

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra technologií a měření (KET)

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Smart textile – technologie kontaktování

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2019/2020

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

Jméno a příjmení: **Blanka SOUKUPOVÁ**
Osobní číslo: **E17B0031K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Téma práce: **Smart textilie – technologie kontaktování**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Zásady pro vypracování

1. Definujte pojem smart textilie.
2. Provedte rešerši současného stavu kontaktování v oblasti smart textilií. Věnujte pozornost oblasti vyšší-
né elektroniky.
3. Zhodnoťte využívané metody a možnosti jejich využití.



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

Seznam doporučené literatury:

1. Xiaoming Tao, „Handbook of Smart textiles“, Institute of Textiles and Clothing Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Hong Kong

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Pavec**
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **4. října 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **11. června 2020**



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



Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 4. října 2019

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá smart textiliemi, v literatuře označovanými také jako inteligentní či aktivní. Obsahuje historii, rozdělení textilií, popisuje princip kontaktování u jednotlivých metod, zhodnocení jejich využití. Zvláštní důraz je kladen na oblast vyšívání elektroniky. V praktické části byl vytvořen funkční vzorek inteligentní textilie a porovnány vlastnosti několika druhů kontaktování.

Klíčová slova

Inteligentní textilie, kontaktování, vodivé cesty, vodivý inkoust, vyšívání

Abstract

This bachelor thesis deals with smart textile, in literature termed also like intelligent or active. The thesis contains history, distribution of textile and it describes the principles of making contacts for each method and description of their utilization. Particular emphasis is placed on embroidered electronics. In practical part, there is functional sample created and few contacting methods compared.

Key words

Smart textiles, contacting, conductive paths, conductive ink, embroidery

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala 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 18.6.2020

Blanka Soukupová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala Ing. Martinu Pavcovi za odborné vedení mé práce, za jeho čas, cenné profesionální poznámky, možnost konzultací, a především za trpělivost. Dále bych ráda vyjádřila poděkování své rodině, bez které bych tuto práci nemohla dokončit

Obsah

OBSAH	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD	11
1 HISTORIE TEXTILU S FUNKCEMI	12
1.1 TEXTILNÍ PRŮMYSL SOUČASNOSTI.....	13
2 DĚLENÍ TEXTILIÍ	15
2.1 SMART TEXTILIE.....	15
3 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ	18
3.1 ELEKTRICKÁ VODIVOST, ELEKTRICKÝ ODPOR.....	18
3.2 MĚRNÝ ELEKTRICKÝ ODPOR – REZISTIVITA.....	18
3.3 PŘECHODOVÝ ODPOR.....	19
3.4 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI VLÁKEN.....	19
4 NOSITELNÁ ELEKTRONIKA	20
4.1 VODIVÉ CESTY.....	20
4.1.1 <i>Vyšívání elektroniky</i>	20
4.1.2 <i>Vodivý inkoust</i>	28
4.2 KONTAKTOVÁNÍ V OBLASTI ELEKTRONIKY.....	32
4.2.1 <i>Odporové svařování</i>	32
4.2.2 <i>Ultrazvukové svařování</i>	33
4.2.3 <i>Vodivý suchý zip</i>	34
4.2.4 <i>Pájení</i>	34
4.2.5 <i>Přišití</i>	35
4.2.6 <i>Krimpy, druky</i>	36
5 REALIZACE VZORKU INTELIGENTNÍ TEXTILIE	37
5.1 POUŽITÉ KOMPONENTY.....	37
5.2 OBVOD S FOTOREZISTOREM.....	39
5.2.1 <i>Schéma obvodu</i>	39
5.2.2 <i>Realizace</i>	39
5.3 OBVOD S LED DIODAMI.....	41
5.3.1 <i>Schéma obvodu</i>	42
5.3.2 <i>Realizace</i>	42
5.4 MĚŘENÍ ODPORU KONTAKTŮ A VODIVÝCH CEST.....	43
6 ZÁVĚR	46
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	48

Seznam symbolů a zkratk

DPS	deska plošného spoje
EMG	elektromyografie
IT	informační technologie
LED	z anglického Light-Emitting Diode, elektroluminiscenční dioda
PES	polyester
Ph	power of hydrogen, záporný dekadický logaritmus číselné hodnoty koncentrace vodíkových iontů v roztoku
PUR	polyuretan
SMD	z anglického Surface Mount Device, součástka pro povrchovou montáž plošných spojů
UV	ultrafialové

Úvod

Inteligentní textilie jsou nejrychleji rostoucí oblast textilního průmyslu z důvodu široké možnosti jejich využití (hlavně v oblasti zdravotnictví, sportu a ochrany života), velkého podnikatelského potenciálu a rychlého vývoje elektrotechnických komponentů, materiálů a technologií spjatých s touto tematikou. Při jejich vývoji a uvedení do praxe spolupracují obory inženýrské, přírodovědné, konstruktérské, ale i obchodní a marketingové.

První část této bakalářské práce, teoretická, je věnována problematice inteligentních textilií z hlediska jejich historie a vývoje, současného používání, popisu materiálů potřebných k jejich výrobě. Dále je zaměřena na popis současných metod a technik využívaných ke kontaktování inteligentních textilií. Mezi tyto patří použití vodivého inkoustu, pájení, svařování, suché zipy, přišívání či různé krimpy a druky. Zvláštní důraz je v práci kladen na vyšívání – vodivé nitě, textilie a strojní vyšívání, popis strojů i metod. Všechny popsány materiály a metody mají mnoho variant a je možné vytvoření velkého množství kombinací jejich použití. Je proto nutné věnovat při jejich výběru pozornost všem parametrům pro dosažení požadovaných kritérií.

Druhá část, praktická, se zabývá návrhem a realizací dvou jednoduchých obvodů na textilním podkladu. Byl vytvořen obvod s fotorezistorem a LED diodou. Na nakontaktování bylo použito přišití vodivým drátem a pájení. Vodivé cesty na textilním substrátu byly vytvořeny vodivým inkoustem. Na těchto cestách byl měřen odpor a zjišťovány úbytky napětí v závislosti na délce spoje. Druhým vytvořeným obvodem bylo zapojení tří stejných LED diod, z nichž každá byla nakontaktována jiným způsobem, pro možnost porovnání kvality jednotlivých kontaktů. Byl použit kovový druk, měděný drátek a textilní nit s vodivým jádrem.

1 Historie textilu s funkcemi

První použití elektricky vodivých vláken bylo zaznamenáno již v 17.století. Důvodem nebyla vodivost, ale zlaté a stříbrné nitě byly použity pouze pro ozdobu.

V devatenáctém století již lidé kombinují elektřinu a oděvy, např. osvětlená čelenka (1883) nebo osvětlené divadelní šaty (1884).



Obr1. Divadelní představení, New York, 1884

V roce 1960, v době velkého rozmachu plastů, vzniká mnoho nových materiálů. Ve francouzské společnosti Rhovyl vzniká vysoce izolační textilie na bázi PVC. Ta je použita například při výrobě oblečení značky Damart.

V 60.letech zažívá velký rozvoj kosmický průmysl, a tedy i oděvy pro něj – skafandry. Ty mají různé speciální funkce – jsou schopné poskytnout stabilní tlak, vyrovnat rozdílnou teplotu, dodávat kyslík.

V roce 1990 studenti Massachusettského technologického institutu (MIT) začínají vyvíjet inteligentní oděvy pro vojenské využití. Jejich tým vyvíjí metodu pro vyšívání elektronických obvodů a zkoumá integraci digitální elektroniky s vodivými látkami.

Roku 1995 Harry Wainwright sestrojuje zařízení pro zapracování optických vláken do jakéhokoli flexibilního materiálu.

Roku 1997 byla na bristolské katedře informatiky vyvinuta první kybernetická bunda s nositelným počítačovým systémem. Tato bunda byla vybavena softwarem pro výpočty a následnou interakci s okolím. Byla naprogramovaná v jazyce C. [1]



Obr.2 Georgia Tech Wearable Motherboard (převzato z [1]).

Roku 2012 v Montrealu byla představena bunda fungující jako baterie. Při její výrobě se vycházelo z prototypu flexibilní lithium-iontové baterie bez tekutého elektrolytu, kterou je možno vetknout do tkaniny. Tato baterie byla vytvořena ze sendvičových vrstev polyethylenoxidové elektrody mezi lithium-iont fosfátovou katodou a anodou lithium titanu. Z těchto termoplastů se zahřátím vytvoří vlákna, z nichž je vyráběna textilie. Jemné pásy baterie jsou integrovány do tkaniny a propojeny vodivými nitěmi. Takový oděv dokáže poskytnout stovky voltů. [2] V roce 2015 již bylo celosvětově na trhu kolem 97 milionů nositelných technologií.

1.1 Textilní průmysl současnosti

Dlouhodobým trendem v textilním průmyslu je mezioborová spolupráce, spojování znalostí a zkušeností chemiků, fyziků a počítačových odborníků.

Textilní průmysl je celosvětově i v rámci Evropy jedním z nejvýznamnějších oborů, hlediska zaměstnanosti (v EU zaměstnává 6,2 mil osob, tedy 9,3 % pracovních míst ve zpracovatelském průmyslu) i z hlediska finančního zisku (celosvětově třetí místo za turistickým ruchem a informatikou). Co se specializovaných textilií týká, dá se předpokládat nejen rozvoj funkcí, které bude oblečení ovládat, ale i vyrobené a spotřebované množství, a to z těchto důvodů:

- prodloužení délky lidského života – požadavky související s životním stylem a pohyblivostí, získávání informací a jejich vizualizace, zabudované tenzometry, topné panely v oblečení pro zahřátí konkrétních částí těla

- nárůst množství volného času, který je mimo jiné možné trávit aktivitami, při kterých se využívají chytré textilie – např. sport-monitorování svalové činnosti kvůli možnému přetížení.
- péče o zdraví – prevence i minimalizace negativních dopadů civilizačních vlivů
- zajištění větší bezpečnosti záchranných složek (hasiči, ale i záchranáři, zdravotníci a policisté)
- potřeba statistického zpracování získaných dat

Při výrobě textilu je nutné vzít v úvahu spotřebu energií, výběr surovin (obnovitelné x neobnovitelné zdroje) a vliv na životní prostředí. Zároveň je ale důležité splnit požadavky spotřebitele – schopnost řízení vlhkosti, teplotních toků, prodyšnosti, tepelně izolační vlastnosti, biodegradabilita, odolnost proti UV záření a mikroorganismům, samočistící schopnost, odolnost proti opotřebení, snadná údržba, možnost opakovaného praní, dlouhá životnost při udržení estetických kvalit a další. [3] Požadavky na technické textilie jsou vždy uzpůsobeny konkrétnímu využití, např. odolnost v tahu, v ohybu, nízké tečení pod zatížením, nízká tepelná roztažnost, odolnost vůči změnám teploty a rázům.

2 Dělení textilií

Textilie je možno rozdělit do tří skupin. Konvenční, funkční a inteligentní. Konvenční, tedy běžné, jsou používány jako oblečení či technický textil. Pokud je k běžnému textilu přidána specifická funkce, je již označován jako funkční. Jedná se například o dutá vlákna, voděodolné, antistatické, antibakteriální, nehořlavé nebo vysoce komfortní materiály. Dnes jsou však tyto funkce natolik běžné, že jsou spotřebitelem považovány za standardní. Nejvyšším stupněm vývoje jsou smart textilie, někdy označované jako e-textilie, inteligentní nebo chytré textilie.

2.1 Smart textilie

Jako inteligentní označujeme textilie vyrobené (tkané, netkané nebo pletené) z vlákn, nitě nebo příze, s připojeným elektrickým obvodem, buďto zakomponovaným ve struktuře nebo externě připojeným.

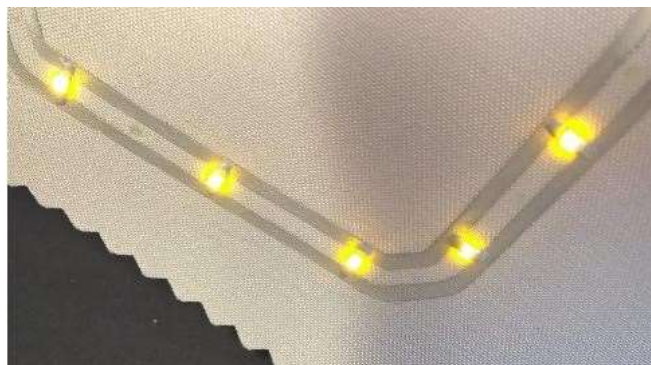
Samotné inteligentní textilie dělíme na:

- pasivní, označované jako první generace smart textilu. Mají receptory pro snímání okolí, zobrazují stav okolí, chybí přímá reakce na něj. Příkladem může být oděv se zabudovanými termistory pro zaregistrování teploty těla nebo vysoce izolační povlak, který bez ohledu na okolní teplotu vykazuje stále stejné izolační vlastnosti. [35]
- aktivní, označované jako druhá generace smart textilu. Rozpoznávají podnět z vnějšku a následně reagují díky akčnímu členu umístěnému přímo v textili. U oblečení snímajícího teplotu těla může jít například o odepnutí rukávů nebo naopak zapnutí vyhřívání. [35]
- superinteligentní, poslední generace smart textilu. Snímají okolní prostředí, reagují a přizpůsobují se změnám. Mohou aktivně řešit situace ohrožující život (dopravní nehoda, válečný konflikt). [38]

Inteligentní nejsou samotné materiály, ty mají jen speciální rysy, využitelné pro inteligentní struktury. Jako inteligentní se tedy označuje až kombinace materiálu, textilu a technologie dávající za vznik struktuře autonomně vyhodnocující podněty z okolí a na ty případně reagují. Tyto podněty mohou být ve formě záření, Ph, mechanických, magnetických či elektrických polí. [4]

Reakce může být dle vyspělosti technologie nevratná, vratná-pokaždé stejná nebo vratná – přizpůsobující se aktuálním podmínkám.

Smart textilie se dají dělit také podle způsobu, jakým jsou do nich zaimplementovány chytré prvky. Dělí se na elektroniku nositelnou, používá se i anglický výraz wearables. Uživatel má zařízení přímo na sobě či u sebe - v kapse, na oděvu. To pak s okolím komunikuje bezdrátově, příkladem mohou být chytré hodinky. U druhé skupiny je textil nosičem modulů. DPS je enkapsulovaná, např. silikonem na textilu, nebo je elektronika v pouzdře na látku připevněná. Další skupinu tvoří textil s integrovanými moduly. Tento způsob se nepoužívá pro celé DPS, jen pro součástky. Poslední skupinu reprezentují textilní substráty se všemi prvky integrovanými do látky (nutnost lehkých, flexibilních komponentů z důvodu jejich přidělení přímo na vlákno či do vlákna). [6]



Obr.3 SMD LED dioda přilepená vodivým lepidlem k cestě z vodivého inkoustu (převzato z [3])

Chytré textilie samozřejmě potřebují zdroj energie, tím mohou být fotovoltaické prvky, baterie nebo piezoelektrická čidla proměňující pohyb člověka na elektrickou energii.

Využití smart textilií je široké

- armáda
- zdravotnictví - měření EKG, ponožky pro diabetiky jako prevence vzniku vředů, vytvoření osobních rehabilitačních plánů, předpovídání nemocí, měření krevního cukru u diabetiků, předpovídání epileptických záchvatů
- ochranné oděvy – motorkářská bunda s airbagem (je autonomní, bez kabelového spojení se samotnou motorkou)
- oděvy pro bezpečnostní složky

- sportovní oblečení - chytré ponožky-spárované pomocí bluetooth s mobilem, hlídající počet kroků, rychlost nebo techniku dopadu chodidla, chytré šortky-Smart shorts Mbody® - snímají pomocí šesti EMG elektrod celý obvod stehna a jsou schopné poskytovat informace o výkonnosti nebo držení těla
- oblast bytového textilu - tapeta rozsvěčující lampu
- automobilový průmysl - interiéry vozů - ovládání rádia, vyhřívání sedaček, sedačky v kamionech vybavené snímači rozpoznávajícími usínajícího řidiče [35] Mimo interiér například autobaterii dobíjející pneumatika firmy Goodyear. Její fungování je založená na kombinaci piezoelektrického a termoelektrického jevu na textilních vláknech zakomponovaných do pneumatiky. [37]
- stavebnictví – textilní výplně do betonu, které obsahují senzory vlhkosti a teploty, mohou být dočasné i trvalé
- agrární průmysl – plachtoviny s integrovanými senzory vlhkosti usnadňující zavlažování, senzory dusíku, fosforu a draslíku pro efektivnější distribuci hnojiva[37]

Výrobou inteligentních textilií se zabývají například firmy – Eleksen, BioTEX, Applicon, myHeart, CONTEX.

3 Elektrické vlastnosti textilních materiálů

Většina textilních vláken patří mezi izolanty. Všechny elektrony jsou vázány k atomům jádra nebo v kovalentních vazbách, a proto nemohou vést elektrický proud. Oproti tomu textilie vodivé (s obsahem vodivých vláken) elektrický proud vedou. Dá se na ně nahlížet jako na pasivní obvodové prvky charakterizované odporem (R), kapacitou (C) a indukčností (L). Pasivní elektrotechnický prvek je definován jako součástka, která se v obvodu nechová jako zdroj a pro zpracování signálu nepotřebuje dodatečné napájení.

3.1 Elektrická vodivost, elektrický odpor

Elektrická vodivost neboli konduktance je fyzikální veličina popisující schopnost materiálu vést elektrický proud. Udává velikost elektrického proudu procházející vodičem při jednotkovém napětí na jeho koncích. Symbol veličiny je G, jednotkou SI je 1 S – siemens.

Podle vodivosti dělíme materiály na vodiče a nevodiče neboli izolanty. Mezi těmito dvěma skupinami jsou materiály označovány jako polovodiče (např. selen, germanium, křemík).

Čím vyšší je vodivost, tím silnější elektrický proud prochází vodičem při stejném napětí. Elektrickou vodivost můžeme posoudit podle měrného elektrického odporu ρ [$\Omega \cdot m$]. Převrácenou hodnotou elektrické vodivosti je elektrický odpor (rezistence). [8] Elektrický odpor, jehož jednotkou je ohm [Ω], je charakterizován způsobností elektrických vodičů vést elektrický proud. Je vyjádřen Ohmovým zákonem jako konstanta úměrnosti mezi jednosměrným elektrickým proudem I, který protéká vodičem s napětím U mezi konci vodiče.

3.2 Měrný elektrický odpor – rezistivita

Rezistivita neboli měrný elektrický odpor je fyzikální veličina vyjadřující elektrický odpor vodiče jednotkové délky (1 m) a jednotkového průřezu (1 mm^2) při teplotě 20 °C. Rezistivita je převrácená hodnota konduktivity. Dle měrného elektrického odporu můžeme látky dělit na vodiče, polovodiče a izolanty. Hodnoty jejich rezistivity jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab.1: Měrný elektrický odpor materiálů (převzato z [8])

	Měrný el. odpor-ρ
vodiče	10^{-8} – 10^{-2} [Ω .m]
polovodiče	10^{-2} – 10^0 [Ω .m]
nevodiče	10^0 – 10^{16} [Ω .m]

3.3 Přejchodový odpor

Přejchodový odpor vzniká ve spojení vodičů. Je to nežádoucí jev, u kontaktu požadujeme co nejnižší odpor, aby nezkresloval signál. Ve velké míře je ovlivněn plochou kontaktu. Kovy mají krystalickou strukturu, nejsou tedy ideálně hladké a nedotýkají se celou svojí plochou. Nejsou ani ideálně čisté, na jejich povrchu probíhá oxidace. Na přejchodový odpor má vliv i přitlačná síla. [39] Odpor je možné měřit pomocí můstkových metod (Thomsonův či Wheatstoneův můstek) nebo pomocí dvouvodičové a čtyřvodičové metody. Pro měření malých kontaktních odporů se obvykle používá čtyřvodičová metoda.

3.4 Elektrické vlastnosti vláken

Většina textilních vláken jsou izolanty. Vodivost se může měnit díky příměsím nebo vlhkosti. Například u hydrofilních polymerů se zvedne vodivost o 8 až 10 řádů při nárůstu vlhkosti o 1 % [20].

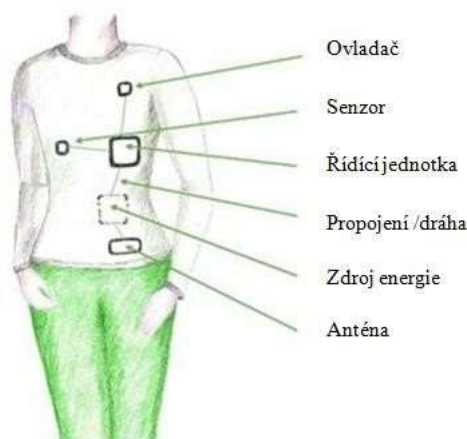
Tab.2: Měrný elektrický odpor vybraných textilních materiálů (převzato z [8])

	Měrný el. odpor-ρ
syntetická vlákna	10^{12} – 10^{14} [Ω .m]
antistatická vlákna	10^6 – 10^{10} [Ω .m]
vodivá vlákna	kolem 10^{-7} [Ω .m]

Textilní materiály mohou akumulovat elektrostatický náboj, což způsobuje problémy při výrobě i používání (např. náhodné výboje, způsobení požáru).

4 Nositelná elektronika

Nositelná elektronika musí ke svému fungování obsahovat několik základních komponentů – ovládací prvek, senzory, řídicí jednotku, zdroj energie, anténu a propojení – kontakty, vodivé cesty.



Obr.4 Nositelná textilie a její komponenty (převzato z [21])

4.1 Vodivé cesty

U textilních substrátů je nejvýhodnější technikou pro vznik vodivého propojení vyšívání nebo tisk.

4.1.1 Vyšívání elektroniky

Vyšívání elektroniky je velice rychle se rozvíjející odvětví. Vyšívací stroje, šicí jehly, vodivé nitě i textilní substráty mají velké množství parametrů, které je nutné zkombinovat pro nejefektivnější dosažení předem zvolených parametrů finálního výrobku. Výběrem motivu vyšívky, její trajektorie, šicí jehly (včetně různých povrchových úprav), nití, textilního substrátu i rychlosti vyšívání můžeme ovlivnit vodivost a snížit rozptyl hodnot odporů. [14]

Šicí nitě a příze

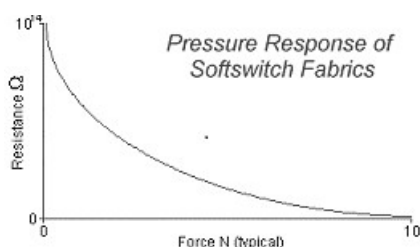
Na nit jsou během šití kladeny různé požadavky. I při největším výkonu stroje musí odolat rázovému namáhání, kroucení při tvoření smyčky, otěru při průchodem strojem, být dostatečně tuhá, aby mohla vytvořit smyčku, musí i po několika rázových namáháních zůstat tažná, mít povrch minimalizující tření a další. [5]

Jako vodivé označujeme látky, které jsou schopné vést elektrický proud. Při aplikaci vodivé vrstvy na textil vzniká nový, technicky zajímavý materiál.

Z hlediska vodivosti můžeme vlákna dělit následujícím způsobem.

- nevodivá
- přirozeně vodivá – uhlík, kov, vodivé polymery
- kovová vlákna - vzniknou zvlákněním plechu, folie nebo drátu. Nejsou využívána jen kvůli vodivosti, ale i ohnivzdornosti a odolnosti proti chemikáliím. Vlákna se vyrábějí tažením přes konické otvory (do jemnosti 100 μm) nebo s využitím Taylorova procesu - obalení drátku sklem a protahování za tepla, sklo změkne, kov uvnitř se roztaví nebo zůstává plastický (až do jemnosti 10 μm) [9]

Vodivé polymery: vyrobené technologií Soft switch jsou elastomerní materiály obsahující nanočástice kovů. Při použití síly dojde k deformaci a materiál začne vodit. [11]



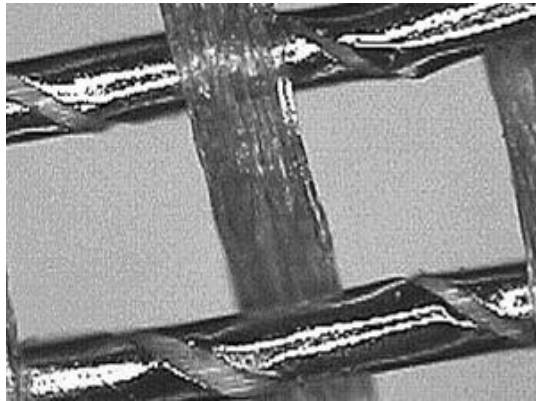
Obr.5 Závislost odporu na síle (převzato z [11])

Používá se mnoho druhů polymerů s různou úrovní vodivosti. Pro použití v textilním průmyslu je potřebná vlastnost snadného zvláknění. Při kombinaci polymeru a plniva dojde k rozšíření funkčních vlastností.

- kombinace izolantu a vodiče vznikající pokovením, potažením vodivými polymery s aditivou, jako bikomponentní vlákna-vzniká seskáním (spojení a zakroucení dvou a více vláken) či jiným spojením kovového vlákna zajišťujícího vodivost a nekovového vlákna (bavlna, polyester, nylon, aramidy, PBO) zajišťujícího ostatní požadované vlastnosti výrobku. Vlákna mohou být ve formě stříže nebo nekonečná.

Nekonečná vlákna můžeme dále dělit na:

- pokovená nevodivá vlákno - nevodivé vlákno ve formě folie se z obou stran pokoví, je možné jej také přetřít bezbarvým lakem. Záporům těchto vláken je možný oděr kovu, který způsobí změny elektrických vlastností. Je možno také použití galvanického povlaku nebo kovového solného nátěru.



Obr.6 Příklad vodivé příze natřené inkoustem s vysokým obsahem kovu (převzato z [8])



Obr.7 Příklad hybridní nitě

- nevodivé vlákno opředené vodivým drátem



Obr 8 Nevodivé vlákno opředené vodivým (převzato z [18])

- kovové vlákno s nevodivým obalem
- vodivé vlákno opředené izolantem



Obr.9 Vodivé vlákno opředené izolantem (převzato z [18])

- kovová příze
- vodivé vlákno spředené s nevodivým



Obr.10 Vodivé vlákno spředené s nevodivým (převzato z [18])

- jiné bikomponentní vlákno-bikomponentní vlákna lze rozdělit na dvouvrstvé/vícevrstvé. Při výrobě se používá uspořádání C (tj. jádro – core), S/C (tj. jádro/obal - sheat/core) nebo S (tj.povrch – surface) .



Obr. 11: Průřezy různých typů bikomponentních vodivých vláken (převzato z [10])

Příklady produktů bikomponentních vláken jsou: X-Static, Flectron, Texmet, Belltron 632, R-Stat, Thunderon, Viscostat, Resistat.

Strojní šicí jehla

V šicím i vyšivacím stroji se synchronizovaně pohybuje ústrojí podávání šicího materiálu, ústrojí zachycení smyčky a ústrojí přitlačné na podávací materiál. Na tyto navazuje strojní šicí jehla, je koncový člen celého ústrojí pohybu stroje. Jehla vniká do textilie a do vzniklého otvoru vsune šicí materiál, vytvoří smyčku a steh. Dokonalý steh má stejnoměrné napětí a ve všech vazných bodech je provázán s největší možnou pevností.

Lze je rozdělit podle toho, kde budou používané, na domácí a průmyslové. Je zřejmé, že průmyslové jehly musí být uzpůsobeny větší rychlosti šití a vyšívání a také delší době používání.

Jehla má tyto základní části:

- dřík – nejsilnější část jehly obvykle válcovitého (průmyslové stroje) nebo jednostranně seříznutého tvaru, za dřík se jehla upíná do stroje

- přechodový kužel
- tělo jehož součástí je žlábek, očko, chapačové vybrání (jednostranné radiusové vybrání umožňující spolehlivé uchopení smyčky). Dále špice (ta je definována tvarem, nejčastěji kuželovitá na běžné šití, kulová na řídké textilie nebo tupá na přišívání knoflíků, a délkou - např. dlouhá špice ideální na spojování pletenin, excentrická a zakončená hrotem) a hrot jehly – ostrý, kuličkový nebo univerzální [5]

V důsledku tření mezi jehlou a látkou vzniká teplo, při rychlém průmyslovém šití dost významné. Zvláště v případě syntetických materiálů je tento fakt třeba vzít v úvahu. Povrch jehly musí být ošetřen, aby se snížil koeficient tření. Toto ošetření se provádí leštěním či pokovením jehlového drátu – chromem (nejčastější), niklem (jen pro teploty menší než 250°C, při vyšších dojde k natavení otvoru v látce), nitridem titanu (hroty tvrdé, odolné vibracím a celkově velice kvalitní, proto se užívají např. v automobilovém průmyslu) nebo teflonem. Novinkou je slabá keramická vrstva na hrotu jehly. Dalším důvodem pro povrchové ošetření jehly je její ochrana proti korozi – ta vzniká při chlazení vodní mlhovinou.

Textilie

Textilie je možné vyrábět z mnoha materiálů. Ty lze dělit na přírodní a chemické. Přírodní dále dělíme na rostlinné (ze semen – bavlna, kapok, ze stonků – len, konopí, juta a z listů – banánovník, kokos), živočišné (ze srsti – ovčí vlna, ze sekretu hmyzu – hedvábí) a anorganické (azbest). Chemické na ty z přírodních polymerů (viskózová vlákna, acetátová vlákna), syntetických polymerů (polyamidová, polyesterová, polyakrylnitrilová, polyvinylalkoholová, polyuretanová, polypropylenová) a anorganických surovin (kovů, nekovů). [14]

Z materiálů používaných pro výrobu textilií nejsou pro vyšívání vhodné všechny. Vhodné jsou tyto:

- bavlna - má vlastnosti vhodné pro vyšívání ruční i strojní. Je teplotně odolná, měkká, pevná, dobře drží stehy.
- len - je v porovnání s bavlnou sice dražší, ale je pevnější, snese větší teploty a má delší životnost.
- směsi – lepší vlastnosti mají směsi přírodní, při kombinaci dvou (či více) materiálů získá výsledná látka vlastnosti obou použitých surovin.
- polyester – syntetický materiál, základní surovina pro jeho výrobu je ropa. Vlákna se vyrábí protlačením roztavené hmoty tryskou, výslednou podobou je buď filament,

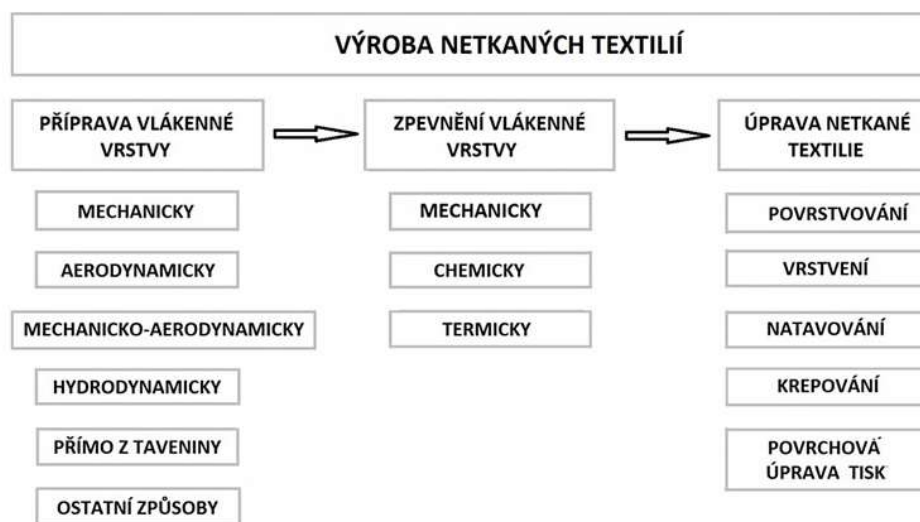
káblíků nebo stříž. Vláknem je svým chemickým složením vhodné k modifikaci – úpravy příměsí chemických sloučenin, zkvalitnění mechanickým nebo pneumatickým tvarováním. Je nemačkový, levný, rychle schne, je lehký, odolný na světlo, proti klimatickým vlivům a mikroorganismům. Na druhou stranu je neprodyšný.

- aramidová vlákna – vlákna z aromatických polyamidů s dlouhým uhlovodíkovým řetězcem, pro textilní průmysl používaná ve formě filamentu, stříže nebo sekaných vláken. Aramid je odolný vůči vysokým teplotám a chemikáliím, naopak podléhá ultrafialovému záření, vlhku a jeho barvení je složité.

Finální textilie je možné ošetřit pomocí různých činidel, např. hydrokarbonová povrchová činidla nebo činidla s obsahem fosforu. [8]

Jako textilní substrát pro textilní kontaktování lze použít:

- netkanou textilii - vzniká spojením dlouhých vláken, staplových přízí nebo filamentů. Jedná se o plochou vrstvu jednosměrně či náhodně orientovaných vláken spojených třením, kohezí nebo adhezí částic, tedy spojení je provedeno mechanicky, chemicky nebo tepelně, ne pletením či tkaním. Zpracovat lze vlákna přírodní i syntetická, plného průřezu nebo dutá. K výrobě je často použita druhotná zušlechtěná surovina. Pokud je textilii nutné zpevnit, děje se tak impregnací, syntetickými pojivy, termicky nebo proplétáním. Netkané textilie lze dále dělit na mechanicky vázané, vrstvené a pojené.



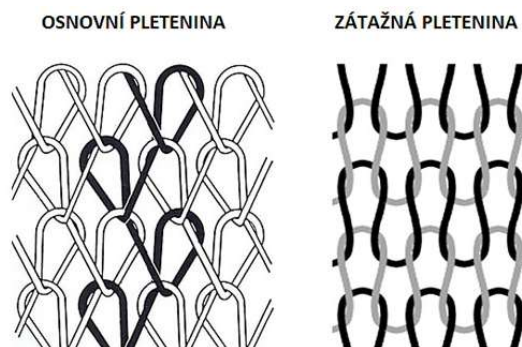
Obr.12 Výroba netkaných textilií, (převzato z [13])

Netkané textilie se vyrábějí v širokém rozpětí plošných hmotností – 30-1000 g/m² v nízkoobjemových nebo vysokoobjemových variantách.



Obr.13 Netkaná textilie

- pleteninu - jsou po tkaninách druhé nejpoužívanější substráty. Jejich výroba je výrazně efektivnější – strojní pletení je v průměru 6 x rychlejší, než tkaní. Při výrobě se používají nitě jednoduché, skané, druzené nebo složitější. Pleteniny dělíme na zátěžné (z jedné nitě je tvořen jeden řádek při každé otáčce stroje, snadno se párá) a osnovní (nepáre se díky vazbě tvořené kolmým směrem z několika nití najednou).



Obr.14 Druhy pletenin, (převzato z [13])

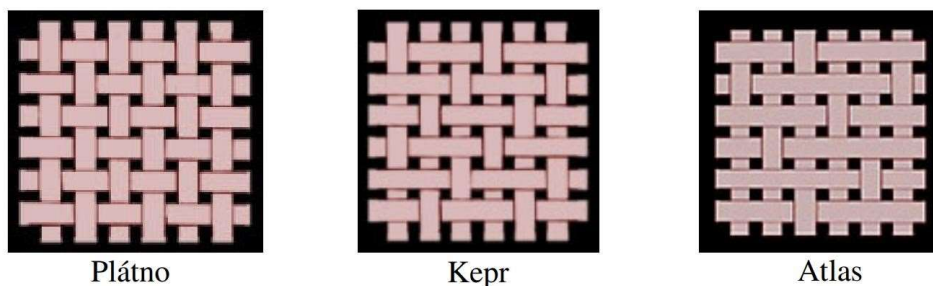
- vodivou tkaninu – dělíme podle vazebního vzorování na hladké, listové a žakárové. O vhodnosti látky pro vyšívání nerozhoduje jen materiál, ale i typ vazby, tj. způsob utkání (resp. technologie výroby) vláken do výsledné tkaniny. Vazbu tvoří soustavy osnovních a útkových nití. Osnovní nitě jsou v tkalcovském stavu svislé nebo podélné, útkové jsou vertikální a příčné. [13]

Vazby mohou být:

- plátňová - osnovní a útkové vazební body jsou ve stejném počtu, rub látky vypadá stejně jako líc.
- Atlasová - vazní body ve střídě jsou rovnoměrně rozloženy a vzájemně se

nedotýkají.

- keprová - kepr lze dále dělit na zesílený, hrotový nebo křížový. Střída této vazby je tvořena minimálně třemi vaznými body osnovy a útku.



Obr. 15 Základní typy vazeb (převzato z [12])

Stehy

Vyšívání je textilní technika určená primárně pro zdobení podkladového materiálu našíváním nití. Základním prvkem této techniky je steh, vznikající dvěma či více vpichy jehly s nití do materiálu. Steh může být tvořen uvnitř materiálu, skrz materiál nebo na materiálu. Existují stovky druhů stehů – od běžných (křížkový) po speciální (rybí kost, obrubový, reliéfní, mřížkový). Stehy se zabývá norma ISO 4915, ta je dělí do následujících tříd [15]:

- 100: řetízkové stehy
- 200: ruční stehy – dále dělené na přední, kličkový, zadní, perličkový, zapošivací, smyčkový, stonkový a mnohé další
- 300: vázané stehy
- 400: vícenitné řetízkové stehy
- 500: obnitkovací řetízkové stehy
- 600: krycí řetízkové stehy

Řetízkové stehy (třída 100, 400, 500, 600) mají tyto vlastnosti: vysoká tažnost, při poškození se snadno párou, spotřebuje se na ně větší množství nitě, na konci stehové řady není možné jejich ukončení. Oproti tomu vázané stehy (třída 300) jsou pevné, obtížně páratelné, jdou zakončit a jsou málo tažné.

Vyšívací stroje

Vyšívací stroje se stále vyvíjejí. V současné době jsou řízeny počítači, v softwaru lze vytvářet návrhy výšivek a zadávat požadované parametry finální výšivky. Stroje dělíme podle stehů, konstrukce a hromadnosti výroby. Při výběru vyšívacího stroje je důležité zvážit jeho parametry – vstupní médium, počet hlav, počet jehel, druh stehu, délka stehu, rychlost vyšívání, vyšívací

plocha, kapacita paměti, ovládací zařízení, regulační zařízení, signalizační zařízení a přídatná zařízení. [16] Mezi nejznámější výrobce vyšivacích strojů patří společnosti Tajima, Happy, Barudan, Brother, ZSK, Morton a další.



Obr.16 Vyšivací stroj se šesti jehlami [17]

Vlastnosti elektrické výšivky

Nejvíce sledovanou vlastností výsledné výšivky je elektrický odpor. Ten závisí na následujících faktorech:

- trajektorie výšivky – délka, rádius, úhly blížící se kolmosti
- kontaktní plošky a zakončení výšivky pod nimi – je možné zakončení přímé, obloukem nebo spirálou.
- délka stehu
- použitý textilní substrát a nit, dokonce i rychlost a směr vyšívání.

Kromě samotné výšivky jsou zásadní také kontaktní plošky a jejich připojení k výšivce. Špatné propojení by mohlo způsobit neúplný kontakt a následkem toho by v připojovacích bodech byl na různých místech různý odpor.

4.1.2 Vodivý inkoust

Inkoustový tisk je rychlý a čistý. U tisku vodivé vrstvy na textil je nutné, aby tiskárna byla schopna kvalitně tisknout i na ne úplně rovný povrch. Tkanina pro tisknutí by měla být co nejrovnější a co nejhustší, protože je žádoucí, aby inkoust zůstal co nejvíce na povrchu a nerozptýlil se mezi vlákna substrátu. Inkoust na povrchu substrátu může praskat nebo se odlupovat, proto je nutné použití nevodivé ochranné vrstvy.

U metalizovaných inkoustů je třeba, aby byl obsah kovu dostatečně vysoký pro zajištění požadované vodivosti. Vedle kovů obsahují inkousty také polymerní pojiva (termoplasty, které

tuhnou maximálně 1 minutu nebo termosety, tvrdnoucí několik minut) z důvodu

zlepšení přilnavosti. Dále je třeba voda a rozpouštědlo, aby byl inkoust ve formě vhodné k aplikaci. Po ukončení aplikace se rozpouštědlo vypaří.

Při výběru inkoustu se zvažují následující parametry:

- viskozita - viskozita je definována jako odpor tekutiny působící proti silám snažícím se vzájemně posunout její nejmenší částice. [34] Viskozita inkoustu se nesmí v průběhu procesu měnit. Inkousty, které se využívají v inkoustové technologii tisku, musí mít viskozitu velmi nízkou v řádech 5.0–6.5 mPa (při pokojové teplotě cca 22 °C). Inkousty pro sítotisk mají viskozitu v řádech 30-40 Pa. Tisk ovlivňuje viskozita například tím, že má vliv na formu a objem kapky, dále na tvorbu přidružených kapek. Pokud je viskozita velká, může se pro materiál používat termín „pasta“.
- povrchové napětí
- obsah a velikost kovových částic – částice se v kapalině pohybují podle své velikosti. Větší částice se pohybují pomaleji a naopak. Větší částice mají tendence se shlukovat a zneprůchodnit trysky. Toto snižuje přilnavost i trvanlivost.
- vytvrzovací podmínky včetně rychlosti vytvrzování – ty jsou závislé převážně na velikosti a tvaru kovových částic. Možné použitelné formy jsou například stříbrné vločky, nanočástice stříbra, nanočástice mědi.
- ekologičnost
- hustota
- sedimentace
- přilnavost [21]

Pokud je potřeba vytvoření vodivé cesty pomocí barvy nebo inkoustu, používanými metodami jsou sítotisk, šablonový tisk a inkoustový tisk

Sítotisk a šablonový tisk

Sítotisk je vhodný pro širokou škálu materiálů (sklo, kůže, dřevo, papír, kov) včetně textilu. U flexibilních substrátů je to nejpoužívanější metoda. Jednou z výhod je i možnost velkoformátového tisku.

Princip sítotisku je jednoduchý-inkoust požadované viskozity je protlačován skrz prostupná oka

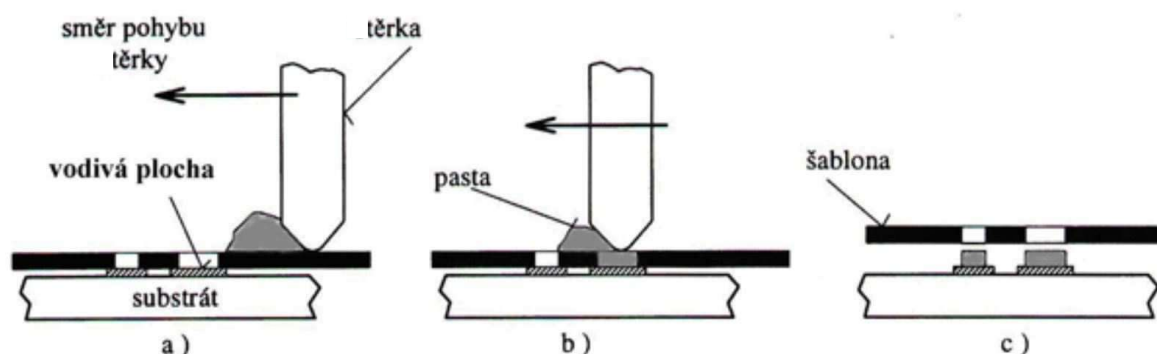
sítě pohybem těrky. Během tohoto procesu je síto přitlačováno na substrát a při nadzvednutí těrky se vrací do určité výšky. Tato vzdálenost se nazývá odtrh. Na sítu je předem připraven motiv, který má být otisknut. [33]

Samotné síto potřebné pro sítotisk musí být pečlivě vybráno a následně i udržováno, protože oka se mohou ucpat částicemi obsaženými v inkoustu a vytištěný motiv by nebyl optimální, mohlo by dokonce dojít i k přerušení vodivé cesty. Při zaschnutí inkoustu v sítu může dojít k jeho nevratnému poškození. Výběr síta se provádí dle typu použitého inkoustu, jeho fyzikálních a chemických vlastností. Síťovina uvnitř dřevěného (levné, lehké, snadno vyrobitelné, délka žádné strany nesmí přesáhnout 50 cm z důvodu velkého nároku na pevnost při mechanickém namáhání) nebo kovového (profesionální aplikace, sériová výroba, velkoformátový tisk, vyrobeno z hliníku nebo oceli) rámu síta je tvořena vlákny, nejčastěji polyesterovými (PES) z důvodu malé náchylnosti k oděru a opotřebení, nízké absorpce vlhkosti, vysoké odolnosti vůči chemickým látkám a rozměrové stálosti. [33] U PES síta existují tyto parametry: světlost oka, průměr vlákna, otevřená plocha síťoviny, hustota ok. Vlákna mohou být jednovláknová (monofilní) nebo vícevláknová (multifilní).

Další možností je použití nerezové oceli. Ta je výrazně dražší a díky struktuře vláken je obtížné přesně nastavit odskok. Výhodou naopak je, že se dá více napnout a je mechanicky odolnější. Hustota ok je různá, pohybuje se zpravidla mezi 180-325 mesh (oky na palec).

Výběr těrky je závislý na tištěném vzoru a vlastnostech inkoustu. Těrky jsou složeny z držáku vyrobeného ze dřeva, kovu nebo plastu a těrkového lisu z polyuretanu (PUR) nebo nerezové oceli. Dříve se těrky používaly hlavně kaučukové. Existují těrky jednoduché nebo dvojitě, různých tvarů. Sklon těrky a rychlost aplikace ovlivňují valivost inkoustu a tím i kvalitu aplikace. Hrana těrky musí být ostrá a neporušená z důvodu zajištění kvality tisku a nezkracování životnosti síťoviny. Těrky se dají dělit dle profilu na pravoúhlé, zaoblené, zkosené a klínové. [33] Dle tvrdosti se dělí na měkké, středně tvrdé a tvrdé.

Síto musí být v rámu kvalitně napnuto. Pro splnění tohoto požadavku je nutné dodržet napětí doporučené výrobcem - toto napětí musí být rovnoměrně rozděleno po celé ploše síta a musí být stabilní v čase. [40]



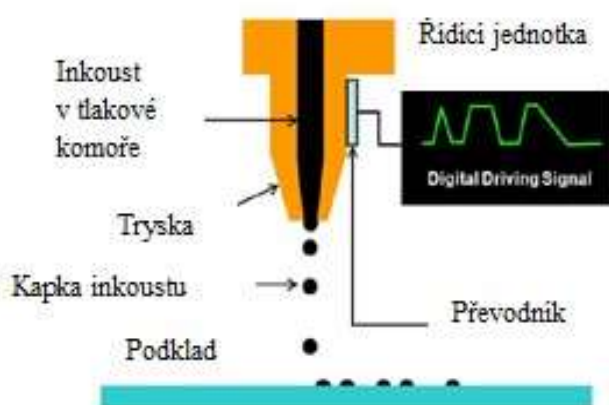
Obr.17 Schéma principu sítotisku [převzato z 25, upraveno]

Inkoustový tisk

Do tiskové hlavy je plynule dodáván inkoust. Odtud jsou mikroskopické kapky tryskou protlačeny na látku a poté vytvrzeny. V případě maloobjemové výroby je trendem poslední doby preference tisku rovnou na plochu, bez šablon. Existují dva druhy strojů na potisk – s hrubým rozlišením (40 dpi = 40 bodů na 25,4 mm). V počítači je naprogramovaný vzor, stroj obsahuje systém ventilů, které jsou tímto počítačem řízené. Druhou skupinou jsou stroje s rozlišením nad 200 dpi, u kterých existují 2 systémy: kontinuální tisk a Drop-on-demand (kapka na požádání). [26].

Výrobě vodivých inkoustů se věnují například firmy Acheson, Amepox nebo Heraeus Electronics.

Příkladem může být grafénový polymerový vodivý inkoust od poslední zmiňované společnosti – Heraeus. Má celou řadu výhodných vlastností – je dobře vodivý, odolný (vysoká stabilita během životního cyklu) a v porovnání se stříbrnými inkousty je o polovinu levnější.



Obr.18 Schéma inkoustového tisku Drop-on-demand [22]

Do nedávné doby byl největším nevyřešeným problémem vodivého tisku fakt, že se nedokázal vyrovnat s natažením tkaniny. Toto ale bylo vyřešeno při výzkumu prováděném na univerzitě

v Tokiu. Zde v roce 2016 vyvinuli speciální inkoust deformovatelný a natažitelný, bez snížení vodivosti. Tento inkoust obsahuje tři složky – stříbrné vločky, fluorizovaný kaučuk a fluorové smáčedlo. Obsažené smáčedlo snižuje povrchové napětí a řídí tvorbu vodivých sítí stříbrných vloček v tištěném vodiči. Experimenty s tímto inkoustem ukazují, že vodivost zůstane dostatečná i po roztažení obrazce na 215 % (poklesne z původních 768 S/cm na 182 S/cm). Dá se tedy předpokládat, že není daleko doba, kdy bude možné si na tiskárně vyrobit například oděv s natištěným biosenzory či anténou.

4.2 Kontaktování v oblasti elektroniky

Kontaktováním se rozumí vytvoření elektricky vodivého spojení umožňujícího přenos napětí a proudu. Při kontaktování je nejdůležitějším, a tedy nejvíce sledovaným parametrem velikost kontaktního odporu. Existují různé metody kontaktování, při výběru použité metody je nutné vzít v úvahu několik faktorů, např. materiál, který se bude kontaktovat nebo účel použití.

Při kontaktování textilu je nutné, aby kontakt měl následující vlastnosti:

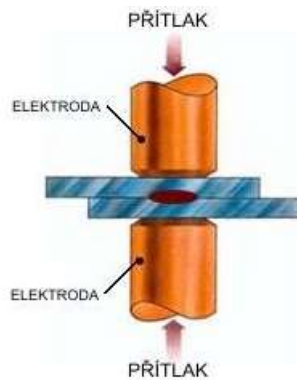
- malý a stálý kontaktní odpor – jeho velikost by měla být stabilní, záleží na tvrdosti, pružnosti použitých materiálů
- minimální migrace kovů
- odolnost proti chemické korozi – chemická koroze ovlivňuje přechodový odpor
- odolnost proti mechanickému opotřebení
- odolnost proti elektrickému oblouku – ten velice nepříznivě ovlivňuje životnost kontaktu, lze mu předejít vhodným výběrem materiálu nebo konstrukční úpravou [35]

Kontakt není nikdy ideální - na to by byla potřeba dvou naprosto rovných a čistých ploch, což je v praxi nemožné. Mezi plochami vzniká přechodový odpor. Spolehlivost kontaktů závisí na elektrických podmínkách (napětí, proud, frekvence), mechanických podmínkách a okolním prostředí (prašnost, vlhkost, záření).

4.2.1 Odporové svařování

Odporové svařování je v literatuře uváděno jako jedna z nejlepších metod kontaktování z důvodu vytvoření jednoduchého propojení s minimálním poškozením sousedních vláken. [36]

Svařovací hlava drží elektrody, které přivádějí svařovací proud, průchodem tohoto proudu vzniká teplo, které vytvoří spoj, za současného působení tlakové síly.



Obr.19 Princip odporového svařování [24]

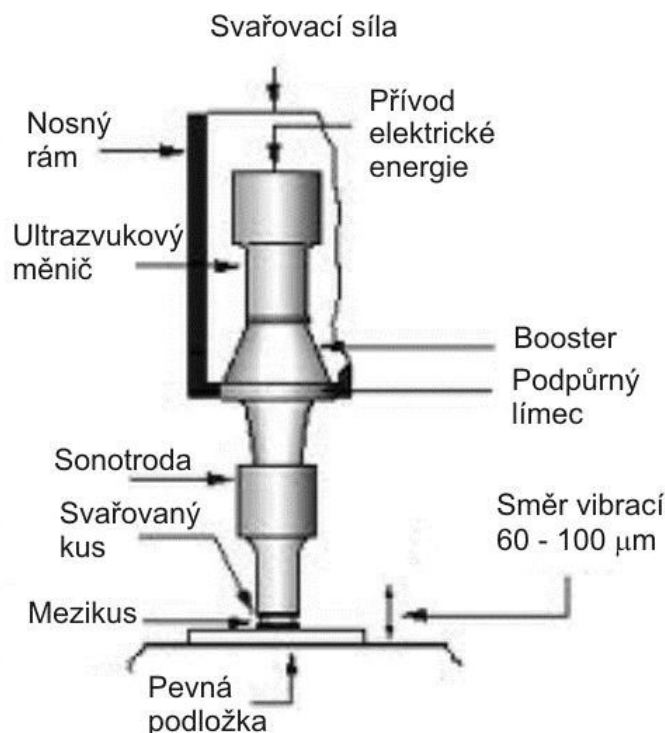
Odporové svařování se dělí na:

- bodové svařování - spoje jsou vytvářeny v podobě svarových čoček mezi přeplátovanými dílci. Elektrody jsou duté, válcové, s výměnnou kontaktní špičkou. Mohou být umístěné souose z opačných stran svařovaných dílců (pak se jedná o přímé bodové svařování) nebo jsou umístěné v různých osách z jedné strany svařovaných dílců (v případě nepřímého bodového svařování).
Bodové svařování může být dále děleno na protilehlé, s krokovým svárem a paralelní.
- výstupkové svařování
- švové svařování
- stykové odporové svařování stlačením
- svařování natupo odtavením [24]

Během kontakování smart textilií se může odporového svařování užít i k odstranění izolace vodičů – teplo odhalí vlákna, která mohou být následně nakontaktována.

4.2.2 Ultrazvukové svařování

Ultrazvukové svařování je modifikovaná metoda třecího svařování. Využívá ultrazvuku (mechanického kmitání vysoké frekvence). Přitlačí se k sobě dva materiály – jeden je fixovaný, druhý se rozkmitá frekvencí ultrazvukového měniče. Ten je propojen vlnovodem na sonotrodu, která zajišťuje přenos kmitů do materiálu. Na rozhraní materiálů dochází ke tření a vlivem vznikajícího tepla k vytvoření spoje. Frekvence potřebná k tomuto se pohybuje mezi 10-100 kHz.



Obr.20 Schéma zařízení pro ultrazvukové svařování [27]

4.2.3 Vodivý suchý zip

Suchý zip (neboli stuhový uzávěr) je spojovací materiál ze dvou vrstev, jejichž pomocí vzniká dočasný nebo trvalý spoj. Jednu vrstvu tvoří očka a druhou háčky. Výhodou tohoto spojení je rychlá a jednoduchá manipulace, levná a jednoduchá výroba. Oproti tomu nevýhodou je opotřebovatelnost a možnost zachycení háčků i jinde než na očkách k tomu určených.

U vodivého suchého zipu je vodivost zajištěna nanesením stříbra. Příkladem výrobku může být zip na obrázku 20 výrobce Adafruit Industries, jehož udávaná životnost je 5000 otevření/zavření. V České republice zatím není žádný prodejce ani dovozce těchto zipů, zájemce si je musí objednat v zahraničí.

4.2.4 Pájení

Pájení je připojování elektrických součástí pájkou, což je pomocný materiál s nižší teplotou tavení, než mají materiály spojované. Dělí se na měkké a tvrdé, dle teploty používané při tvorbě spoje. Hraniční teplota mezi těmito dvěma skupinami je 450 °C. Velikost teploty a délka jejího působení jsou významným faktorem. Vrstvy intermetalických slitin mají krystalickou strukturu, velikost jejich krystalů závisí právě na teplotě. Při aplikaci tepla delší než 20 sekund vzrůstá

velikost zrn, čímž se zhoršují mechanické vlastnosti (obzvláště pevnost ve střihu).

Do nedávné doby se většina pájení prováděla slitinami SnPb, dnes je snaha (z ekologických důvodů) o používání bezolovnatých pájek.

Pro vytvoření kvalitního, tj. dlouhodobě mechanicky pevného a dobře vodivého pájeného spoje, je nutné dodržet následující podmínky:

- smáčivost spojovaných materiálů
- povrchová úprava pájených ploch
- teplotní odolnost vývodů [28]

Pro zkvalitnění pájení se používají tavidla. Ta redukují oxidové vrstvy na povrchu pájeného předmětu. Povrch po jeho použití výrazně lépe smáčí, povrchové napětí pájky se sníží, je ovlivněno zatékání pájky, vznik můstků a krápníků. Po skončení pájení musí být zbytky tavidla odstraněny, což je hygienicky i ekologicky složité. Je to však nutné z důvodu korozivních a reakčních. Jako tavidlo může být použita například pryskyřice (kalafuna) a jiné organické či anorganické látky ve formě pevné látky, kapaliny, pasty nebo krému.

Použití tavidla není nutné v případě, že oxidy z povrchu očistíme jiným způsobem – plasmou nebo ultrazvukem.

Nevýhoda pájení v případě textilií je nutnost enkapsulace kontaktu, jeho křehkost a možnost poškození látky vysokou teplotou potřebnou k roztavení pájky.



Obr.21 Pájený kontakt [30]

4.2.5 Přišití

Existují dva způsoby využití přešití při kontaktování. Prvním z nich je použití na holé vodiče a druhým je prošití prokůvů vytvořených na desce plošného spoje. Po prošití vodivou nití vznikne vodivý spoj. Při těchto použitích je klíčové pevné obepnutí prvků, nejen kvůli vodivosti, ale i kvůli fixaci. Při mechanickém namáhání (ohybu) je vodivost značně proměnlivá.



Obr. 22. Různé způsoby přešití [22]

4.2.6 Krimpy, druky

Kontaktování kovovými nýtovacími druky či textilními zařezávacími krimpy spočívá v proděravění vodivé textilie nebo vodivé niti, čímž vznikne vodivé spojení. Původně vytvořeno pro nakontaktování flexibilních plošných spojů. Při krimpování je poměrně nízká pravděpodobnost nakontaktování – 50 % [22] a k dalším nevýhodám patří i vysoká cena. K aplikaci druků je možné použít lis k nýtování při zvolení pistonu pro požadovaný typ druku nebo se aplikace provádí ručně pomocí kladívka.



Obr. 23 Kovový nýtovací druk (vpravo) a krimp (vlevo)

5 Realizace vzorku inteligentní textilie

Cílem praktické části této bakalářské práce bylo vytvoření jednoduchého funkčního obvodu na textilu, s použitím několik způsobů kontaktování – pájení, přišití tenkým měděným drátem a použití vodivého inkoustu. Při realizaci druhého obvodu se porovnávaly jednotlivé vodivé cesty z hlediska vodivosti. Tyto cesty byly vytvořeny vyšitím vodivou nití, vyšitím měděným drátkem a aplikací kovového nýtovacího druku.

5.1 Použité komponenty

- Vodivý inkoust - byl použit elektricky vodivý inkoust Electric Paint od společnosti Bare Conductive, kterou v České republice distribuuje pouze firma RS Components. Inkoust se na textil dá nanášet štětcem, rýsovacím perem, válečkem, sítotiskem nebo aplikátorem. Lze použít jako vodivý a současně adhezivní podklad, což umožňuje v některých případech nahradit pájení součástí.



Obr.24 Vodivý inkoust

- LED diody zelené
- Druk
- Tranzistor SS8050
- Rezistory: 100 Ω , 10k Ω
- Fotorezistor 5516
- Přepínač
- Nerezová vodivá nit - tato vodivá nit je vhodná k elektrickému spojování nebo k přišití modulů k chytrým textiliím. Je vyrobena jako klasická nit s vnitřním vláknem z nerezové oceli, její textura je měkká. Výrobce udává odpor přibližně 700 Ω /m. Takto

vysoký odpor nit předurčuje k použití na přenos dat. Na přenos napájení může být použita pouze na velice krátkou vzdálenost.

- Měděné vlákno - měděný drát průměru 0,1 mm je vhodný na drátová propojení, je ošetřen ochranným izolačním lakem, ten se musí z konců před použitím odstranit. To lze provést s ostrým nožičkem, ale je to dost náročné z důvodu malého průměru drátu. Ten se při tomto způsobu snadno přetrhne. Při vytváření vzorku byl použit jako nit poté, co se lak z jeho konců odstranil zahřátím.



Obr. 25, Vodivá nit



Obr.26 Měděné vlákno

- Smáčedlo



Obr.27 Pájecí pasta

- Držák na baterii CR2032 - je původně určený jako doplněk k desce Arduino Lilypad, má praktický vypínač a zabudované otvory umožňující přišití vodivými nitěmi k textilií.



Obr.28 Držák na baterie

- Digitální multimetr UNI-T UT195E PRO Line



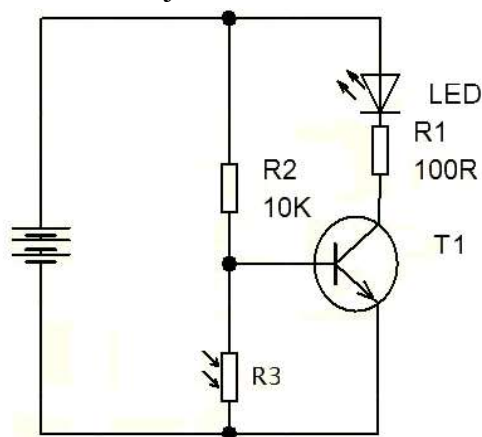
Obr.27 Digitální multimetr

5.2 Obvod s fotorezistorem

Jako první byl sestaven obvod s fotorezistorem pro otestování kontaktování pomocí vodivého inkoustu, vodivé nitě a pájením.

5.2.1 Schéma obvodu

První obvod byl sestaven dle následujícího schématu.



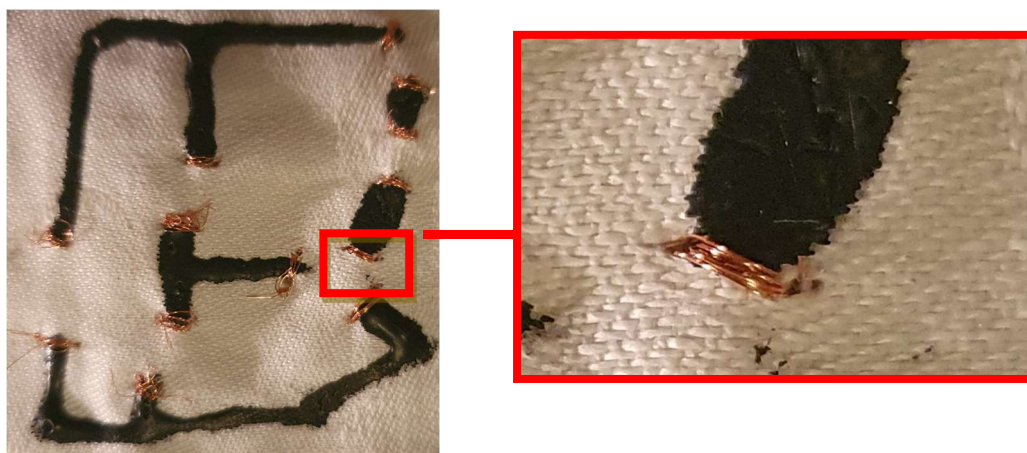
Obr.29 Schéma zapojení s fotorezistorem

Fotorezistor je použit v odporovém děliči, kde udává napětí pro bázi tranzistoru T1. Ve tmě je toto napětí 1,7 V, LED dioda tudíž svítí. Při dopadu intenzivního světla na fotorezistor se jeho odpor výrazně sníží a na bázi je téměř nulové napětí. Tranzistor se uzavře a LED dioda zhasne.

5.2.2 Realizace.

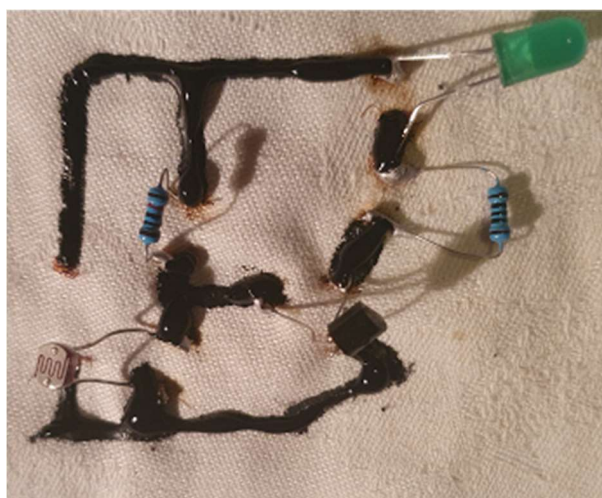
V prvním kroku samotné realizace byly vodivým inkoustem nakresleny spoje mezi

jednotlivými součástkami. Na konci každého spoje byla měděným drátem vytvořena kontaktní ploška pro snadnější připájení vývodů součástek.



Obr.30 Inkoust a měděný drátek po aplikaci na tkaninu

Součástky (LED dioda, fotorezistor 5516, tranzistor SS8050, rezistor 100 Ω a rezistor 10 000 Ω) byly připájeny k měděným ploškám. Obvod nebyl funkční a bylo potřeba aplikovat druhou vrstvu inkoustu. Po jejím zaschnutí a po připojení ke zdroji 3 V se obvod stal funkčním.



Obr.31 Tkanina s připájenými součástkami

Délka takto vyvedeného spoje nesmí být příliš velká z důvodu ztrát, což bylo ověřeno i experimentem. Bylo provedeno měření na vzorku inkoustu Electric Paint. Na textil byla nakreslena rovná čára šířky cca 3 mm a délky 25 cm.



Obr.32 Tkanina s inkoustovým spojem

Při jednotlivých měřeních multimetrem byla jedna svorka vždy umístěna na začátek inkoustového spoje a druhá do vzdálenosti dle tabulky 3. Bylo přivedeno napětí velikosti 3,3 V. Výsledky byly přeneseny do grafu, ze kterého je patrné, že z počátku je pokles napětí prudší a od 7 cm spoje je téměř lineární. Pokud by měla barva nižší viskozitu, bylo by možné k aplikaci použít rýsovací pero. Z důvodu vyšší viskozity byl použit štětec.

Tab.3 Měření velikosti napětí v závislosti na délce spoje

Měření velikosti napětí v závislosti na délce spoje														
l[cm]	0	0,5	1	2	3	4	5	7	10	15	20	25	30	35
U[V]	3,3	2,93	2,86	2,67	2,48	2,34	2,22	1,95	1,78	1,5	1,25	0,98	0,72	0,47



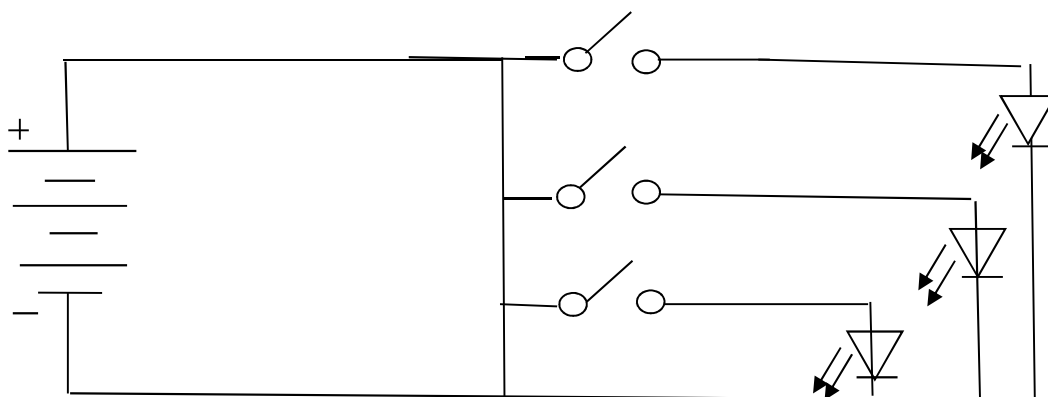
Obr.33 Závislost poklesu napětí na délce spoje u spoje vytvořeného inkoustem

5.3 Obvod s LED diodami

Jako druhý byl sestaven obvod se 3 LED diodami pro otestování kontaktování pomocí kovového druku, nitě s vodivým vláknem uvnitř a tenkého měděného drátu.

5.3.1 Schéma obvodu

Druhý obvod byl sestaven dle následujícího schématu.

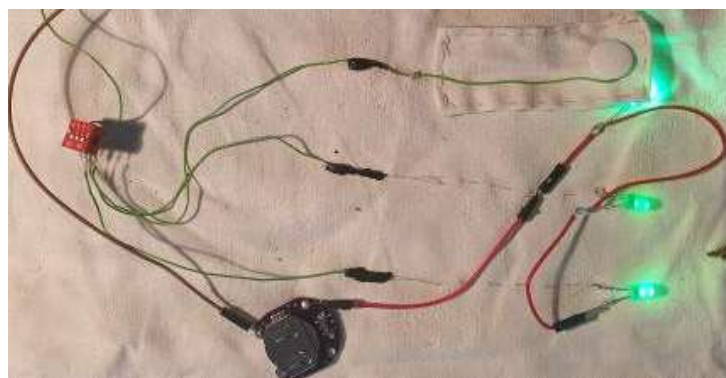


Obr.34 Schéma zapojení s LED diodami

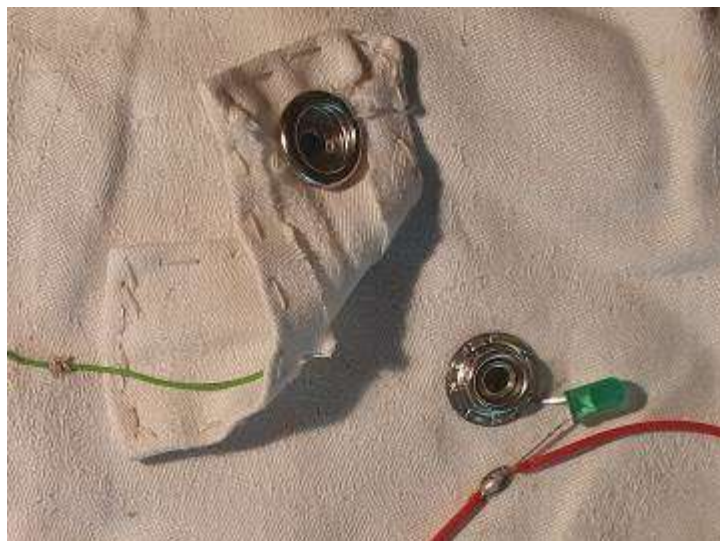
S pomocí použitého přepínače je možné zapnout jednu, dvě nebo všechny LED diody na jednou.

5.3.2 Realizace

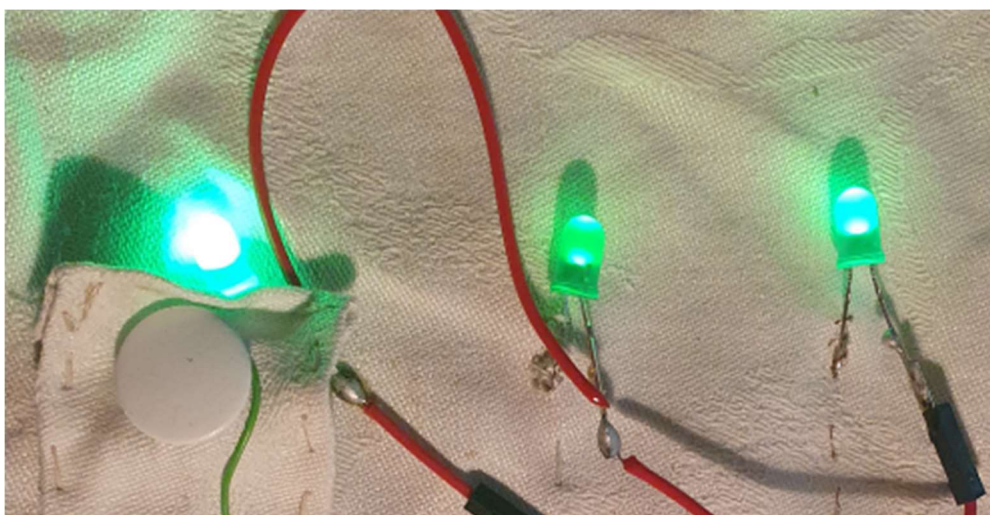
Po zapnutí 3 V baterie, která byla použita jako zdroj, se obvod rozsvítí. Pokud je na přepínači zvolena možnost svitu všech LED diod, vždy svítí nejjasněji dioda připojená pomocí kovového druku, na něm je nejnižší úbytek napětí z důvodu nejvyšší vodivosti. Méně svítí LED dioda připevněná měděným drátkem a nejméně ta, která byla přišita vodivou nití. Toto bylo ověřeno i orientačním změřením pomocí multimetru. Ten v případě vodivého druku ukazoval hodnotu 2,8 V, u měděného drátku 2,5 V a u niti 2,3 V. Diody v detailu vyfotografovány na obrázku 34. Z důvodu názornosti byl obvod sestaven tak, aby všechny spoje měly stejnou délku, z důvodu snadnější manipulace nevedou použité kontaktovací metody až k přepínači, ale bylo využito dobré adheze vodivého inkoustu a jím byly připevněny drátky, které byly následně připájené k přepínači (viz obr.34).



Obr.35 Realizace obvodu s LED diodami



Obr.36 Detail druku po aplikaci



Obr.37 LED diody, kontaktováno (zleva) drukem, nití, drátem

5.4 Měření odporu kontaktů a vodivých cest

Běžné digitální multimetry měří úbytek napětí na prvku při průchodu proudem a následně vypočítají hodnotu odporu z Ohmova zákona. Při měření prvků s velmi malým odporem je hodnota odporu srovnatelná s odpory přívodních vodičů a přechodovými odpory svorek. Z toho vyplývá, že úbytky napětí na přívodních vodičích a svorkách nejsou zanedbatelné a způsobí velkou chybu měření. Aby se této chybě předešlo odpor kontaktů byl změřen pomocí čtyřvodičové (Kelvinovi) metody z důvodu její vhodnosti pro malé odpory.

Princip této metody je následující. Dva vodiče přivádí na vzorek proud a dvěma vodiči – umístěnými co nejblíže vzorku – měříme napětí, které působením proudu vzniklo.

Měření odporu kontaktů

V prvním zrealizovaném obvodu je 11 stejným způsobem vytvořených kontaktů - měděným drátkem vyšitá ploška, na ní připájená součástka. Hodnoty nemohly být naměřeny na konkrétním vzorku z obr.31 z důvodu již aplikovaného vodivého inkoustu, který by měření ovlivnil. Byly tedy vytvořeny nové kontakty identickým způsobem, naměřené hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 3. Z tabulky vyplývá, že ne všechny by mohly být vyhodnoceny jako funkční.

Tab.3 Hodnoty odporů u jednotlivých kontaktů

číslo kontaktu	1	2	3	4	5
odpor[Ω]	0,05	0,09	1,82	0,49	0,08

V druhém vytvořeném obvodu byly kontakty vytvořeny drukem, přišitím vodivou nití a přišitím měděným drátkem. Naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky 4.

Tab.4 Hodnoty odporů u jednotlivých kontaktů

kontakt	odpor [Ω]
měděný drátek	*
vodivá nit	*
druk	0,21

*Odpor se nepodařilo změřit, oba dva materiály jsou vodivé uvnitř a na povrchu izolované. Při tvorbě kontaktu se odizoloval pouze konec, se kterým se přišila součástka. Při následném měření se mi nepodařilo měřící svorky přiložit k vodivé části materiálu.

Měření odporu vodivých cest

U vodivých cest nepředpokládáme odpor menší než 1 Ω, proto jsou změřeny dvojvodičovou metodou.

Inkoust se stává elektricky vodivým až po řádném zaschnutí. To trvá minimálně dvě hodiny. Ruční aplikace inkoustu na podkladový materiál má za následek vznik nestejně vodivé vrstvy, což dokazuje tabulka 5 – dle teoretického předpokladu by odpor měl být přímo úměrně závislý na délce spoje, ale není. Při opakování měření (stejná vzdálenost, jiné místo na vodivé cestě) vidíme, že se výsledky značně liší.

Tab.5 Hodnota odporu inkoustové dráhy v závislosti na délce spoje

délka spoje [cm]	1	5	10	15
odpor[Ω], měření 1	71,4	169,8	170	193
odpor [Ω], měření 2	34,5	167	175,8	158,2
odpor [Ω], měření 3	56,2	178,3	164,7	199,9

Hodnota odporu vodivé nitě je dle výrobce 700 Ω /m, hodnota odporu měděného drátku je dle tabulek 2,3 Ω /m.

6 Závěr

Současný trend rozvoje smart textilií bude jistě pokračovat z důvodu dostupnosti nových materiálů, IT technologií a požadavků na zkvalitnění (či zjednodušení) lidského života v oblasti zdraví, trávení volného i pracovního času. Metody kontaktování jsou klíčovou částí procesu výroby smart textilií. Z důvodu rychlého rozvoje a vysoké konkurence výrobci informace utajují a nezveřejňují.

Metody kontaktování se dají rozdělit na rozebíratelné (druk, vodivý suchý zip) a nerozebíratelné (pájení, svařování, vodivé lepení, krimp). Nerozebíratelné mají nižší přechodový odpor, vyšší mechanickou pevnost a lepší vodivost. Kontakty, při jejich vzniku je potřeba působení vysokých teplot jsou stabilní, ale je nutné dát pozor na možné poškození textilu. Suchý zip je výhodný svojí flexibilitou, problém je ale s omezeným množstvím možných rozpojení.

Z hlediska prostoru nutného ke kontaktování jsou výhodné pájení nebo svařování, oproti tomu druky jsou prostorově náročnější.

Z praktické části práce vyplynulo několik následujících poznatků. Při pájení na textil se vlivem vysoké teploty tkanina může spálit, manipulace tedy musí být prováděna obezřetně. Výrobce vodivé niti, použité v tomto experimentu, uvádí, že jde lanko i pájet, pokud je dostatečně očištěné. Dle teoretického předpokladu by se při pájení ihned po dotyku pájecím hrotem měla porušit izolace a poté by cín měl vyvzlínat po vodivých vláknech. Zde použité kovové vlákno má velice malý průměr (výrobce jej neuvádí, ale je výrazně menší než 0,1mm) a zapájet se nepodařilo, ani při několika pokusech s různými teplotami pájky a výměnami hrotu.

Požadavkem pro kvalitní vedení proudu na inkoustem vytvořené dráze je co nejmenší nasáknutí do textilního substrátu. Ten by tedy měl být co nejhustší. Poté ale nastává problém s popraskáním nebo dokonce odlupováním inkoustu. V praxi musí být inkoust pokryt ochrannou vrstvou.

Aplikaci kovového druku velice usnadní vhodný lis, při aplikaci kovového druku bez něho je třeba jistá zručnost, zvláště pokud nemá být poničena součástka. Výhodou je naopak vytvoření masivního kontaktu s vysokou vodivostí a z ní vyplývající nízký úbytek napětí. Není nutná enkapsulace.

Při porovnávání ztrát vykazuje největší ztráty část zapojení s vodivou nití, která má poměrně velkou rezistivitu.

Inkoustem vyvedené spoje nemohou být moc dlouhé, úbytek napětí na spoji okolo 45 cm je

téměř 100 %. Kvalita přenosu závisí také na velikosti vrstvy barvy, dokonalosti jejího proschnutí, šířce spoje a dalších faktorech.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Moučková Kateřina, Technologie a využití smart textilií pro monitorování životních funkcí, bakalářská práce, 2017
- [2] Chytrá textilie uchová energii místo baterie [online]. [vid. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/chytra-textilie-uchova-energii-misto-baterie/>
- [3] Vývojové trendy textilního a oděvního oboru, dostupné z <http://www.nuv.cz/pospolu/vyvojove-trendy-textilniho-a-odevniho-oboru-odborny>
- [4] Srinivasan A. V., Mc Farland D. M.: Smart Structures, Cambridge University Press 2001
- [5] Zelová Katarína, Stroje a zařízení v oděvní výrobě. Strojní šicí jehla, povrchové úpravy jehel Nové trendy jehel. [online]. [vid. 2020-05-10]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/14722848-Predmet-stroje-azarizeni-v-odevni-vyrobe-strojni-sici-jehla-povrchove-upravy-yjehel-nove-trendy-jehel-ing-katarina-zelovaph-d.html>
- [6] Čechura Martin, Kontaktování chytrých textilií, bakalářská práce, 2019
- [7] Electronic textiles-DZP technologies [online]. [vid. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://www.dzptechnologies.com/electronic-textiles/>
- [8] Stará Lenka, Využití uhlíkových vláken v oděvním průmyslu [online]. [vid. 2020-05-10]. Dostupné z: https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/11225/mgr_21179.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [9] Kovové vlákno, [online]. [vid. 2019-12-01]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kovové_vlákno
- [10] Demoulin B., Hammi T., Nurmi S, Protection Against Electrostatic and Electromagnetic Phenomena, [vid. 2019-12-01]. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/23535450/Multifunctional-Barriers-for-Flexible-StructureTextile-Leather-and-Paper>
- [11] Cadogan David P., Shook Lauren S, Manufacturing and Performance Assessments of several Applications of Elextotextiles and Large-Area Flexible Circuits, [vid. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/d99e/a42fb2d59ad74cd7de5761d99902b9e15762.pdf>
- [12] Pakostová Věra, TEXTILNÍ VLÁKNA-text k semináři [online], [vid. 2019-10-24]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2017/C5985/um/Textilni_vlaknatek_k_prednasce.pdf
- [13] Netkané textilie, [online]. [vid. 2020-05-10]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/netkane-textilie/page/457/>

- [14] Suchý Stanislav, Optimalizace technologického procesu vyšívání elektronických prvků pro chytré textilie, [online]. [vid. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/handle/11025/32482>
- [15] Norma ISO 4915
- [16] Kovaříková Petra, Zhodnocení trendů v oblasti vyšívacích strojů, [online]. [vid. 2020-05-10]. Dostupné z: https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/4208/bc_13459.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [17] www.brother.cz
- [18] E-Textiles for Wearability: Rewiew Of integration Technologies, [online]. [vid. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.textileworld.com/textile-world/features/2010/04/e-textiles-for-wearability-review-of-integration-technologies/>
- [19] Inteligentní textilie, [online]. [vid. 2020-05-10]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/inteligentni-textilie-2005_01_30270_2793/
- [20] Militký J., Vlastnosti vláken: Elektrické vlastnosti, [online]. [vid. 2020-05-10]. Dostupné z: <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/VlastnostiVlaken-prednaska6.pdf>
- [21] Nezhybová Jana, Tisk vodivých inkoustů na textilní materiály [online]. [vid. 2020-05-10]. Dostupné z: https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/112590/V_02214_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [22] Hart/soft connestions, [online]. [vid. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.kobakant.at/DIY/?p=1272>
- [23] Sewing with Conductive Thread, [online]. [vid. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/sewing-with-conductive-thread>
- [24] Odporové svařování, bodové svařování, švové svařování, [online]. [vid. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/odporove-svarovani>
- [25] Špiroch Jiří, Vodivé lepení v elektrotechnice, [online]. [vid. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/handle/11025/18838>
- [26] Flexo, helio, síto - E15.cz / strategie [online]. [vid. 2020-05-11]. Dostupný z: <http://strategie.e15.cz/prilohy/s-print/flexo-helio-sito-vsichni-silha-ji-pobarvach-jez-vedou-469934>
- [27] Svařování ultrazvukem, [online]. [vid. 2020-05-11]. http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_svarovani_ultra_zvukem_mrna.pdf

- [28] Franko Jaroslav, Technologie pájení a vodivého lepení v elektrotechnice, [online]. [vid. 2020-05-10]. Dostupné z:
https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/23130/1/Konecna_Prace_Se_Zadanim.pdf
- [29] What is wereable technology? [online]. [vid. 2020-05-10]. Dostupné z:
<https://wtvox.com/fashion-innovation/wearable-technology/>
- [30] Soldering conductive fabric [online]. [vid. 2020-05-10]. Dostupné z:
<https://www.kobakant.at/DIY/?p=1718>
- [31] <https://www.protocentral.com/conductive-fabric-/333-conductive-hook-loop-tape-velcro-3-long-.html>
- [32] Vodivé inkousty a chytré textilie [online]. [vid. 2020-05-10]. Dostupné z:
https://www.aldebaran.cz/bulletin/2015_23_ink.php
- [33] Čácha Martin, UV vytvrzování sítotiskových past, [online]. [vid. 2020-06-10]. Dostupné z:
https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/32371/1/BP_Martin_Cacha.pdf
- [34] viskozita, viskosita - ABZ.cz: slovník cizích slov [online]. [cit. 2020-06-07]. Dostupný z:
<http://slovník-cizich-slov.abz.cz/web.php/slovo/viskozita-viskosita>
- [35] Vlk Petr, Způsoby propojení elektronických prvků pro smart textilie [online]. [vid. 2020-06-10]
- [36] Balabán Jan, Průmyslové chytré textilie [online]. [vid. 2020-06-10] Dostupný z:
https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/32181/1/BC_Prumyslove%20chytre%20textilie_balaban.pdf
- [37] Vokáč, L., Goodyear má pneumatiky budoucnosti. Dobijí baterie a mění tvar. [vid. 2020-06-10] Dostupný z: https://auto.idnes.cz/goodyear-koncepty-bh03-a-triple-tube-du9-/automoto.aspx?c=A150313_193705_automoto_vok
- [38] Boychenko Olha, Aplikace nositelné elektroniky pro zlepšení funkčnosti oděvů [online]. [vid. 2020-06-10] Dostupné z:
https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/17878/Boychenko_DP20152.pdf?sequence=1
- [39] Zigo Miroslav, Kontaktování tištěných vodivých motivů na flexibilních substrátech [online]. [vid. 2020-06-10]
- [40] Zigo Miroslav, Porovnání sítotiskové technologie a technologie aerosol jet printing [online]. [vid. 2020-06-10]