI konektor (Obr. 53), ze kterého byl vyjmut jeden pin (Obr. 54). Takto osamostatněný pin je vhodný pro kontaktování e-textilií, i když k tomu primárně neslouží.

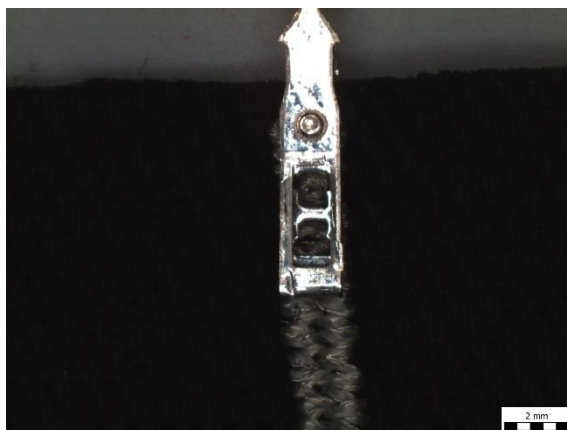


Obr. 53 Amphenol FCI konektor



Obr. 54 Detail konektoru Amphenol FCI

Realizace kontaktu je velmi jednoduchá. Jeden pin konektoru byl umístěn na textil a pomocí kleští byl konektor spojen s vodivou ploškou na textilií.



Obr. 55 Umístění Amphenol FCI konektoru na textil

Výhoda tohoto řešení kontaktování spočívá v jednoduchém vytvoření kontaktu, které je vhodné i pro izolované kovové vlákno.

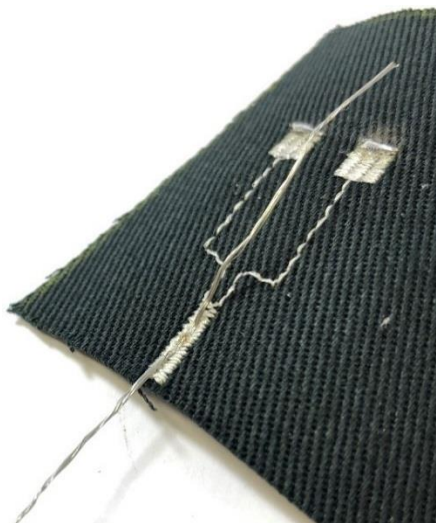
Nevýhoda tohoto způsobu vytvoření kontaktu je v zatím neexistujícím přípravku, který by zajišťoval přesnější umístění na textil a nutná enkapsulace z důvodu možného přerušení vodivé nitě.

3.3.4 Svařování

K vytvoření vzorků kontaktů svařováním byly použito vždy 7 odizolovaných drátků s průměrem 0,127 mm odseparovaných z plochého 25,4 mm širokého kabelu označený 3365-20 s PVC pláštěm. Pocínované měděné drátky se odporově svařily (Obr. 56) na přístroji SUNKKO 709A nastavený na 6 proudových pulzů a velikost proudu na stupni 3.

Výhoda tohoto řešení je vhodné použití i pro izolovaná vodivá vlákna, kdy se vytváří velmi pevný kontakt bez nutnosti enkapsulace. Hlavní výhodou je vytvoření kontaktu bez nutnosti přidání dalšího materiálu vytvářející propojení jako je kovový krimpovací kontakt, nit na obšití nebo cín.

Nevýhodou této metody svařování je vytvoření nerozebratelného kontaktu náchylného na mechanické namáhání, u kterého látka v místě spojení ztrácí vlastnosti textilu.



Obr. 56 Svařováním vzniklý kontakt

3.3.5 Kontaktování pájením

Tento kontakt vznikl přiložením pájky s cínem k plošce (Obr. 57). Vlivem teploty se naruší struktura izolace vláken a dojde k vzlínání cínu na vodivá vlákna nitě.

Výhoda tohoto způsobu kontaktování je možnost kontaktovat jak vodivá neizolovaná vlákna, tak i vodivá izolovaná vlákna a tím vytvoření velmi pevného kontaktu.

Nevýhoda tohoto způsobu kontaktování je kromě křehkosti v nutnosti přidání dalšího spojovacího materiálu k vytvoření kontaktu, který v hromadné výrobě bude navyšovat náklady na výrobu. Další nevýhodou je tepelné zatížení textilního substrátu vysokou teplotou nezbytnou k roztavení pájky.



Obr. 57 Kontakt Cín

3.3.6 Přešití

Tento způsob kontaktování nebyl vyzkoušen, protože dle teoretického předpokladu nemůže dojít k vodivému spojení izolované nitě a drátku nebo jiného konektoru, protože bez další činnosti nedojde k narušení izolace nitě.

4 Měření elektrických parametrů jednotlivých kontaktů a kritické zhodnocení

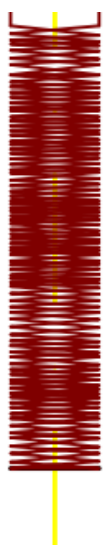
U vybraných vzorků kontaktů byl měřen kontaktní odpor a poté se vzorky sledovaly termokamerou při proudovém zatížení, kdy se zjišťovalo lokální zahřívání kontaktu.

4.1 Měření elektrických odporů

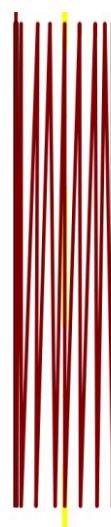
Před kontaktováním vybranými metodami předcházelo nakontaktování plošek pro jejich následné měření. Hodnota odporů „ploška – ploška“ se lišila. To je způsobeno různým množstvím nakontaktovaných vodivých vláken v místě měřících plošek. Zde platí rovnice pro výpočet celkového odporu paralelně zapojených vodivých vláken:

$$\frac{1}{R_c} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (1)$$

Pro měření byly u krimpovacích konektorů typu Amphenol FCI a Crimpflex vytvořeny dva typy vzorků s označením „I“ s ploškou ve tvaru podle Obr. 58 a s označením „II“ s ploškou ve tvaru podle Obr. 59. Dva různé typy plošek byly navrženy pro různý tvar prořezávacích nožů a tím i způsob samotného vytvoření kontaktu.



Obr. 58 Detail testovacího motivu I



Obr. 59 Detail testovacího motivu II

Průměrná hodnota odporu samotných nakontaktovaných plošek a cesty vyšité vodivou nití mezi nimi je dvoubodovou metodou pro první orientaci 37,1 Ω a pro druhý

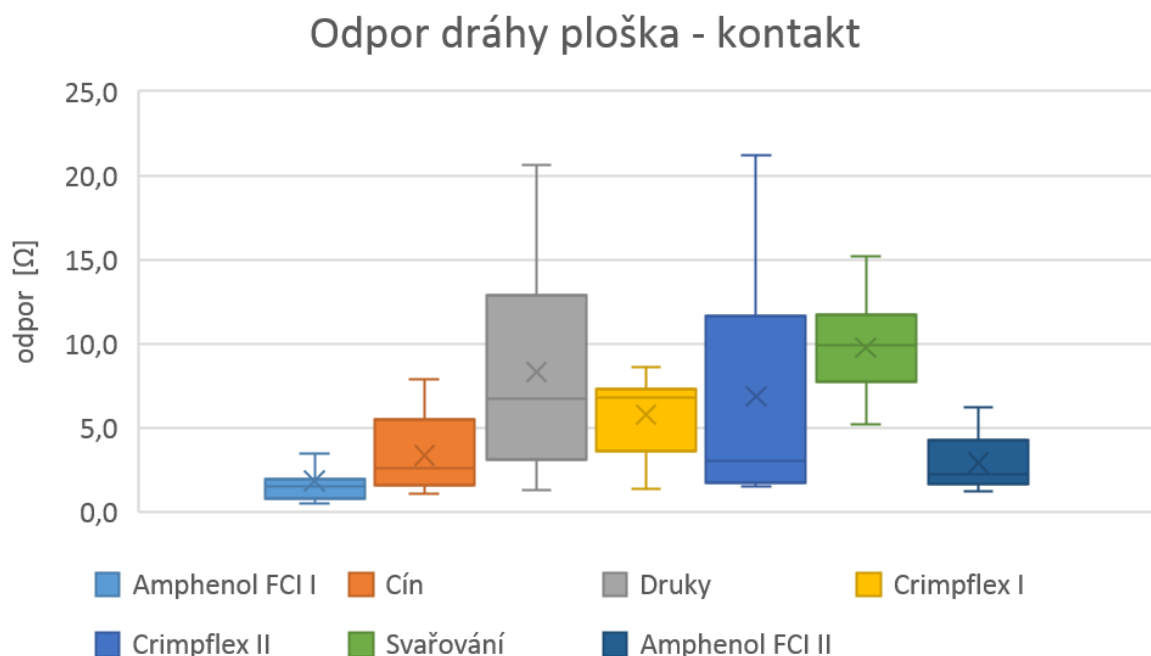
(otočený) směr je hodnota odporu 2,4 Ω . Odlišné hodnoty odporu mohou být podle rovnice (2) způsobeny délkou vyšité cesty, tudíž závislost na místě nakontaktování na plošce, nebo tvaru vyšité plošky pro kontaktování. Dalším důvodem odlišných hodnot odporu může být odpor podle rovnice (1) závislý na kvalitě provedeného nakontaktování.

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2)$$

4.1.1 Dvoubodové měření elektrických odporů dráhy ploška – kontakt

Dvoubodové měření odporů bylo prováděno pro všechny vzorky ve stejný čas. Měřilo se na multimetru „Fluke 179 True RMS multimeter“.

Dvoubodovým měřením lze vyhodnotit kvalitu nakontaktování vodivé nitě. Naměřený elektrický odpor dvoubodovým měřením je součtem odporů samotného odporu kontaktu, tak i dráhy vodivé nitě s odporem 7,5 Ω /m. Na výsledné hodnotě odporu má tedy vliv i místo nakontaktování na plošce pro umístění měřící sondy.

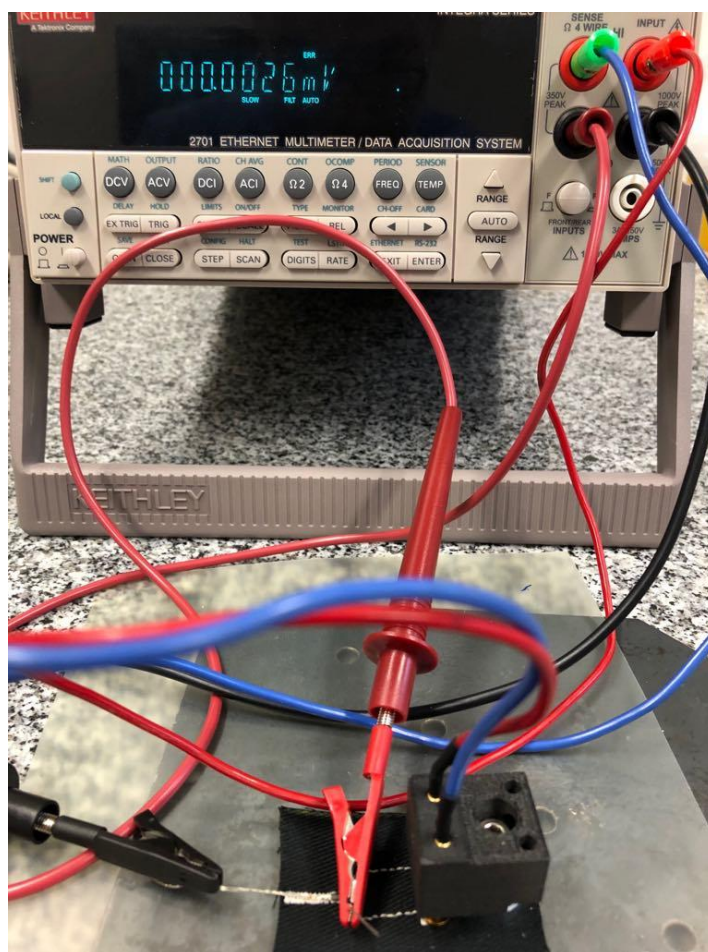


Graf 1 Odpor dráhy ploška - kontakt

Měření bylo prováděno pro uspořádání „levá ploška – kontakt“, tak i pro uspořádání „pravá ploška – kontakt“. Z důvodu přehlednosti grafu jsou naměřené hodnoty zprůměrovány. Měřením se ověřila funkčnost kontaktů. Vzorky s nenaměřeným odpovídajícím odporem byly vyřazeny. V případě nekonečného odporu došlo buď k nenakontaktování nebo přerušení vodivé nitě. Nízká hodnota odporu představuje kvalitní nakontaktování, zatímco vyšší hodnota odporu nakontaktování horší.

4.1.2 Čtyřvodičové měření elektrických odporů

Čtyřvodičová metoda měření elektrického odporu je vhodná pro měření velmi malých hodnot odporů, v tomto případě jednotky až desítky $m\Omega$. Metoda eliminuje odpor dráhy nitě a výsledný naměřený odpor je tedy pouze odpor kontaktu samotného. Měření bylo prováděno na 10 vzorcích pro každý druh kontaktu.

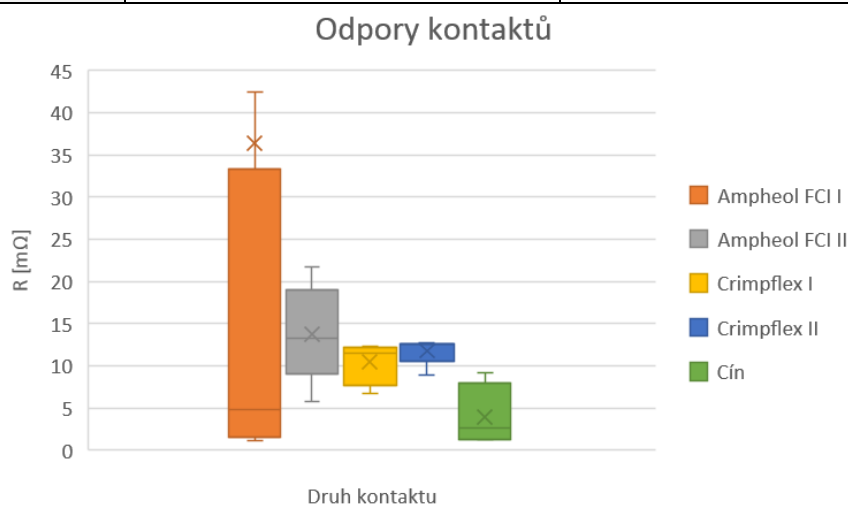


Obr. 60 Průběh měření odporu čtyřvodičovou metodou

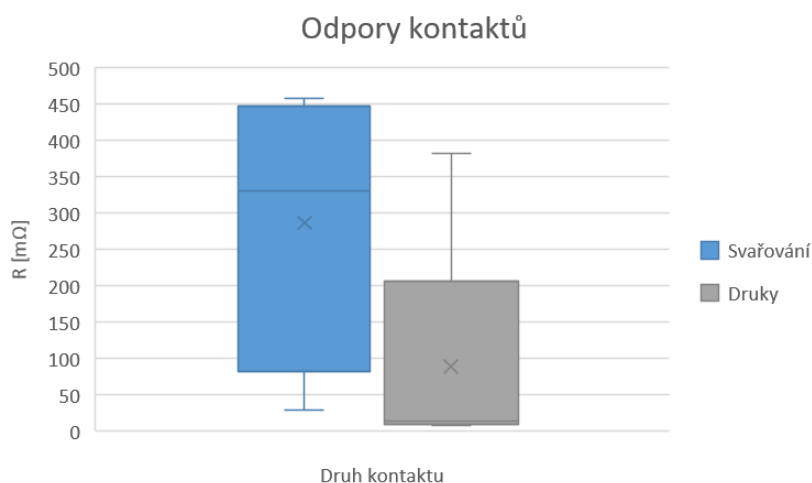
Pro vyhodnocení kvality kontaktů byla zvolena hodnota 500 mΩ jako referenční. Tato hodnota u nitě dlouhé 1 m s odporem 7,5 Ω představuje po vyšití 13% odpor vůči odporu nitě. Hodnoty odporů nad touto hodnotou byly pro grafické vyhodnocení vyřazeny. Počty kontaktů s odporem menším než 2 Ω a 500 mΩ jsou pro kontakty:

Tab. 3 Naměřené hodnoty

Kontakt	Počet vzorků z celkových 10 vzorků s odporem menším než 2 Ω u:	Počet z celkových 10 vzorků s odporem menším než 500 mΩ u:
Amphenol FCI I	10	9
Amphenol FCI II	10	10
Crimpflex I	4	4
Crimpflex II	5	5
Druk	5	5
Svařování	10	4
Cín	8	4



Graf 2 Odpory kontaktů



Graf 3 Odpory kontaktů

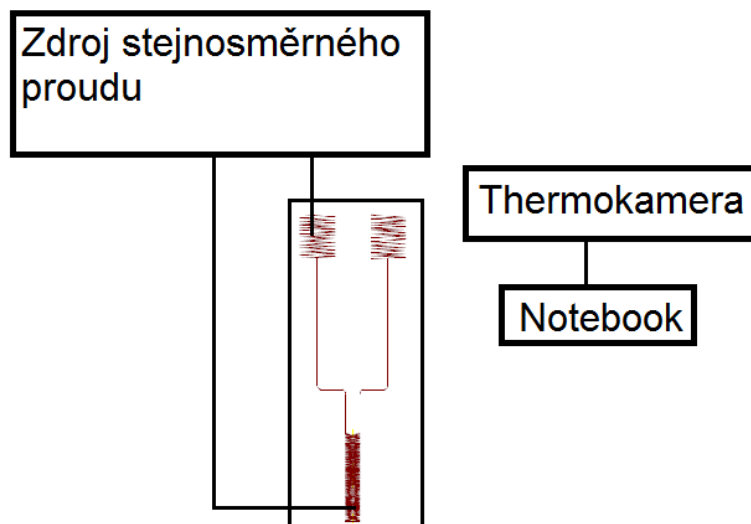
Značka střední hodnoty odporu je v grafech zobrazena křížkem.

Na hodnocení kvalit kontaktů měřením elektrických odporů se lze dívat dvěma pohledy. První pohled je z hlediska pravděpodobnosti vzniku funkčního kontaktu. Za funkční kontakt jsou označeny kontakty s odporem menším než 2Ω . Nejmenší pravděpodobnost vzniku kontaktu je u kontaktu Crimpflex I, Crimflex II a Druky, které měly pravděpodobnost nakontaktování jen do 50 %, zatím co u pájení cínem je pravděpodobnost 80 % a u Amphenol FCI I, Amphenol FCI II a Svařování vznikl funkční kontakt u všech z 10 vzorků. Druhým pohledem je hodnocení kontaktního odporu do hodnoty $500 \text{ m}\Omega$, kde je do 50 % vzorků s hodnotou odporu do $500 \text{ m}\Omega$ u metod kontaktování Crimflex I, Crimflex II, Druk, Svařování a pájení Cínem, zatím co u Amphenol FCI I Amphenol FCI II je pravděpodobnost téměř 100%. Nejlepší kontakt je podle měření Amphenol FCI II s průměrným odporem kontaktu $13,71 \text{ m}\Omega$ a funkčností pro všechny vzorky.

4.2 Zkouška kontaktů aplikací vyšších hodnot proudu a měření termokamerou

Měření vzorků termokamerou představuje hodnocení vzorků kontaktů pro vyšší přivedené proudy (150 mA). Dle teoretického předpokladu by měly kvalitně realizované kontakty schopny přenášet vyšší nebo minimálně stejný proud, jako nitě samotné.

Oteplení procházejícím proudem bylo měřeno na kameře Micro-Epsilon thermoimager. Jako zdroj byl použit laboratorní zdroj SS zdroj „Zhaoxin PS-300-2d II“ nastavený na dodávající proud 150 mA a napětí 0,5 V pro všechny vzorky. Jedna svorka byla připnuta na plošku a druhá na připájený vývod ke kontaktu (Obr. 61).



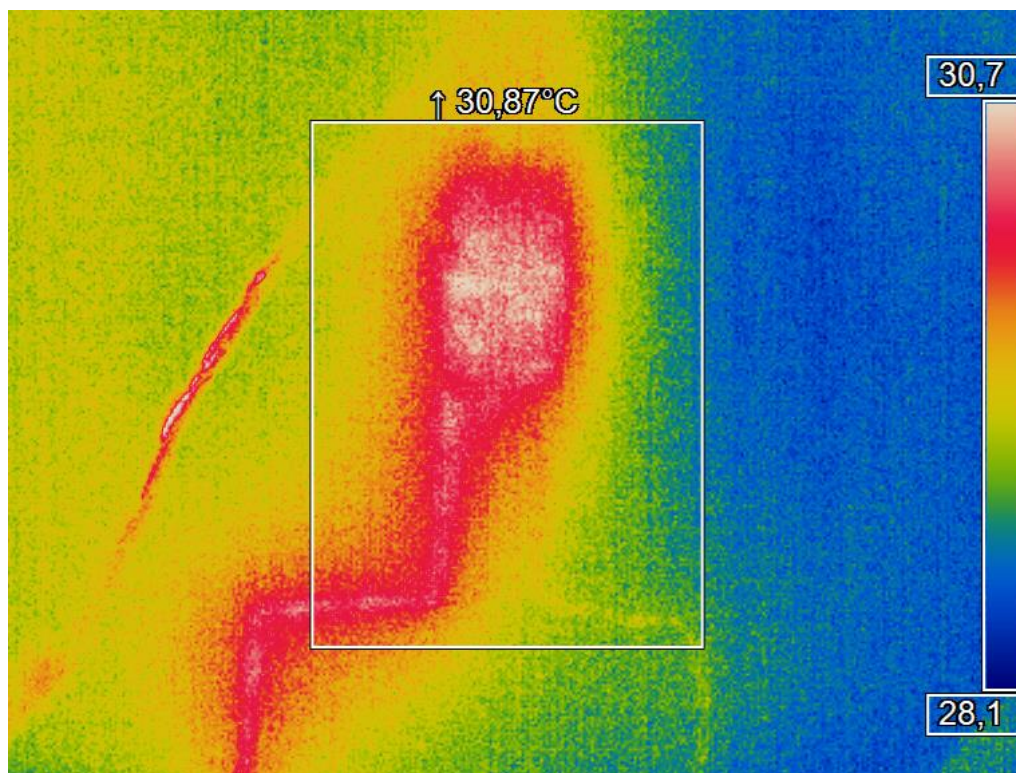
Obr. 61 Schéma zapojení pro měření termokamerou

Horké místo (Hot spot) zobrazený snímčích bílou barvou představuje nedokonalý kontakt. Teplá místa na snímčích ale vždy nemusí představovat teplotní hotspoty. Tato místa mohou vzniknout odrazem z okolí. Pro neznámost emisivity vzorků kontaktů byla na vzorky nanášena termovizní barva od společnosti LabIR® s vysokou emisivitou, která umožňuje přesné termografické měření (Obr. 62).



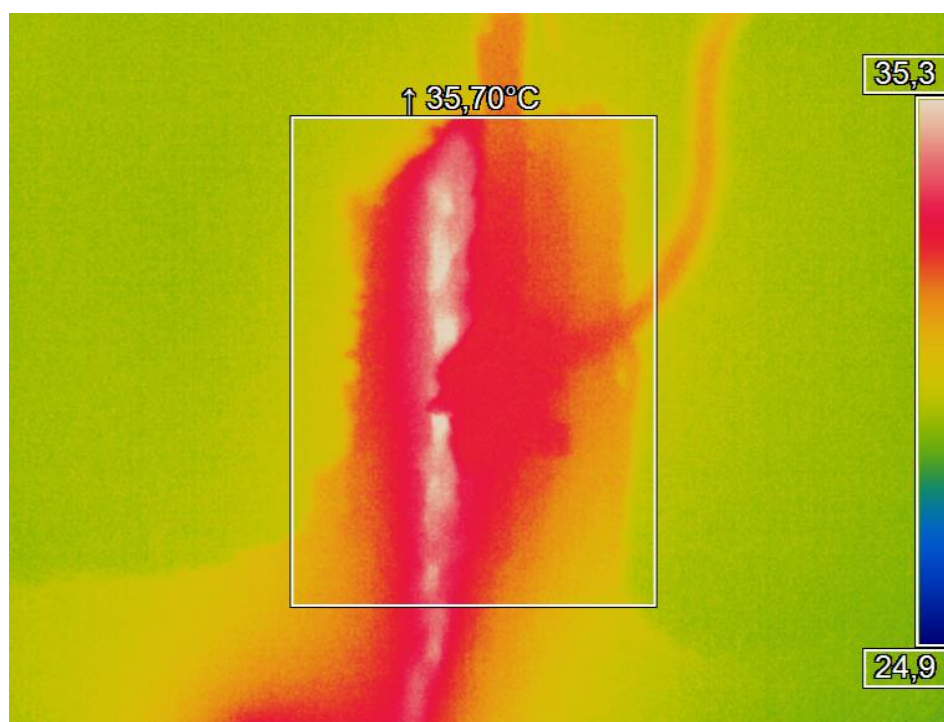
Obr. 62 Amphenol FCI kontakt s nanášenou termovizní barvou

Měření horkých míst při průchodu vyšších hodnot proudu bylo prováděno na všech typech vzorků s výjimkou krimpovacích konektorů typu druk a crimpflex, které byly označeny jako nevhodné pro malou pravděpodobnost vzniku funkčního kontaktu. Snímky jednotlivých kontaktů byly zachyceny termokamerou.

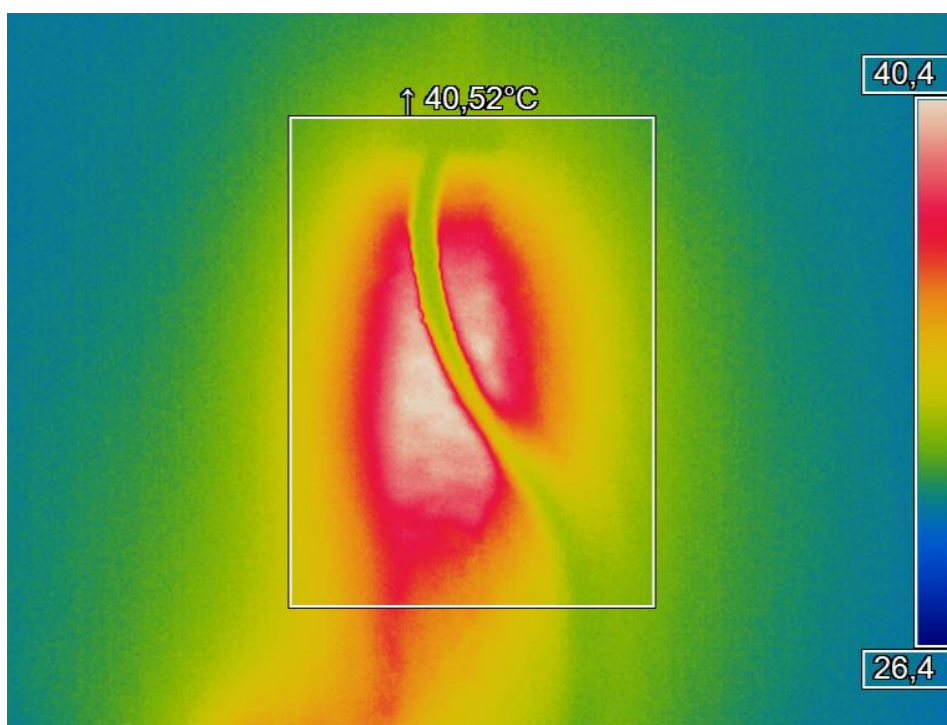


Obr. 63 Amphenol FCI

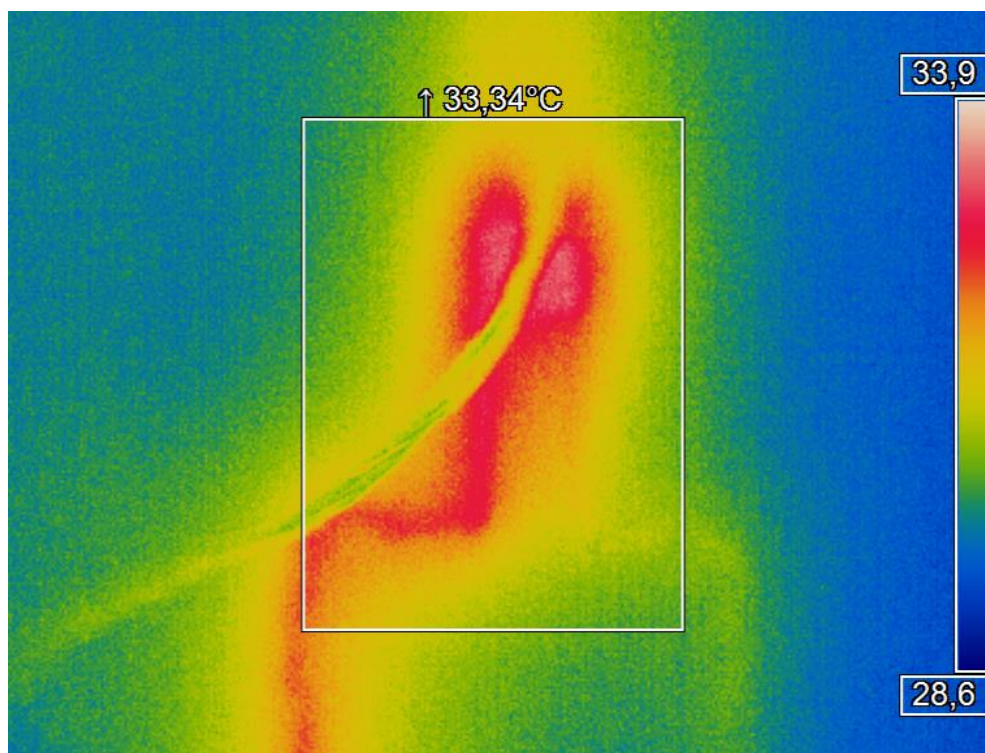
Na snímku z termokamery pro otočený Amphenol FCI konektor (Obr. 64) je názorné předvedení zahřátí nitě jen do místa kontaktu (levá strana plošky).



Obr. 64 Amphenol FCI otočený



Obr. 65 Pájení



Obr. 66 Svařování

Na teplotu má významný vliv místo nakontaktování. Pokud ke vzniku propojení dojde na začátku plošky, není zbylá dráha nitě zahřívána, protože jí neprochází elektrický proud. Na snímcích je zřejmé místo, kde je nahuštěna vyšitá nit a kde se tímto významně zvyšuje teplota. Nejlepším kontaktem podle měření je svařování, ačkoli by měl mít nejlepší vlastnosti kontaktování cínem. Kontaktování cínem je představitelem metalurgického spojení, tudíž nedochází k propojení pouze v jednom konkrétním bodě jako u kontaktů ostatních. Důvodem, proč se toto tvrzení měřením nepotvrdilo je způsoben možným nedokonalým přilnutím cínu k niti. Tudíž nedošlo k tak dokonalému spojení cínu a vodivých vláken a potvrzuje to i výsledek měření odporu čtyřvodičovou metodou odporu.

Teplotní snímání přímo koresponduje s dvoubodovým měřením odporů, kde se tímto měřením ověřila kvalita připojení kontaktu. Nižší hodnota naměřená dvoubodovým měření představuje kvalitnější kontakt (nakontaktováno vícero vodivých vláken).

Závěr

Cílem této práce bylo popsat možné způsoby kontaktování chytrých textilií s vyšitou vodivou cestou realizovanou pomocí izolované vodivé hybridní nitě a najít nejvhodnější způsob jejího kontaktování. Na začátku práce byly vybrány jako potenciálně vhodné způsoby kontaktování metody svařování, pájení a zařezávací neboli krimpovací konektory, konkrétně kovové nýtovací stiskací knoflíky, konektor Crimpflex od společnosti Nicomatic a krimpovací konektor od společnosti Amphenol, konkrétně Amphenol FCI.

Pro každý typ kontaktu bylo vytvořeno 10 vzorků, u kterých se měřením porovnávaly jejich elektrické parametry. Pro specifický způsob vzniku kontaktu u Amphenol FCI konektoru a Crimpflex konektoru byl vytvořen ještě jeden návrh testovacího motivu přímo korespondujícího se směrem zářezu kovových prořezávacích nožů a porovnával se s původním tvarem motivu.

Kontaktní odpor pro celkově 10 vzorků byl menší než 2Ω u Amphenol FCI I, Amphenol FCI II konektoru a Svařování u všech vzorků. U pájení cínem byl odpor menší než 2Ω u 8 vzorků. Druky a Crimpflex II měly odpor menší než 2Ω u 5 vzorků a jen 4 vzorky Crimpflex I měly odpor menší než 2Ω . Tímto lze označit jako nevhodné druhy a Crimpflex konektory pro nízkou pravděpodobnost vzniku funkčního kontaktu.

U měření čtyřvodičovou metodou byla stanovena referenční hodnota odporu $500 \text{ m}\Omega$. Nad touto velikostí odporu se vzorky nezapočítávaly do dalšího hodnocení. Průměrná hodnota kontaktního odporu u Amphenol FCI I konektoru z 10 vzorků je $36,41 \text{ m}\Omega$, Amphenol FCI II konektoru z 10 vzorků je $12,82 \text{ m}\Omega$, Crimpflex I konektoru z 4 vzorků je $10,5 \text{ m}\Omega$, Crimpflex II konektoru z 5 vzorků je $11,80 \text{ m}\Omega$, Druk konektoru z 5 vzorků je $89,22 \text{ m}\Omega$, Svařování z 4 vzorků je $301,13 \text{ m}\Omega$ a pájení z 4 vzorků je $3,97 \text{ m}\Omega$. Nejlepší metodou kontaktování lze označit Amphenol FCI II konektor, který je funkční na všech vzorcích a zároveň průměrná hodnota kontaktního odporu je $12,82 \text{ m}\Omega$.

Druhým měřením byla zkouška vyšších přiložených proudů. Tato zkouška byla prováděna za účelem ověření, zda-li v oblasti kontaktu nevznikají horká místa. Měřením bylo ověřeno, že všechny vzorky jsou odolné proti přiloženým proudům.

Výhodou kontaktování pomocí druku je vytvoření masivního kontaktu bez nutnosti enkapsulace, naopak mezi nevýhody patří nutnost správného nasměrování a umístění na textilní substrát. Další nevýhodou je 50% pravděpodobnost nakontaktování. Výhodou kontaktování krimpovacím konektorem Crimpflex je možné použití i pro izolovaná vodivá vlákna, zatím co nevýhoda je nutnost enkapsulovat. Nevýhoda této metody je malá pravděpodobnost nakontaktování. Z 10 vzorků bylo funkčních jen 5 vzorků. Amphenol FCI je možné použít i pro izolovanou hybridní nit, ale je nutné enkapsulovat pro vytvoření pevného kontaktu. Největší výhodou metody je 100% funkčnost nakontaktování a zároveň nízký kontaktní odpor. Svařováním lze nakontaktovat i vodivá vlákna a to bez nutnosti přidání spojovacího materiálu, což z této metody dělá neekonomičtější řešení. Mezi nevýhody patří ztráta textilních vlastností látky v místě svaru. Naopak výborným výsledkem je 100% funkčnost vzorků. Pájení cínem je metoda kontaktování funkční na 80 % vzorků, kterou lze aplikovat i na izolovaná vodivá vlákna. Nevýhodou metody je teplotní zatížení textilního substrátu při vzniku kontaktu. Kontaktování Amphenol FCI a Crimpflex konektorem vyžaduje přístup z kraje látky. Kontaktování svařováním, pájení cínem a u druku je možné tyto metody použít v jakékoli části textilie. Z hlediska hustoty aplikace kontaktů vyžadují největší prostor okolo sebe druky. Naopak s nejvyšší hustotou lze vytvářet kontakty metodou svařování nebo pájení cínem.

Z cenového hlediska je nejvýhodnější metoda kontaktování svařováním, která na rozdíl od ostatních nevyžaduje dodání dalšího spojovacího materiálu. Druhou neekonomičtější variantou je kontaktování pájením. Nejvíce nákladné je kontaktování krimpovacími konektory. Myslím si, že kontaktování je a bude velmi podstatnou částí výroby chytrých textilií. V současné době si výrobci o metodách kontaktování drží informace jen pro sebe a nikde je příliš nezveřejňují. Opakem je tomu u šití vodivých cest, kde je zveřejněno mnohem více informací.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] GONÇALVES, Carlos, Alexandre FERREIRA DA SILVA, João GOMES, Ricardo SIMOES, Carlos GONÇALVES, Alexandre FERREIRA DA SILVA, João GOMES a Ricardo SIMOES. Wearable E-Textile Technologies: A Review on Sensors, Actuators and Control Elements. *Inventions* [online]. 2018, 3(1), 14 [vid. 2019-04-08]. ISSN 2411-5134. Dostupné z: doi:10.3390/inventions3010014
- [2] LINZ, Torsten, Christine KALLMAYER, Rolf ASCHENBRENNER a Herbert REICHL. Embroidering electrical interconnects with conductive yarn for the integration of flexible electronic modules into fabric. *Proceedings - International Symposium on Wearable Computers, ISWC* [online]. 2005, 2005(March 2014), 86–89. ISSN 15504816. Dostupné z: doi:10.1109/ISWC.2005.19
- [3] *Electronic textiles - DZP technologies* [online]. [vid. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.dzptechnologies.com/electronic-textiles/>
- [4] FOY KYLIE. *Fibers embedded with electronics are putting fabrics to work | MIT Lincoln Laboratory* [online]. 2018 [vid. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.ll.mit.edu/news/fibers-embedded-electronics-are-putting-fabrics-work>
- [5] The History of Wearables - Tech Will Save Us. *techwillsaveus.com* [online]. [vid. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.techwillsaveus.com/blog/the-history-of-wearables/>
- [6] LAURENTI ARNAULT. The History Of Wearable Technology Up To Implantable | WT Vox. *wtvox.com* [online]. 2015 [vid. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://wtvox.com/fashion-innovation/wearable-technology/>
- [7] *History of E-Textile* [online]. 2017 [vid. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://etechtex.wordpress.com/2017/05/28/history-of-e-textile/>
- [8] SARIF ULLAH PATWARY, Md Syduzzaman. Smart Textiles and Nano-Technology: A General Overview. *Journal of Textile Science & Engineering* [online]. 2015, 05(01). ISSN 21658064. Dostupné z: doi:10.4172/2165-8064.1000181
- [9] The age of smart fabrics | Smart textiles in healthcare. *dr-hempel-network.com* [online]. 2018 [vid. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.dr-hempel-network.com/digital-health-technology/smart-textiles-in-healthcare/>
- [10] Smart Fabrics Market Size, Share | Industry Analysis Report, 2019-2025. *grandviewresearch.com* [online]. 2018 [vid. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/smart-textiles-industry>
- [11] EKG | IKEM. *ikem.cz* [online]. 2019 [vid. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.ikem.cz/cs/ekg/a-399/>
- [12] What Is an Electrocardiogram (EKG or ECG) Test: Purpose & Types. *webmd.com* [online]. [vid. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.webmd.com/heart-disease/electrocardiogram-ekgs#1>
- [13] OTTENBACHER, J., U. GROSMANN, C. KUNZE, S. ROMER a W. STORK. Integration of a Bluetooth Based ECG System into Clothing [online]. 2004, (1), 186–187. Dostupné z: doi:10.1109/iswc.2004.26
- [14] ŽŮRKOVÁ, Klára. Statistická ročenka 2018 Česká republika Obsah Příloha. *hzsčr.cz*. 2019.
- [15] *smartPRO smart protection* [online]. nedatováno [vid. 2019-04-24]. Dostupné z: www.goodpro.cz
- [16] BUYLEGUY, EUFINGER KARIN, BAXA MILAN, Cleeren Steven. *Smart Textiles - HSI Magazine* [online]. [vid. 2019-04-24]. Dostupné

- z: <https://www.hsimagazine.com/article/smart-textiles>
- [17] VOCHOC uspěl s chytrým zásahovým oblekem v mezinárodním tendru, byl nejlepší z celkem 54 uchazečů. *pozary.cz* [online]. 2016. Dostupné z: <https://www.pozary.cz/clanek/152672-vochoc-uspel-s-chytrym-zasahovym-oblekem-v-mezinarodnim-tendru-byl-nejlepsi-z-celkem-54-uchazecu/>
- [18] *Soma - Women's Lingerie, Bras, Panties, Swimwear & More - Soma* [online]. [vid. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.soma.com/store/>
- [19] TECHLICIOUS, LLC. Soma InnoFit Bra Will Help You Find Your Perfect Fit - Techlicious [online]. nedatováno [vid. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.techlicious.com/blog/soma-innofit-smart-bra/>
- [20] CONDITT JESSICA. Soma's smart bra means never buying the wrong size again. *engadget.com* [online]. 2019 [vid. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.engadget.com/2019/01/07/soma-bra-size-bluetooth-somainnofit/>
- [21] MCGRATH JENNY. The Somainnofit Is a Smart Bra that Measures Your Size | Digital Trends. *digitaltrends.com* [online]. 2019 [vid. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.digitaltrends.com/home/ces-2019-soma-somainnofit-smart-bra/>
- [22] *Smart sock v2.0 & Sensoria Core - SensoriaFitness* [online]. [vid. 2019-03-16]. Dostupné z: <http://store.sensoriafitness.com/smart-sock-v2-0-sensoria-core/>
- [23] STEPHAN ELÍAS. Sensoria's new smart running socks coach from the feet | Ennovative Health. *ennovativehealth.com* [online]. 2017 [vid. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.ennovativehealth.com/uncategorized/sensorias-new-smart-running-socks-coach-from-the-feet/>
- [24] PERRIER, A., N. VUILLERME, V. LUBOZ, M. BUCKI, F. CANNARD, B. DIOT, D. COLIN, D. RIN, J. P. BOURG a Y. PAYAN. Smart Diabetic Socks: Embedded device for diabetic foot prevention. *Irbm* [online]. 2014, 35(2), 72–76. ISSN 18760988. Dostupné z: doi:10.1016/j.irbm.2014.02.004
- [25] KADLEC KAREL. *MĚŘENÍ A REGULACE TLAKU, KALIBRACE TLAKOMĚŘŮ* [online]. nedatováno [vid. 2019-04-30]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/ucebnice/LO/download/B6-priprava.pdf>
- [26] Review: Xiaomi Mijia Shoes - Is This The Future Of Shoes? *techrw.com* [online]. 2017 [vid. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://techrw.com/2017/11/21/review-xiaomi-mijia-shoe-is-this-the-future-of-shoes/>
- [27] GERLOF MUIZEBELT. Xiaomi Mi Smart Shoes Review – Gerlof Muizebelt – Medium. *medium.com* [online]. 2018 [vid. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://medium.com/@compareimports/xiaomi-mi-smart-shoes-review-474504ee3b94>
- [28] HARISH JONNALAGADDA. Xiaomi Mi Smart Shoes review: Obsessively track your workouts | Android Central. *androidcentral.com* [online]. 2017 [vid. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.androidcentral.com/xiaomi-mi-smart-shoes-review>
- [29] PEČÍRKOVÁ JAROSLAVA. Příze — nit — vlákno. *Naše řeč* [online]. 1986 [vid. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://nase-rec.ujc.cas.cz/archiv.php?art=6635>
- [30] SKŘIVÁNKOVÁ, Petra. Práce s přízí. nedatováno, 35–38.
- [31] *Polyamide Fibres* [online]. [vid. 2019-03-16]. Dostupné z: https://www.ivc-ev.de/live/index.php?page_id=70
- [32] *Silver fibre* [online]. [vid. 2019-03-16]. Dostupné z: <http://www.r-stat.fr/uk/silver-fibre.php>
- [33] E-Textiles For Wearability: Review Of Integration Technologies | Textile World. *textileworld.com* [online]. 2010 [vid. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.textileworld.com/textile-world/features/2010/04/e-textiles-for-wearability-review-of-integration-technologies/>

- [34] EL-NEWASHY, R F, M A SAAD a G M TURKY. *Integration of Conductive Yarns into Fabric by Stitching* [online]. 2012 [vid. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://www.americanscience.org><http://www.americanscience.org>editor@americanscience.org<http://www.americanscience.org>.28
- [35] LEON, A. L., L. R. MANEA a L. HRISTIAN. Recent researches concerning the obtaining of functional textiles based on conductive yarns. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. 2016, 145(3). ISSN 1757899X. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/145/3/032005
- [36] ROH, Jung-Sim. Conductive Yarn Embroidered Circuits for System on Textiles. *Wearable Technologies* [online]. 2018. Dostupné z: doi:10.5772/intechopen.76627
- [37] REJSA DAGMAR. *Textilní vlákna* [online]. [vid. 2019-05-09]. Dostupné z: <http://www.krinolina.cz/textilni-vlakna/>
- [38] OMRANI, Fatma, Peng WANG, Damien SOULAT, Manuela FERREIRA a Pierre OUAGNE. Analysis of the deformability of flax-fibre nonwoven fabrics during manufacturing. *Composites Part B: Engineering* [online]. 2017, 116, 471–485. ISSN 13598368. Dostupné z: doi:10.1016/j.compositesb.2016.11.003
- [39] *Shieldex® Non-wovens | Statex* [online]. [vid. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.statex.de/en/shieldex-non-wovens/>
- [40] *Základní pojmy - Pletenina* [online]. [vid. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://www.skolertextilu.cz/elearning/311/textilni-terminologie-zboziznalstvi/pleteniny/Zakladni-pojmy.html>
- [41] ANNA W. *Wprowadzenie do materiałoznawstwa - tkanina* [online]. [vid. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://blog.pdfsewingpatterns.com/pl/wprowadzenie-do-materialoznawstwa/>
- [42] *Shieldex® Knitted Fabrics | Statex* [online]. [vid. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.statex.de/en/shieldex-knitted-fabrics/>
- [43] *Základní pojmy - Tkanina* [online]. [vid. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://www.skolertextilu.cz/elearning/411/zaklady-textilnich-technologiei/technologie-tkani/Zakladni-pojmy.html>
- [44] *Shieldex® Woven Fabrics | Statex. statex.de* [online]. 2019 [vid. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://www.statex.de/en/shieldex-woven-fabrics/>
- [45] PAKOSTOVÁ VĚRA. *TEXTILNÍ VLÁKNA text k semináři* [online]. 2010 [vid. 2019-05-24]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2017/C5985/um/Textilni_vlakna-text_k_prednasce.pdf
- [46] Principle of Resistance Welder | Micro Joining Equipment | NIPPON AVIONICS CO.,LTD. *avio.co* [online]. [vid. 2019-03-17]. Dostupné z: <http://www.avio.co.jp/english/products/assem/principle/welding/index.html>
- [47] Odporové svařování - bodovací kleště, stolní bodovky, stojanové bodovky, navařovací stroje | Svářecí technika Schinkmann.cz. *schinkmann.cz* [online]. [vid. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/odporove-svarovani>
- [48] CD Resistance Welding. *sunstonewelders.com* [online]. 2019 [vid. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://sunstonewelders.com/cd-welding/>
- [49] AMADA MIYACHI. Step Welding. *amadamiyachi.com* [online]. 2016 [vid. 2019-03-17]. Dostupné z: <http://www.amadamiyachi.com/glossary/glossstepwelding>
- [50] HOLIFIED TANDI. What is Ultrasonic Welding and is it Right for Me? — RevPart. *revpart.com* [online]. 2017 [vid. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://revpart.com/ultrasonic-welding-right/>
- [51] WEBER AUSTIN. *Metal vs. Plastic Ultrasonic Welding* [online]. 2002 [vid. 2019-06-01]. Dostupné z: <https://www.assemblymag.com/articles/84139-metal-vs-plastic->

- ultrasonic-welding
- [52] *Spojování a řezání ultrazvukem* [online]. [vid. 2019-06-01]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/spojovani-a-rezani-ultrazvukem.html>
- [53] *Svařování plastů* [online]. [vid. 2019-06-01]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/13.html>
- [54] *Torzni metoda pro náročné aplikace* [online]. [vid. 2019-06-03]. Dostupné z: <https://www.wiretech.cz/c/ultrazvukova-technologie/ultrazvukove-svarovani-plastu/torzni-metoda-pro-narocne-aplikace>
- [55] *Ultrazvuk ve strojírenství* [online]. [vid. 2019-06-01]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/15207592/>
- [56] *Soldering conductive fabric* [online]. [vid. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.kobakant.at/DIY/?p=1718>
- [57] Sewing with Conductive Thread - learn.sparkfun.com. *learn.sparkfun.com* [online]. [vid. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/sewing-with-conductive-thread>
- [58] *Hard/soft connections* [online]. [vid. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.kobakant.at/DIY/?p=1272>
- [59] *Knoflíky stiskací druky Roland | KOH-I-NOOR a.s.* [online]. [vid. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.waldes.cz/katalog/textilni-galanterie/knofliky-stiskaci/druky/druky-roland-na-slabe-latky/sypane/839502000000>
- [60] Connectors for flexible circuits & PCB : Crimpflex™ Contacts | NICOMATIC. *nicomatic.com* [online]. 2019 [vid. 2019-03-17]. Dostupné z: http://www.nicomatic.com/product-crimpflex_contacts-64-en.htm
- [61] *Amphenol FCI Clincher Connector* [online]. [vid. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.ebay.ph/itm/Amphenol-FCI-Clincher-Connector-2-Position-Male/232919751979?hash=item363b195d2b:g:YUwAAOSw6UlcgUec>
- [62] *Amphenol FCI Clincher Connector - SparkFun Electronics* [online]. [vid. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/products/14195>
- [63] XU, Wen, Xiaofeng DAI, Teng ZHANG a Tao WANG. Dual effects of water on the performance of copper complex conductive inks for printed electronics. *Chemical Engineering Science* [online]. 2018, 190, 40–47. ISSN 00092509. Dostupné z: doi:10.1016/j.ces.2018.06.012
- [64] PARK, Bong Kyun, Dongjo KIM, Sunho JEONG, Jooho MOON a Jang Sub KIM. Direct writing of copper conductive patterns by ink-jet printing. *Thin Solid Films* [online]. 2007, 515(19 SPEC. ISS.), 7706–7711. ISSN 00406090. Dostupné z: doi:10.1016/j.tsf.2006.11.142
- [65] Conductive Paint Art: 13 Steps. *instructables.com* [online]. [vid. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://www.instructables.com/id/Conductive-Paint-Art/>
- [66] TEODORESCU MAX. Conductive paint is not just a toy - Electronic Products. *electronicproducts.com* [online]. 2017 [vid. 2019-03-17]. Dostupné z: https://www.electronicproducts.com/Manufacturing/IC_and_Board_Assembly/Conductive_paint_is_not_just_a_toy.aspx
- [67] JOO, Hyung Goun, Yong Hoon JANG a Heung Soap CHOI. Electrical contact resistance for a conductive Velcro system. *Tribology International* [online]. 2014, 80, 115–121. ISSN 0301679X. Dostupné z: doi:10.1016/j.triboint.2014.06.016
- [68] *conductive-hook-loop-tape-velcro-3-long in Protocentral india* [online]. [vid. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://www.protocentral.com/conductive-fabric-/333-conductive-hook-loop-tape-velcro-3-long-.html>
- [69] *Kepr černý | DůmLátek.cz* [online]. [vid. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.dumlatek.cz/produkt/kepr-cerny-1/>