



Tvorba elektricky vodivých drah pro speciální oděvy s využitím výšivky a 3D tisku

Diplomová práce

Studijní program:

N3106 Textilní inženýrství

Studijní obor:

Oděvní a textilní technologie

Autor práce:

Bc. Bianka Šipecová

Vedoucí práce:

doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.

Katedra oděvnictví





Zadání diplomové práce

Tvorba elektricky vodivých drah pro speciální oděvy s využitím výšivky a 3D tisku

Jméno a příjmení: **Bc. Bianka Šípecová**
Osobní číslo: T17000025
Studijní program: N3106 Textilní inženýrství
Studijní obor: Oděvní a textilní technologie
Zadávací katedra: Katedra oděvnictví
Akademický rok: 2019/2020

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši o vodivých drahách vytvořených pomocí vodivých šicích nití používaných ve Smart oděvech pro propojení senzorů a dalších elektronických prvků pro monitorování teploty, vlhkosti a dalších veličin, příp. kamerových systémů a systémů pro zvýšení viditelnosti.
2. Otestujte tvorbu vodivých drah na textilií pomocí technologie šití resp. vyšití a pomocí 3D tisku.
3. Odzkoušejte propojení vybraných čidel pomocí vodivých drah a otestujte spolehlivost, parametry a životnost.
4. Výsledky shrňte a navrhnete optimální technologii tvorby vodivých drah.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle rozsahu dokumentace
cca 60 stran
tištěná
Čeština



Seznam odborné literatury:

- Electronic Textiles: Smart Fabrics and Wearable Technology. 2015, Woodhead Publishing. 2015, UK 307s ISBN 978-0-08-100201-8.
- Smart Textiles for Medicine and Healthcare: Materials, Systems and Applications, 2007, Woodhead Publishing 2007, UK, 312s. ISBN 978-1-84569-027-4.

Vedoucí práce:

doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
Katedra oděvnictví

Datum zadání práce:

4. září 2019

Předpokládaný termín odevzdání:

29. května 2020

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

L.S.

prof. Dr. Ing. Zdeněk Kús
vedoucí katedry

V Liberci dne 14. prosince 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

20. května 2020

Bc. Bianka Šípecová

Podakovanie

Chcela by som vyjadriť vďaku vedúcemu tejto diplomovej práce doc. Ing. Antonínovi Havelkovi, CSC., za jeho odborné rady, cenné pripomienky a ochotu pomôcť. Takisto by som chcela poďakovať Ing. Michalovi Martinkovi za pomoc pri testovaní vyšitých vodivých dráh a pri práci s 3D tlačiarňou. V neposlednom rade by som chcela poďakovať p. Hane Rulcovej za asistenciu pri vyšívacom stroji Tajima DG15 by Pulse a firme Clevertex za poskytnuté vodivé nite na testovanie. V poslednom rade, chcem poďakovať rodine a kamarátom za trpezlivosť a podporu pri písaní diplomovej práce.

Anotácia

Táto diplomová práca je zameraná na tvorbu vodivých dráh pre špeciálne odevy s využitím výšivky a 3D tlače s vodivým materiálom.

Teoretická časť sa zaoberá históriou nositeľnej elektroniky a jej vývojom, ako aj ďalším využitím v odevy. Obsahuje informácie o vodivých nitiach a ich kombinácii v textíle. Posledná časť je zameraná na 3D tlač, rozdelenie 3D materiálov a ich kombinácia s textilom.

Vodivé nite a 3D vodivý materiál je testovaný v experimentálnej časti. V rámci zistenia ich elektrickej vodivosti je meraný elektrický odpor a na základe výsledkov je navrhnuté konečné riešenie ich použitia. Posledná časť je venovaná ich použitiu v budúcnosti.

Kľúčové slová

Výšivka, 3D tlač, nositeľná elektronika, vodivé nite, vodivý 3D materiál

Anotation

This diploma thesis is focused on creation of conductive threads for special types of garments with embroidery and 3D printing with conductive 3D material.

The theoretical part deals with history of wearable electronics and its development, as well as further usage in clothes. It contains information about conductive threads and techniques of making these threads. The last part is focused on 3D printing, categorizations conductive 3D materials and their combination with textile.

Each of conductive threads and 3D conductive material is tested in the experimental part. The electrical resistance is measured and based on the results the final use of it is described. The last part is dedicated to future use of these methods when it comes to conductive threads and conductive 3D material.

Keywords

Embroidery, 3D printing, wearable electronics, conductive threads, conductive 3D material

Obsah

Obsah.....	8
Zoznam použitých symbolov a skratiek.....	9
Úvod	10
1 REŠERŠNÁ ČASŤ	11
1.1 Vývoj a rozdelenie inteligentných textílií.....	11
1.2 Vodivé nite	12
1.2.1 Všeobecné vlastnosti šijacích nití	12
1.2.2 Druhy vodivých nití.....	13
1.2.3 Vodivé nite od firmy Clevertex	16
1.3 3D tlač	17
1.3.1 3D tlačiareň.....	18
1.3.2 3D vodivý materiál.....	19
1.3.3 3D tlač na textil.....	21
1.4 Spôsoby tvorenia vodivých dráh	23
1.4.1 Vyšívanie vodivých nití.....	24
1.4.2 Všívanie vodivých dráh do odevu	25
1.4.3 Pripojenie/odpojenie senzorov	27
1.4.4 Pripojenie vodivých dráh s čipom a senzormi	29
1.4.5 LED diódy	30
1.5 Spôsoby aplikácie senzorov do odevu	32
1.5.1 Monitorovanie teploty.....	32
1.5.2 Monitorovanie vlhkosti.....	33
1.5.3 Zapojenie kamerových systémov do odevu	34
1.5.4 Zvýšenie viditeľnosti odevu	34
ZHRNUTIE REŠERŠE.....	38
2 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ	39
2.1 Vyšívanie vodivých nití.....	40
2.1.1 Meranie odporu vodivých nití	42
2.1.2 Pripojenie vodivých dráh k senzorum.....	44
2.2 Tvorba vodivej dráhy pomocou 3D tlačiarne	45
2.2.1 Meranie odporu 3D modelu a pripojenie k senzorum	49
2.3 Údržba a životnosť vyšitých vodivých dráh	52
2.4 Návrh riešenia optimálnej technológie tvorby vodivých dráh	60
ZRHNUTIE EXPERIMENTÁLNEJ ČASTI	61
Záver	63
Literatúra	64
Zoznam obrázkov	68
Zoznam tabuliek a grafov	69
Zoznam príloh	70

Zoznam použitých symbolov a skratiek

°C	Stupeň Celzia
2D	dvojdimenzionálne
3D	trojdimenzionálne
ABS	akrylonitrilbutadienstyren
Ag	Striebro
Au	Zlato
CAD	Počítačom podporované projektovanie
CNC	Počítačové číselne riadenie
Cu	Meď
I	Elektrický prúd [A]
l	Dĺžka [m]
LED	Luminescenčná dióda
Min	minúta
Ot.	otáčky
PA	polyamid
Pa	Jednotka tlaku – pascal
PES	polyester
PET-G	polyethylentereftalát
PLA	Kyselina polymliečna
R	Elektrický odpor [Ω]
RTD	Detektory tepelného odporu
S	Obsah prierezu [m^2]
STL	stereolitografie
U	Elektrické napätie [V]
UV	ultrafialové
VÚB	Výskumný ústav Brno
ρ	Merný elektrický odpor

Úvod

Odev ako taký je súčasťou každého človeka. Mal by spĺňať úlohu komfortu, ochrany a estetiky. Za posledných niekoľko rokov sa však do popredia dostáva aj spojenie techniky s textíliami a teda tvorba inteligentných odevov. V dnešnej dobe kedy je používanie inteligentného telefónu na každodennom poriadku sa aj výrobcovia textílií usilujú o uľahčenie života používateľov vložением elektroniky do odevu. Pomocou rovnakých alebo aspoň podobných funkcií. Postupne vznikajú nové odevy, ktoré dokážu zaznamenať zmeny z okolia, poprípade na tieto zmeny vhodne reagovať. S vývojom nových vlákien sa zlepšuje aj komfort ľudí. So zlepšovaným komfortom narastá aj šanca predĺženia života odevu, čo vedie k ekologickejšiemu spôsobu prístupu k odevu. Preto už dnešná aplikácia elektronických senzorov je bežne dostupná v mnohých produktoch. Inteligentné odevy sa dnes využívajú v mnohých oblastiach ako je zdravotníctvo, ozbrojené zložky a malou časťou aj v módnom priemysle.

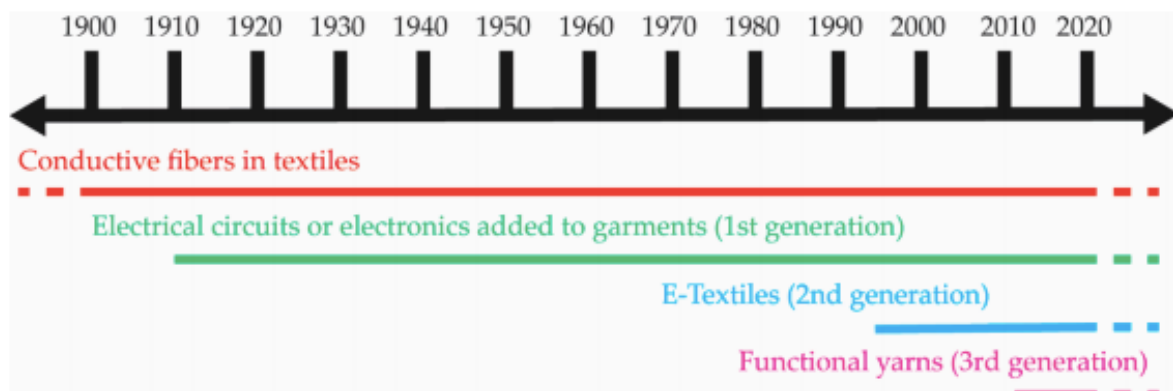
Diplomová práca je zameraná na tvorbu vodivých dráh pomocou vyšívacích techník a 3D tlače s vodivým materiálom. Teoretická časť začína prieskumom oblasti inteligentných textílií, ich rozdelenia podľa schopnosti reagovať na okolité podnety. Jednotlivo sa predstavujú vodivé nite, kategorizácia a správnosť použitia spolu s vodivými niťami poskytnutými firmou Clevertex. Druhá časť teoretickej časti sa samostatne venuje vyšívke a 3D tlači, ich spôsoboch tvorenia, materiálovým zloženým daných vodivých materiálov. V poslednom rade sa predstavujú rôzne oblasti použitia a schopnosti odevov monitorovať okolité faktory ovplyvňujúce život. Základom experimentálnej časti je tvorba vodivých dráh vyšívkou a 3D tlačou. Následne ich odskúšanie elektronických vlastností a životnosti vodivých dráh.

Cieľom diplomovej práce je zistenie funkčnosti tvorby vodivých dráh vyšívacou technikou a za použitia 3D tlače s vodivým materiálom. V oboch testovaniach je dráha pripojená k napájacej doske spolu s LED diódou a sleduje sa svetelné signalizovanie, ktoré charakterizuje funkčnosť danej dráhy. Ako posledný krok testovania sa meria životnosť daných dráh v pracom a žehliacom cykle. Na základe výsledkov sa navrhne možná aplikácia v odevu.

1 REŠERŠNÁ ČASŤ

1.1 Vývoj a rozdelenie inteligentných textílií

Počiatky integrovania elektroniky do textílií sa datujú do skorých začiatkov 20. storočia. Postupne ako sa technika vyvíjala, ľudia posúvali ďalej aj hranice s inteligentnými textíliami. Na obr.1 môžeme vidieť zobrazený vývoj e-textílií. Prvá generácia pridávala elektroniku a obvody na textílie, druhá generácia pridala senzory a vypínače a posledná tretia generácia sa už zaoberala funkčnými priadzami [1]. Pojem „smart odev“ bol prvýkrát použitý v Japonsku v roku 1989. Tento názov bol použitý v experimente s hodvábnou niťou, ktorá vykazovala prvky tvarovej pamäte. Objav materiálov s tvarovou pamäťou v 60-tych rokoch a inteligentných polymérnych gélov v 70-tych rokoch sú považované za zrodenie inteligentných materiálov. Postupne boli tieto materiály zaradené do textilu a ďalej sa začalo pracovať na ich výskume [2].



Obr. 1 Časová os troch generácií vývoja e-textílií [1]

Rozlišujeme 3 typy smart textílií:

- Pasívne textílie- ide o prvú generáciu inteligentných textílií, ktoré sú schopné zaznamenať podmienky z okolia [3]. Ich najčastejšie použitie môžeme nájsť v outdoorových odevoch a v medicínskych zariadeniach. Taktiež môže ísť napr. o UV alebo antibakteriálnu ochranu [4].
- Aktívne textílie- druhá generácia textílií už obsahuje senzory a pohony. Tieto pohony reagujú na signál z okolia. Aktívne smart textílie sú schopné pamätevej

stopy, sú vodo-odolné, meniace farbu, hydrofilné alebo schopné prenášať určitú informáciu ako napr. vyhrievanie a pod. [3].

- c) Ultra inteligentné textílie- ide o textílie z tretej generácie vývoja smart textílií, ktoré sú schopné zaznamenať, reagovať a prispôbiť sa podmienkam okolia na ktoré reagujú. Tieto textílie sa skladajú z jednotiek, ktoré pracujú ako mozog týchto textílií s poznávacími, uvažovacími a aktivačnými schopnosťami [3].

V rámci tvorby smart textílií sa využívajú rôzne techniky aplikácie vodivých dráh, ako je výšivka, 3D tlač alebo tlač na textil [2].

1.2 Vodivé nite

Pri vytváraní vodivých dráh, ale hlavne pri výbere nite pre ďalšie spracovanie, treba brať do úvahy nasledovné vlastnosti nití, ktoré mimoriadne ovplyvňujú proces šitia.

V procese šitia sa používajú dve nite: vrchná a spodná.

Vrchná niť, nazývaná aj ihlová, prechádza očkom ihly. Niť musí spĺňať parametre oka ihly aby prešla jeho priemerom. Pri prechode dochádza k treniu, ktoré spôsobuje narastajúcu teplotu, preto niť vyžaduje dostatočne vysokú pevnosť a ohybnosť. Hladkosť nite ovplyvňuje množstvo trenia, preto by niť mala byť čo najhladšia.

Spodná niť vychádza z cievky. Slučka spodnej nite sa zachytáva o slučku vrchnej nite a tým vzniká previazanie. Spodná niť podstupuje rovnaké podmienky ako vrchná a zvykne byť aj materiálovo rovnaká ako vrchná niť [5].

1.2.1 Všeobecné vlastnosti šijacích nití

Šijacia niť ako jeden zo základných prvkov pri spájaní textílií a vytváraní odevu. Poznáme rôzne druhy nití, ale všetky musia spĺňať základne podmienky:

- vysoká pevnosť pri krátkodobom a dlhodobom namáhaní
- nízka hodnota zrážavosti
- dostatočná hladkosť nite
- vhodná deformácia

- vysoká odolnosť v odere
- vysoká stabilita definovaná zákrutom
- dostatočná tuhosť
- vyhovujúca jemnosť
- vhodná ťažnosť [5].

Nite pri šití sú namáhané tromi spôsobmi:

- a) mechanicky: niť sa namáha pri odere, ohybe a v ťahu
- b) termicky: niť je namáhaná v očku ihly kde dochádza k treniu, ktoré vytvára určitú teplotu a taktiež namáhanie nastáva medzi prechodom nite chapačom a ďalšími ústrojenstvami šijacieho stroja
- c) rázové namáhanie: vzniká pri náhlom zmene rýchlosti alebo smeru šitia [5].

1.2.2 Druhy vodivých nití

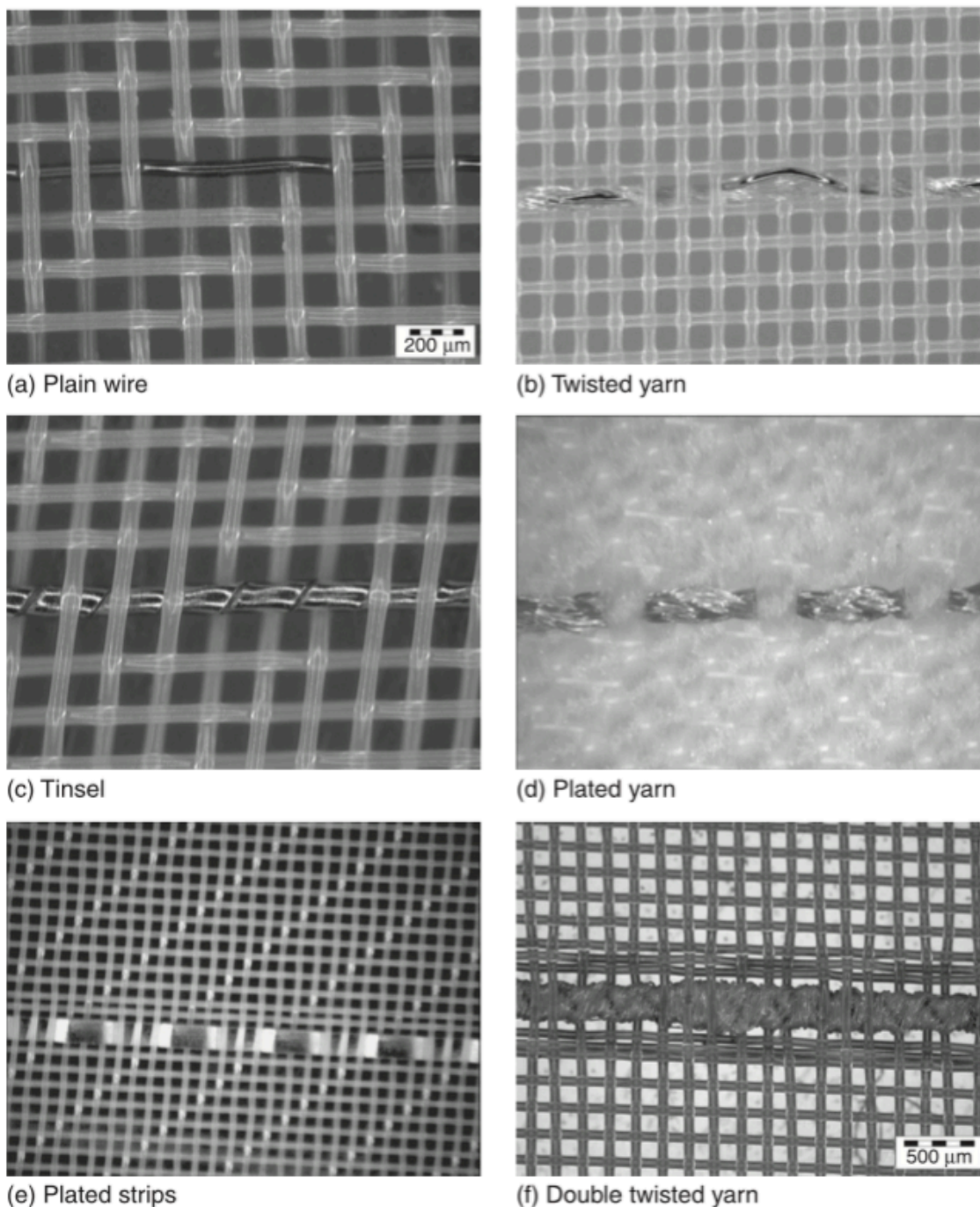
Vodivá niť musí spĺňať dve podmienky a to musí byť vodivá a musí byť vhodná pre vyšívací a šijací stroj. Z momentálneho výberu nití len nite, ktoré sú vytvorené pokovovaním sú vhodné pre obidve tieto podmienky [6].

Ideálna elektrická dráha v obvode nebude deformovať ani zmierňovať elektrický signál. Avšak, v skutočnosti, žiadna z týchto elektrických dráh nie je ideálna a zvlášť nie vtedy keď je integrovaná do tkaniny. Konfigurácia dráhy by sa preto mala optimalizovať podľa typu signálu, ktorý prenáša. Napríklad, silový signál by sa mal poslať cez nízke ohmické dráhy, čím by sa zabránilo ohmickým stratám a zvýšeným teplotám v dráhe.

Výber vodivých nití:

- a) Káblový drôt – dostupný v rôznych kovoch a zliatinách, ako je napr. meď, zliatina medi, nehrdzavejúca oceľ, nikel alebo volfrám. Drôty vykazujú najvyššiu vodivosť pri určitom priemere závitú. Sú zmenšené na minimálny priemer 10 mikrónov a sú spojené štandardnými priemyselnými metódami. Firmy ako napr. Elektrisola ponúkajú drôty s dodatočnou tenkou izoláciou. Drôty majú vhodne definovanú pozíciu v tkanine, ale ich mechanická sila a ohybová pevnosť sú nízke v porovnaní s polymérovými vláknami.

- b) Priadza so zákrutom - kovový drôt je zakrútený spolu s polymérovou priadzou do tvaru pružiny. Počet zákrutov je dôležitým parametrom umožňujúcim definovať elektrický odpor a mechanickú pevnosť vyššiu ako u bežného drôtu. Presnosť polohy drôtu v tkanine je zložité definovať kvôli tvaru pružiny.
- c) Tinsel – pozostáva z nevodivého, mnohovláknenného jadra s kovovým obalom. Znova sa kovový obrys podobá pružine, avšak mechanická sila je vyššia ako u priadze so zákrutom. Tinsel je k dispozícii len bez obalu.
- d) Pokryté vlákno – polymérová niť, napr. PA, je pokovovaná vrstvou striebra alebo podobného kovu. Hrúbka vrstvy je zvyčajne v rozmedzí od 0,1 do 1 mikrónov. Odporúča sa používať multifilové vlákna, pretože môže dochádzať k praskaniu kovovej vrstvy u jednotlivých vlákien. Hrubé vlákno alebo niekoľko vlákien dokopy je potrebných k dosiahnutiu podobnej hodnoty odporu ako pri tých, ktoré sú pokovované. Tieto typy vlákien zvyčajne nie sú spojitelné alebo zváratelné. Avšak z hľadiska mechanickej pevnosti sú pravdepodobne najlepšou možnosťou tohto výberu, aj keď by mohlo v dôsledku dlhodobého nosenia dôjsť k zvýšenému opotrebeniu. Dodávatelia tých vlákien sú Statex GmbH, Tersuisse a Amberstrand.
- e) Pásy - tieto sú podobné pokovovaným priadzam a pozostávajú z polyméru, na povrchu pokovovaným hliníkom alebo striebrom. Poznáme ich tiež pod názvom Lurex.
- f) Priadza s dvojitým zákrutom – má rovnakú konštrukciu jadra ako tkaná priadza, ale má vyššiu ochrannú vrstvu zakrútenú okolo priadze. Predáva ju W.Zimmermann GmbH [7].



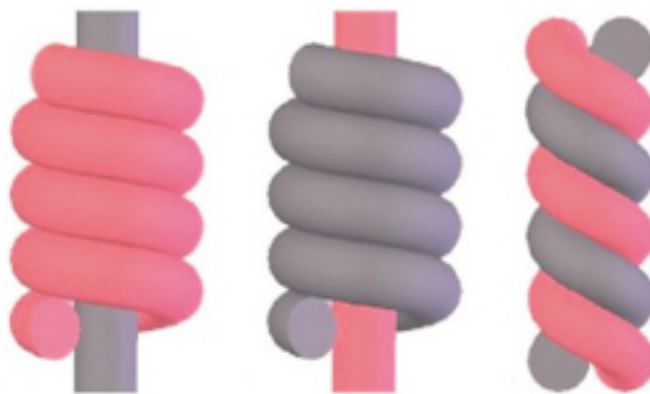
Obr. 2 Výber vodivých priadzí [7]

Textilné materiály, ktoré vykazujú vodivosť alebo slúžia na elektronické alebo výpočtové funkcie sa nazývajú elektro-textílie. Môžu mať rôzne funkcie, vrátane elektromagnetického tienenia, antistatických a elektronických aplikácií, infračervenej absorpcie alebo ochranného oblečenia vo výbušných oblastiach. Vlastnosti ako napínanie, zotavenie, zakrytie, strih a manipulácia sú obzvlášť dôležité pre oblečenie,

čo znamená, že používané vodivé vlákna by mali byť jemné a textílie by mali mať nízku hmotnosť. Tieto požiadavky sú v rozpore s materiálmi, ktoré sú potrebné pre elektrickú vodivosť, pretože včlenenie prvkov, ako sú kovové drôty do textílií, zvyšuje tuhosť a znižuje elasticitu. Zatiaľ čo to môže byť prijateľné vo vonkajších odevoch, ako sú bundy, znižuje to pohodlie odevov, ktoré sa nosia blízko tela, napríklad spodná bielizeň alebo košeľe. Z dlhodobého hľadiska je žiadúca integrácia elektrických zariadení s textilným podkladom. Spojenia medzi komponentmi a rozhraniami sú založené buď na textilných vysielateľoch využívajúcich modifikované textílie, ako sú vlákna a priadze, alebo na aplikácii náterov a potlače [7].

V rámci priadze so zákrutom, kedy ide o kombináciu polymérovej nite s kovovým vláknom, ako môžeme vidieť na obr.8 je možné vytvárať tri kombinácie:

- a) Rotorové spriadanie s polymérom vláknom na povrchu a kovovým vláknom vo vnútri
- b) Rotorové spriadanie s kovovým vláknom na povrchu a polymérom vláknom vo vnútri
- c) Prstencové spriadanie polymérneho vlákna s kovovým [8]



Obr. 3 Spôsoby tvorby vodivých nití [8]

1.2.3 Vodivé nite od firmy Clevertex

Firma Clevertex má na trhu textílií dlhoročnú tradíciu. Od roku 2010 sú súčasťou VÚB a.s. a vtedy sa začali písať ich prvé výskumné začiatky. Zameriavajú sa prevažne na antistatické odevy, odevy pre hasičov a pre policajné zložky Českej republiky. V rámci sortimentu ponúkajú rôzne druhy odevov a taktiež aj vodivé nite ako zobrazuje

obr.9. Neustále pracujú na výskume nových nití a odevov [9]. Ich vodivé nite vynikajú vlastnosťami ako:

- Veľmi nízky lineárny elektrický odpor Ω/m
- Nite sú kompatibilné pre rôzne druhy použitia ako vyšívanie, tkanie, pletenie a pod.
- Mechanicko-fyzikálne vlastnosti nití sú vynikajúce a pri zapracovaní do textilu nevytvárajú problémy ako napr. vytváranie slučiek
- Spĺňajú podmienky pre používanie na bežných vyšívacích a šicích strojoch a je možné ich použiť ako pre vrchnú tak aj spodnú niť
- Zdravotné nezávadné [10].



Obr. 4 Vodivé nite od firmy Clevertex [10]

1.3 3D tlač

Začiatky 3D tlače sa datujú od 80-tich rokov, avšak do povedomia sa dostala až v posledných rokoch a to aj vďaka rozšírenému používaniu domácich 3D tlačiarní. Základným princípom je postupne nanášanie materiálu na rovnej podložke. Materiál sa nanáša v horizontálnych vrstvách. Pred začatím tlače je však potrebné daný model vytvoriť v softvéri, najčastejšie vo formáte STL. Softvér rozdelí daný model na

jednotlivé časti, ktoré následne tvoria celkový objekt. Doba tlače je časovo náročná, keďže objekt je tvorený z veľmi tenkých vrstiev aby výsledný model bol čo najpresnejší. Materiál je v tuhej forme, ktorá sa následne taví, tým sa vytvárajú vrstvy, ktoré po čase tuhnú a model sa stáva pevným. Na trhu je množstvo materiálov, prevažne plastových [11].

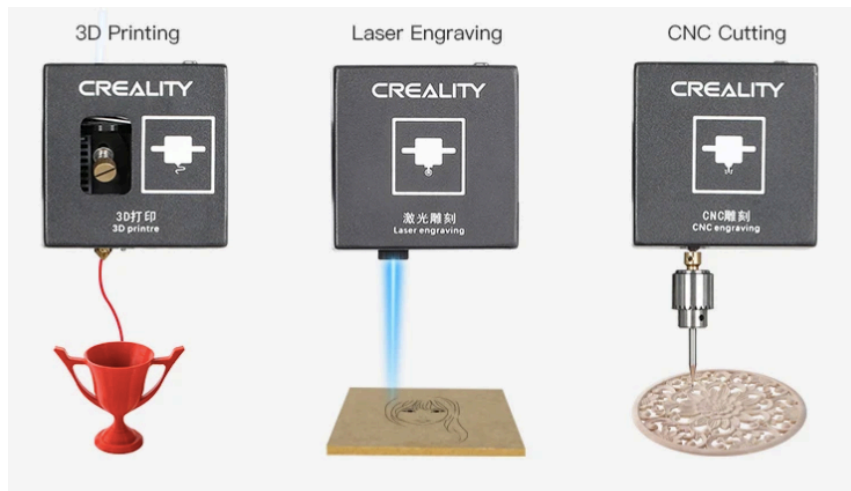
1.3.1 3D tlačiareň

Praktická 3 v 1 tlačiareň, ktorá ponúka mnoho možností tlače. V rámci vymeniteľnej hlavice je možné tlačiť 3D model, gravírovať pomocou laseru a CNC vyrezávanie do dreva. V rámci 3D tlače je možné tlačiť so všetkými dostupnými 3D materiálmi na trhu. Disponuje precíznou tlačou. Po výmene za laserovú hlavicu, je možné gravírovať na rôzne povrchy ako je plast, drevo, papier alebo koža. V rámci CNC hlavice je možné pracovať taktiež na rôznych povrchoch. Všetky výmenné hlavice sú zobrazené na obr.11.

V rámci tvorby 3D modelu je možné vytvoriť model o veľkosti 20x20cm. Veľkosť filamentu je 1.75mm a rýchlosť tlače dosahuje 10-80mm/s [12].



Obr. 5 3D tlačiareň Creality CP-01 [12]



Obr. 6 Výmenné hlavice tlačiarne Creality CP-01 [12]

1.3.2 3D vodivý materiál

Na trhu sa nachádzajú tri druhy 3D materiálu, ktoré poskytujú vodivosť materiálu. Ide o ABS-CE, PLA a PET-G materiál.

Vodivý ABS-CE materiál

Ide o termoplastický polymér s pridaným uhlíkom pre zaistenie vodivosti. Keďže pri tlači nedochádza k žiadnym problémom a je pomerne jednoduchá manipulácia s týmto materiálom, je vhodný na prvotné prototypovanie, ale taktiež aj na výsledný produkt. Tento materiál sa vyznačuje dobrou tepelnou odolnosťou a odolnosťou proti nárazu. ABS materiál je rozpustný v koncentrovaných kyselinách, alkoholoch a pod. Ide o recyklovateľný plast.

Pri tlači môže dochádzať k deformácii, pretože je náchylný na chlad pri tlači, preto je potrebné tlačiť na vyhrievanú podložku. Pre lepšie priľnutie prvej vrstvy je vhodné potrieť ju lepidlom.

Vlastnosti ABS-CE materiálu:

- a) Teplota skleného prechodu je cca 105°C
- b) Teplota topenia cca 205°C a viac
- c) Teplota podložky pri tlači sa doporučuje 90°C a viac
- d) Šírka materiálu je 1,75mm ±0,1mm [13].

Vodivý PLA materiál

Je vytvorený pomocou zmesí uhlíkov (asi 20%) a polymérov. Kombinácia týchto zmesí zaisťuje matný vzhľad. Tento materiál zaisťuje konzistentnú tlač, dobrú mechanickú odolnosť a priľnavosť vrstiev. Pri tlači nedochádza k deformáciám, avšak materiál neznesie vysoké teploty. Materiál je dobre rozpustný v rôznych kyselinách, alkoholoch a iných chemikáliách. Vystaveným na vzduchu môže dochádzať k degradácii materiálu pri absorpcii vlhkosti z prostredia, preto sa doporučuje uskladnenie v uzavretom obale. PLA materiál je zdravotne nezávadný.

Vlastnosti PLA materiálu:

- a) Teplota skleného prechodu je cca 70°C
- b) Hustota je 1,24 g/m³
- c) Tepelná odolnosť do 55°C
- d) Odpor pri 10 cm filamentu (pred tlačou) je 2-3kΩ [14].

Vodivý PET-G/CF materiál

Ide o kombináciu polyethylentereftalátu-glykolu a uhlíkového vlákna. Glykol sa pridáva k materiálovej kompozícii počas polymerizácie, pričom vznikne materiál najviac používaný na výrobu plastových fľašiek, odevov a rôznych obalov na potraviny. Vzniknutý materiál je omnoho odolnejší než jeho pôvodná verzia PET, je jasný a používa sa častejšie pre jeho lepšie vlastnosti. Tento materiál je vo veľkej miere kombináciou ABS a PLA materiálu, kedy z ABS materiálu prevzal vlastnosti väčšej odolnosti voči teplotám a z PLA materiálu jednoduchosť pri tlači. Pri tlači nedochádza ku komplikáciám, nakoľko adhézia medzi vrstvami je perfektná. Nedochádza k deformácii materiálu a veľkou výhodou je aj jeho následná recyklácia. Typické je čierne zafarbenie [15].

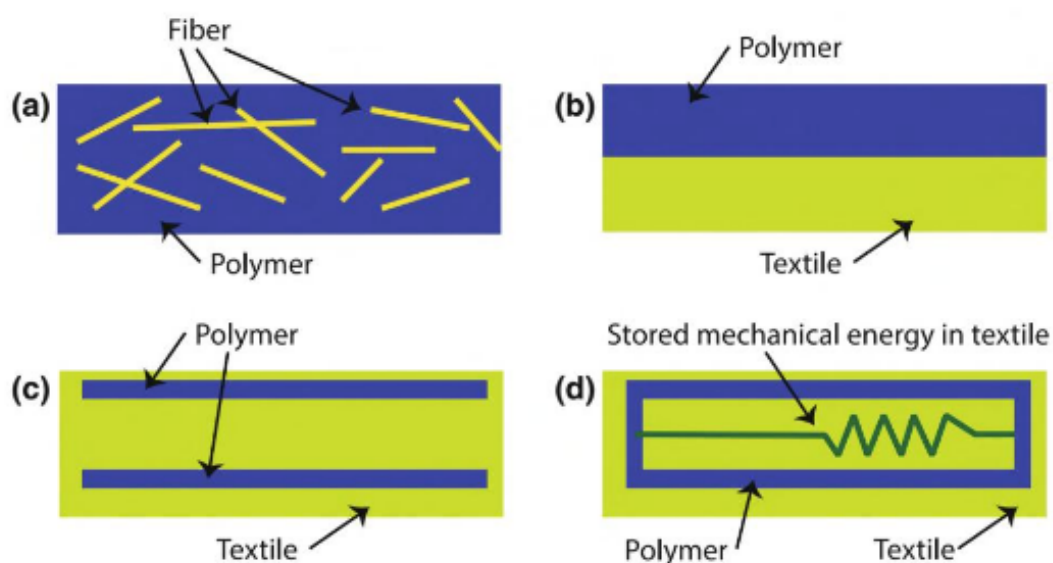
Ďalšie porovnanie materiálov môžeme vidieť v tab.1. [16]

Tab. 1 Porovnanie materiálov PLA, ABS-CE a PET-G [16].

	PLA	ABS-CE	PET-G
Teplota trysky	180-230°C	210-250°C	220-260°C
Teplota podložky	20-60°C	80-110°C	60-90°C
Zachytenie prvej vrstvy	vyhovujúce	dostačujúce	dostačujúce
Pevnosť v ohybe	80 MPa	65 MPa	64 MPa
Teplota skleného prechodu	60°C	105°C	81°C

1.3.3 3D tlač na textil

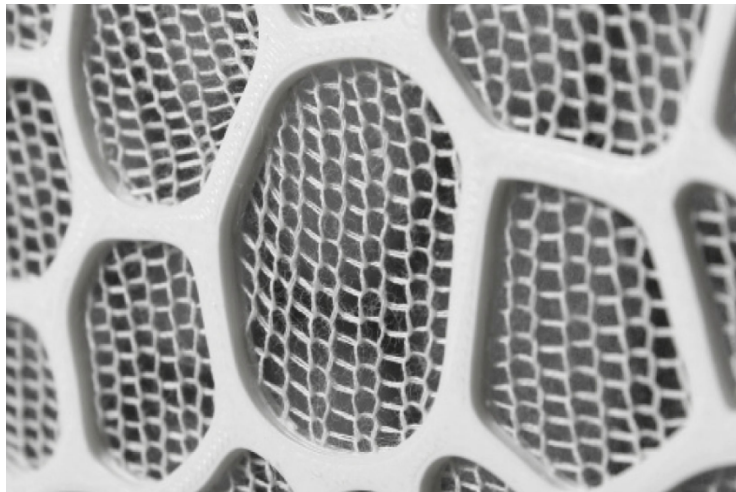
Textilné materiály môžu byť do 3D tlače integrované rôznymi spôsobmi a pre rôzne aplikácie použitia ako môžeme vidieť na obr.12. Ako funkčné vlákna môžu byť vložené ako kompozity tlačeneho materiálu, ktorý následne vytvorí efekt pamäťovej stopy materiálu. Takisto môžu byť použité ako tenká vrstva vytvorená na textílií, pričom môže ísť len o čiastočnú tlač, ktorá je schopná preniesť určitý druh energie.



Obr. 7 Druhy 3D tlače s textilom a na textil [17]

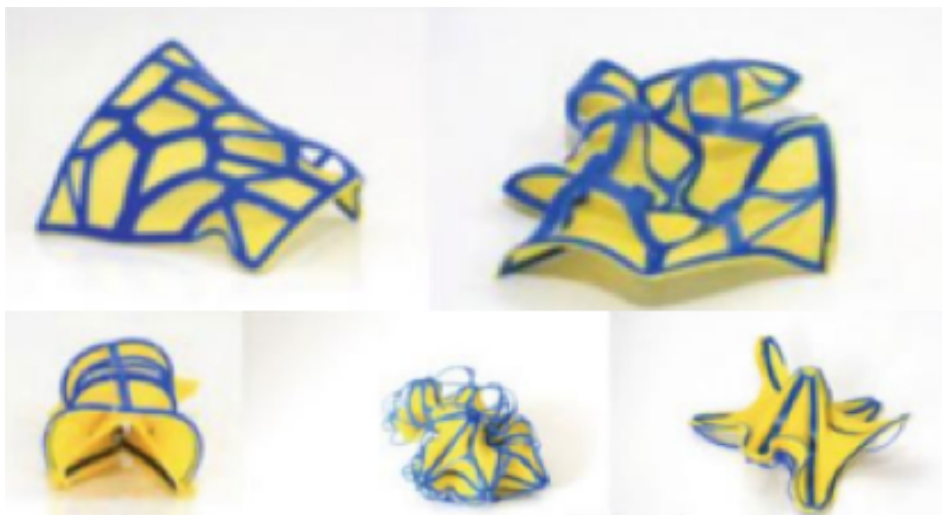
V rámci 3D tlače do úvahy prichádza typ textílie, ktorý bude použitý. Pri tejto tlači môžeme vytvoriť objekty, ktoré budú buď dvojdimenzionálne alebo trojdimenzionálne. Záleží od typu modelu, ktorý budeme tlačiť na textíliu. Na obr.13

môžeme vidieť dvojdimenzionálnu tlač, kedy na textíliu je nanášaná vrstva polyméru v horizontálnom smere.



Obr. 8 3D tlač aplikovaná na pletenine [18]

Avšak ak zmeníme dvojdimenzionálne osy x y na trojdimenzionálne x y z , môžeme dostať objekty, ktoré nám značne zmenia štruktúru a výzor textílie. Tieto štruktúry boli inšpirované z architektúry a bioniky. Na obr.14 a obr.15 môžeme vidieť textíliu, ktorej zloženie je polyester/lycra , je pletená a následne na túto textíliu je tlačený 3D objekt z termoplastického polyméru (modrý) alebo PLA (biely) [17].



Obr. 9 3D objekt z termoplastického polyméru tlačený na pleteninu [17]



Obr. 10 3D objekt z PLA tlačený na pleteninu [17]

V rámci realizácie 3D tlače na textil, mnoho z dostupných termoplastických materiálov môže byť použitých na túto aplikáciu. Materiál je závislý na možnostiach tlačiarne a textilnom substráte. Taviaci sa polymér musí spĺňať dostatočnú teplotu aby sa predišlo poškodeniam textilného materiálu. Z testovania vychádza ako najviac vyhovujúci PLA materiál, ktorý pri skombinovaní s PLA textilným materiálom vykazuje rýchlu a účinnú adhéziu. Pre vytvorenie vhodnej adhézie medzi textíliou a polymérom je nevyhnutnou vlastnosťou porozita textilného materiálu. Pokiaľ ide o menej poróznú textíliu, materiál taviaci sa na textíliu vytvorí film na povrchu, ale nie je schopný preniknúť k spodnej vrstve a tým pádom nedochádza k úplnej adhézii týchto dvoch materiálov. Pri veľmi poróznej textílii zas dôjde k väčšinovému zániku textílie a môže sa zdať, že ide len o polymér a nie o spojenie dvoch materiálov. Najviac vyhovujúce pre túto aplikáciu vychádzajú pleteniny, ktorých pórovitosť si vieme aj sami zväčšiť alebo zmenšiť ich napnutím. Proces tlače prebieha na pevne napnutej textílii, ktorá sa nachádza na doske extrudéru. Z extrudéru vychádza roztavený polymér, ktorý sa nanáša po vrstvách na textíliu a po určitom čase tuhne. Tlač môže ovplyvňovať mnoho faktorov ako je napr. viskozita polyméru, tvar, zákrut, elasticita a zvláknenie textilného materiálu. Toto všetko vplyva na výsledné tlačenie a môže ovplyvniť vlastnosti výsledného produktu [17].

1.4 Spôsoby tvorenia vodivých dráh

Tvorba vodivých dráh môže prebiehať tromi spôsobmi: výšivkou, 3D tlačou alebo potlačeným vodivým atramentom. V tejto diplomovej práci sa zameriame na prvé dva spôsoby výroby.

Ďalej môžu byť vykonané rôzne povrchové úpravy, kedy sa na nevodivý materiál naniesie vrstva kovov, galvanických súčastí alebo kovové soli, ktoré sa využívajú na vytvorenie elektricky vodivých materiálov, ktoré následne umožnia tvorbu inteligentných textílií. Bežné spôsoby poťahovania textílií zahŕňajú pokovovanie, chemické vylučovanie z pary, naprašovanie a vodivý polymérny povlak.

Lisovacie vodivé atramenty sú tiež alternatívou pre vloženie vodivých línií do textílií. Existuje niekoľko technológií, ktoré môžu tlačiť vodivý materiál na textilných podkladoch, ale všetky používajú vodivé farby s vysoko vodivými kovmi, ako je striebro (Ag), meď (Cu) a zlato (Au). Tab.2 ukazuje zoznam výrobných techník s kvalitatívnym porovnaním výrobných atribútov. Všetky výrobné techniky môžu byť použité na výrobu e-textílií [19].

Tab. 2 Kvalitatívne porovnanie nákladov pri rôznych druhoch tvorby e-textílií [19].

Spôsob vytvorenia e-textílií	Výrobné náklady	Materiálové náklady	Komplexnosť procesu	Odolnosť pri nosení
výšivka	vysoké	nízke	vysoká	vysoká
šitie	nízke	nízke	nízka	vysoká
tkanie	nízke	vysoké	vysoká	vysoká
pletenie	nízke	vysoké	vysoká	nízka
netkané textílie	nízke	nízke	nízka	nízka
zakrúcanie	nízke	nízke	nízka	nízka
povrchová úprava	vysoké	nízke	nízka	nízka
tlač	vysoké	vysoké	nízka	nízka

1.4.1 Vyšívanie vodivých nití

Inteligentné textílie sú oblasťou multidisciplinárneho výskumu, ktorý vyvoláva záujem v mnohých priemyselných odvetviach vďaka širokému použitiu v množstve aplikácií. Najčastejšie používanou aplikáciou je výšivka, ktorá je tradične známa ako bežná technika na spracovanie a úpravu textílií.

Ručne robená výšivka sa nachádza v takmer každej kultúre a jej pôvod spadá do dávnych civilizácií. V rámci priemyselnej revolúcie sa výšivka dostala aj do masovej výroby. Až doteraz je vyšívanie jednou z najpoužívanejších techník dekoračnej povrchovej úpravy a je taktiež neoddeliteľnou súčasťou dizajnu odevu.

V súčasnej dobe sa vyšívanie dostalo aj do použitia pri výrobe technických textílií. V tejto oblasti je jednou z najžiadanejších techník spracovania založených na spôsobe vyšívania technológiou Tailored Fiber Placement (TFP). Táto metóda zaisťuje orientáciu vlákna alebo priadze na povrch vo všetkých smeroch, vytváranie trojrozmerných štruktúr a ponúka obrovské možnosti v štruktúre a tvare návrhu. Technológia TFP sa používa pri výrobe vyhrievacích sietí, pri ochrane vodičov, pri vodivých vzájomných prepojeniach, textilných snímačov, atď. Okrem toho vyšívacia technika zabezpečuje nepretržité dvojrozmerné (2D) a trojrozmerné (3D) usporiadanie vlákien.

Medzi ďalšie výhody patrí rozmerová stabilita rozvinutých štruktúr a dobrá reprodukovateľnosť výrobného procesu. Vzory sú vytvárané v CAD(Computer Assisted Design) systéme, čo zaisťuje rýchle prenášanie.

Vo všeobecnosti je možné technické aplikácie výšivky rozdeliť do troch hlavných oblastí použitia : strojárstvo, medicína a inteligentné textílie. Výšivka sa menovite používa v stavebníctve, automobilovom a leteckom priemysle a taktiež v tkanivovom inžinierstve v medicíne.

Výšivka je jednou z najčastejšie používaných technológií v oblasti inteligentných textílií a poskytuje veľký prínos v oblasti nositeľného a flexibilného vývoja elektroniky. Ide väčšinou o aplikáciu vodivých materiálov. Takéto vyšívanie sa nazýva aj e-broidery a teda e-vyšívanie. Vodivé priadze sa používajú na prepojenie elektroniky integrovanej s textilom. Hoci elektronické vyšívanie nesie funkčné úlohy v inteligentných textíliách, stalo sa kľúčovým riešením v oblasti módy a dizajnu interiéru pri výrobe textílií s integrovanými LED diódami [20].

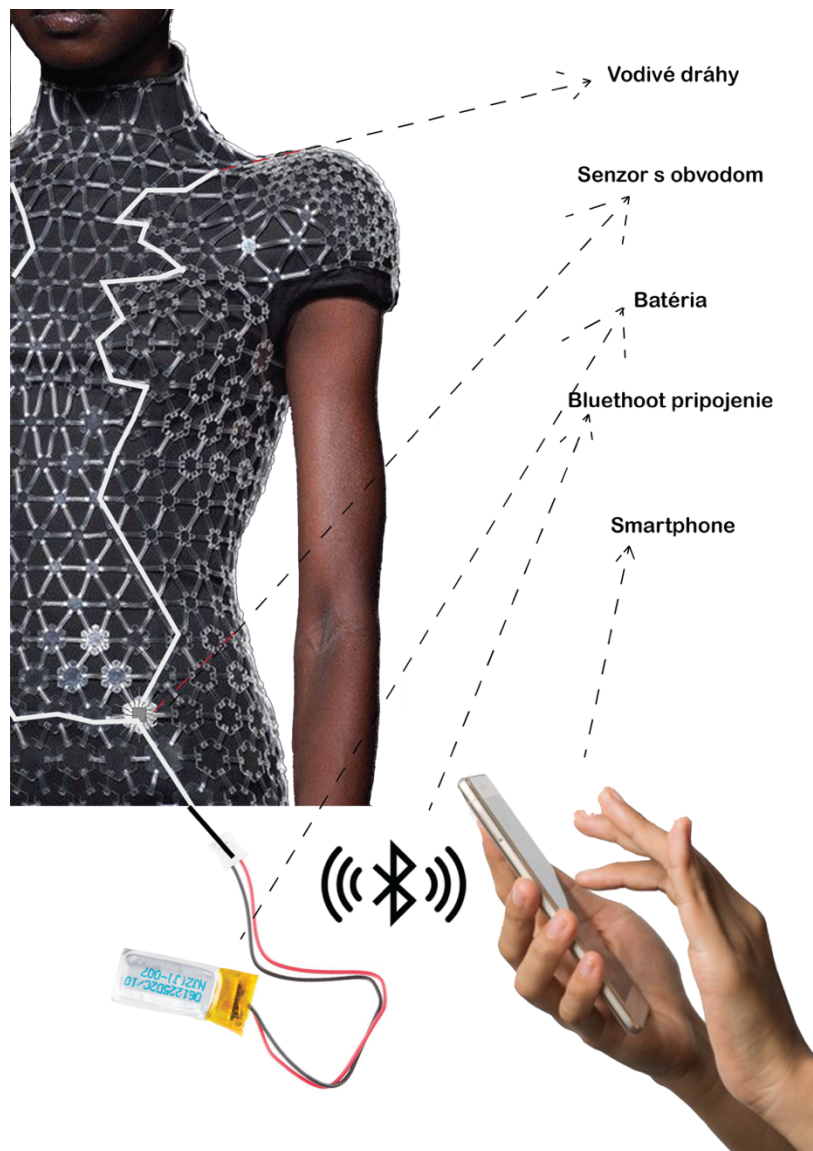
1.4.2 Všívanie vodivých dráh do odevu

Pri výrobe inteligentných textílií je možné použiť rovnaké spôsoby vytvárania textílií ako pri konvenčných textíliách. Rozvoj flexibilných vodivých vlákien umožnil využitie tradičných výrobných techník a spojenia vodivých vlákien s nevodivými. Vkladanie vodivých vlákien môže byť vykonané rôznymi technikami ako je tkanie, pletenie, výšivka.

Vyšívanie vodivou niťou na textilné materiály je široko používanou technikou. Táto technika sa používa na vyšitie vzorov, ktoré definujú stopy obvodu, podložky na

pripojenie senzorov alebo snímacie povrchy, ktoré boli vytvorené pomocou nástrojov CAD [19].

Pripojením elektrických zariadení k textíliám nastáva zmena z obyčajných textílií na materiál, ktorý je schopný poskytovať informácie. Medzi elektrické súčiastky sa zaraďujú elektródy a konektory. Keď sa nositeľné elektronické textílie používajú na získavanie elektrickej energie, elektrické biologické signály, ako je napríklad elektrokardiogram (EKG), využívajú sa elektródy ako mostík medzi telom a obvodom. Ak nie je potrebné získavanie elektrického signálu využívajú sa konektory na prepojenie textílie s elektronickým zariadením. Medený drôt môže byť použitý v aplikáciách mimo kontaktu s pokožkou a strieborná niť sa naopak využíva pri kontakte s pokožkou. Energia potrebná na napájanie e-textilných obvodov sa bežne dodáva z lítium-polymérnych (LiPo) batérií. Batérie LiPo sú zvolené zodpovedajúcim spôsobom v súlade s výkonom a veľkosťou batérie. Cieľom je vybrať najmenšiu LiPo batériu, ktorá je schopná dodať požiadavky na výkon e-textilného okruhu v preddefinovanom množstve a ktorá je schopná dodať požiadavky na výkon e-textilného obvodu v priebehu vopred definovaného času [19].



Obr. 11 Prepojenie medzi jednotlivými súčasťami inteligentného odevu

1.4.3 Pripojenie/odpojenie senzorov

Základným princípom používania vodivého vlákna a textílie je ich vzájomné prepojenie. Ako spomína Goncalves v jeho práci, môžeme použiť rôzne typy materiálov a spôsoby pripojenia. Správne zvolený materiál a spôsob pripojenia tvorí kľúčovú úlohu pri vytváraní inteligentného odevu. Spojenie vodivej nite a výstužného materiálu, ktorý môžeme zvoliť pevnejší (vystužený vláknami), ktorý nie je možné prepichnúť ihlou alebo jemnejší (bez vlákna výstuže), ktorý na rozdiel od toho pevnejšieho je ľahko prepichnuteľný, avšak preto aj menej odolný voči praniu, skladaniu a celkovo noseniu.

Prednostne by mala byť horná niť vodivá, avšak záleží na vyšívacom stroji a hlavne na dizajne odevu. V rámci lepšej manipulácie môže byť horná niť vodivá, kvôli

tomu, že nedochádza ku kontaktu nite s pokožkou. Avšak niektoré návrhy odevov si vyžadujú spodnú niť ako tú vodivú. Takisto je možno vytvoriť odev s podšívku, čím sa vyrieši kontakt vodivej nite s pokožkou nositeľa. Výhodou zvolenia spodnej vodivej nite je, že pri cievke môžu byť použité aj nite s hrubšou metalizáciou a dochádza tam aj k jednoduchšej obsluhu [19].

Kategórie pripojenia senzorov sú mechanické a fyzické:

Mechanické spojenia sú zhotovené s patentkami, ktoré sú priamo začlenené do vodivých línií a dajú sa jednoducho odpojiť. Toto pripojenie zobrazuje obr.17.



Obr. 12 Mechanické pripojenie [21]

Fyzické spojenia zahŕňajú mikro-vrstvy, termoplastickú adhéziu, adhéziu zo zmiešaného vodivého polyméru, spájanie pájkovaním a galvanické pokovovanie. Fyzické spojenia sa vykonávajú vtedy, keď je potrebné trvalé pripojenie.

E-textilné konektory zostávajú otvoreným výskumným poľom vďaka rôznorodosti aplikačných prostredí, kde je každé riešenie prispôbené a je takmer jedinečné [19].

1.4.4 Pripojenie vodivých dráh s čipom a senzormi

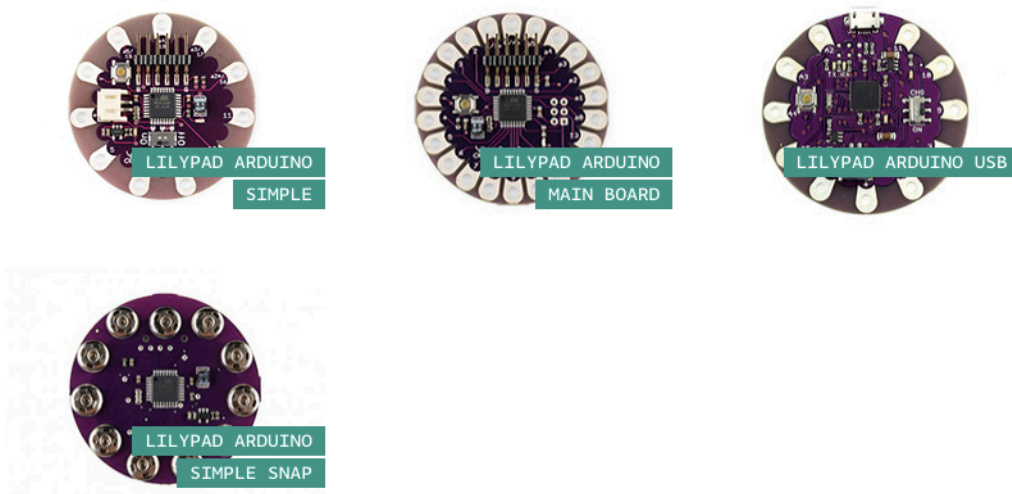
ARDUINO

Arduino je elektronická platforma založená na ľahko použiteľnom hardvéri a softvéri. Dosky Arduino dokážu čítať vstupy - svetlo na senzore, prst na tlačidle alebo správu Twitter - a premeniť ich na výstup - aktivovať motor, rozsvietiť LED, publikovať online. Úlohy, ktoré chce používateľ vykonať zašle do mikro-kontroléra na doske. Používa sa na to programovací jazyk Arduino (založený na zapojení) a Arduino softvér založený na spracovaní.

Arduino softvér je jednoduchý pre začiatočníkov, ale taktiež dostatočne spoľahlivý pre pokročilých užívateľov [22].

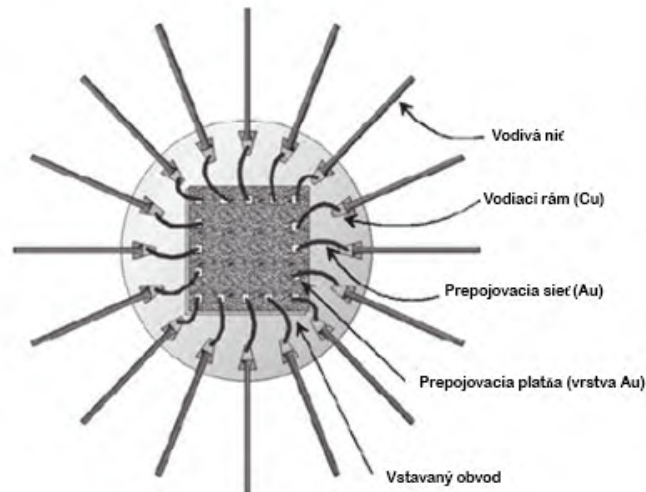
Výhody:

- Lacný
- Široké použitie pre rôzne softvéri
- Jednoduchá obsluha [22]



Obr. 13 Arduino LiliPad snímač pre nositeľnú elektroniku [22]

Pre správne fungovanie odevu je základným predpokladom vhodné prepojenie medzi dráhami a čipom. Po vyšití výšivky na odev sa konce nití pripoja k čipu previazaním alebo prišitím.



Obr. 14 Schéma pripojenia vodivých dráh k čipu s obvodom [23]

1.4.5 LED diódy

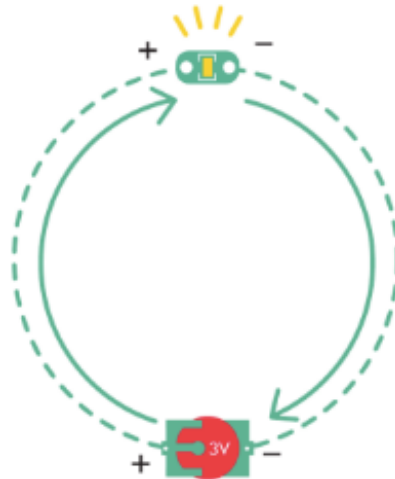
LED možno definovať ako svetelný zdroj, ktorý závisí od polovodičov a elektroluminiscencie na vytvorenie svetla [24]. Využívajú niekoľko anorganických elektrochromických materiálov na vytváranie červeného, žltého, zeleného, modrého, infračerveného alebo ultra-fialového svetla, ktoré sa môže následne kombinovať čím vzniká biela farba. Ich používanie čoraz viac narastá vďaka ich nízkej spotrebe energie, lacnej výrobe, vysokej životnosti a širokej palete farieb. Môžu byť použité v rôznych oblastiach ako je textil a v elektronike na výrobu displejov [2].

Zapojenie obvodu

Pre vytvorenie fungujúceho obvodu, ktorý nám rozsvieti LED diódy je potrebné mať batériu, vodivú niť a pre lepšie ovládanie vypínač. Elektrický obvod je nepretržitý kruh, v ktorom sa energia môže voľne prenášať. Každý obvod teda musí obsahovať zdroj energie vo väčšine prípadov ide o bežne dostupnú batériu, kedy sa veľkosť batérie odvíja od jej veľkosti a tvaru v rámci zaintegrovania do textilu. Ďalším prvkom sú výstupy vo forme LED diód (v našom prípade) a vstupy ako vypínače a senzory. Cieľom tvorby obvodu je viesť energiu zo zdroja cez všetky časti obvodu až naspäť do batérie.

Dôležitým faktorom je, že LED diódy a batérie majú dva póly-kladný a záporný. Pre správne zapojenie obvodu pomocou vodivej nite je potrebné vždy viesť energiu

z jedného pozitívneho konca k druhému a z negatívneho ku negatívemu koncu ďalšieho prvku obvodu. Obr.20 znázorňuje smer tohto prúdenia energie v jednoduchom obvode so súčiastkou LilyPad a vodivou niťou. Pre jeho rozsvietenie a vypnutie musí dôjsť k vybratiu alebo pripojeniu batérie, ktorá je nositeľom energie [25].



Obr. 15 Smer prúdenia energie v jednoduchom obvode s batériou, LilyPad LED a vodivou niťou [25]

Ďalším spôsobom ovládania obvodu je vloženie do obvodu vypínača. Vložením vypínača do obvodu, dôjde k ochrane a stabilite batérie. Jeho vloženíím do obvodu nastane zlomový bod, kedy energia neprúdi ďalej, ale vracia sa späť do batérie až do momentu kedy ho nezapneme. Obr.21 znázorňuje uzavretý obvod v prípade vypnutého vypínača a Obr.22 znázorňuje obvod po jeho opätovnom zapojení.



Obr. 16 Uzavretý obvod s vypínačom [25]



Obr. 17 Otvorený obvod s vypínačom [25]

1.5 Spôsoby aplikácie senzorov do odevu

V rámci aplikácie senzorov a iných elektronických prvkov na monitorovanie okolitých podmienok poznáme niekoľko možností využitia v textile. V nasledujúcej časti si spomenieme niektoré z nich.

1.5.1 Monitorovanie teploty

Aplikovanie teplotných senzorov do textílií predstavuje jednoduchú metódu napríklad pre meranie teploty pokožky. Toto meranie ďalej poskytuje dôležité informácie o mnohých zdravotných informáciách používateľa. Na meranie môžeme použiť tri typy senzorov rozdelených podľa materiálu a prevádzkových princípov. Prvým sensorom je senzor tepelného odporu (resistance temperature detectors-RTD), ktorý indikuje teplotu na základe zmeny elektrického odporu kovov. Ďalšou možnosťou je termistor, ktorý predstavuje typ rezistoru reagujúceho na teplotu. Rozdiel medzi RTD a Termistorom je v materiáli z ktorého je vyrobený. Termistor je vyrobený z polyméru alebo keramiky, pričom RTD je z kovu. Ďalší z rozdielov je v meraní teploty. RTD sú lepšie používať pri vyšších teplotách, pričom termistory dosiahnu vyššiu presnosť v teplotnej oblasti od $-90-130^{\circ}\text{C}$. Treťou možnosťou merania je tepelný termo-článok. Ide o zariadenie pozostávajúce z dvoch rozdielnych vodičov, pričom jeden z nich je kovový a vytvára napätie úmerné teplotnému rozdielu medzi oboma koncami vodičov. Tento efekt môže byť použitý pri vytváraní elektriny, meraní teploty alebo pri menení teploty objektov. Termočlánky sú často používané ako tepelné senzory a taktiež sa

používajú pri zmene teplotného gradientu na elektrickú energiu. Tieto senzory sú samo-dobíjacie čo predstavuje ďalšiu výhodu oproti predchádzajúcim možnostiam [26]. Jedno z mnohých využití teplotných sensorov môžeme nájsť v meraní teploty okolia pri spánku. Spánok ako základná fyziologická súčasť života každého jedinca ovplyvňuje mnoho faktorov, ktoré zabezpečujú komfort. Je dokázané, že pokiaľ ľudský organizmus dosahuje 7,5-9 hodín spánku, viditeľne to zlepšuje jeho imunitu, znižuje nábeh na obezitu a taktiež podporuje pamäť a koncentráciu. Avšak často sa stáva, že okolitá teplota je vyššia alebo naopak nižšia, čo môže negatívne pôsobiť na spánok. V takýchto prípadoch dochádza k aplikácií tepelných sensorov, ktoré sú schopné monitorovať teplotu počas spánku a následne vyhodnotiť najvhodnejšiu hodnotu [26].

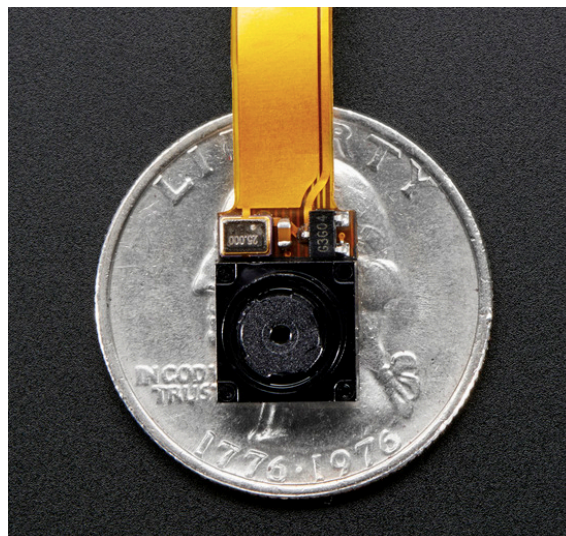
1.5.2 Monitorovanie vlhkosti

Rôzne reakcie či už emocionálne alebo fyziologické spôsobujú tvorbu potu na povrchu ľudskej pokožky. Analýza straty potu a zloženia potu, môže poskytnúť hodnotné informácie vzťahujúce sa na hydratáciu ľudského organizmu. Sledovanie potu počas dňa a noci môže napomôcť k vyhodnoteniu výsledkov týkajúcich sa pacientov trpiacich cukrovkou alebo hyperhydrózou (nadmerné potenie). Projekt BIOTEX vyvinul textilný systém založený na zbieraný a analyzovaný potu, pomocou používania senzoru schopného analyzovať chemické zloženie. Senzor bol zložený z dvoch sensorov snímajúcich vlhkosť prostredia [27].

Typy sensorov sa môžu deliť do piatich základných kategórií: optické, elektrochemické, elektrické, termometrické a citlivé na hmotnosť. Na základe technológie výroby môžu byť keramické, polymérne, jednovrstvové alebo viacvrstvové. Taktiež nesmieme zabudnúť spomenúť kategorizáciu vlhkosťných sensorov v rámci meranej jednotky, ktorá môže byť relatívna alebo absolútna. Najviac používané sú senzory s relatívnou vlhkosťou, ktoré merajú pomer vlhkosti vo vzduchu k najvyššiemu množstvu vlhkosti v určitej teplote vzduchu. Tieto senzory sú častejšie používané pretože sú jednoduché, lacné a preto sa používajú v mnohých aplikáciách merajúcich kvalitu vzduchu a ľudský komfort. Senzory merajúce absolútnu vlhkosť sa používajú zväčša ako primárne senzory, pretože dokážu definovať absolútne množstvo vody v plynnom prostredí [28].

1.5.3 Zapojenie kamerových systémov do odevu

Zapájanie čoraz viac snímacích senzorov je neprehliadnuteľným posunom v rámci textilnej technológie. Používanie kamerových systémov zapojených do odevu môžeme sledovať hlavne vo vojenskom priemysle alebo vo virtuálnej realite. Microsoft prišiel v roku 2007 na trh s nositeľnou kamerou. Nebola síce zabudovaná do odevu ale bola ľahko prenosná, vyzerala ako prívesok a bol schopná urobiť fotografiu každých 30 sekúnd. Postupne vývoj napredoval a kamery sa začali začleňovať do odevu [29]. Výhodou kamier je, že nevyžadujú veľký prísun elektrickej energie, avšak spracovanie videozáznamu túto energiu vyžadovať môže. Pri sledovaní pohybu človeka je nevýhodou kamery obmedzený rozsah sledovania [9]. Na dnešnom trhu sa nachádza množstvo kamerových senzorov. Jedným z nich je aj Spy Camera na obr.18, ktorá vyniká svojou veľkosťou s parametrami 8,5mmx11,3mm. Rozlíšenie kamery je 5 megapixelov [30].



Obr. 18 Spy kamera [30]

1.5.4 Zvýšenie viditeľnosti odevu

V rámci bezpečnosti sa dnes pracuje na vývoji mnohých zlepšení v rámci viditeľnosti odevov. Ide hlavne o chodcov a cyklistov, ktorí sa pohybujú po vozovke v nočných hodinách. Mnohokrát dochádza k stretom automobilu s človekom kvôli slabému osvetleniu chodca alebo cyklistu [31]. V roku 2016 bolo zaznamenaných 4000 dopravných nehôd medzi automobилоm a cyklistom [32]. Na obr.19 môžeme vidieť

úrovne viditeľnosti, ktorú vodič vníma v rámci vzdialenosti od chodca na základe odevu, ktorý nosí. Reflexné prvky v tomto momente zohrávajú dôležitú úlohu [31].



Obr. 19 Zobrazenie viditeľnosti odevu v rámci vzdialenosti od automobilu [31]

Rozlišujeme preto:

- Fluorescenčné prvky- ich viditeľnosť je lepšia počas dňa ako v noci. V noci strácajú svoju funkciu nakoľko nie sú schopné odraziť svetlo z prichádzajúceho automobilu. Môžeme ich nájsť na pracovných odevoch a doplnkoch oblečenia vo farbách ako oranžová, zelená, žltá.
- Reflexné prvky- tieto prvky spĺňajú omnoho viac svoju funkciu ako vyššie spomínaná fluorescenčné. Ide o prvky odevu alebo aj celé odevy, ktoré sú schopné odraziť svetlo už zo vzdialenosti 200m [31].

Ďalším spôsobom zvýšenia viditeľnosti odevu môže byť aplikácia LED diód do odevu. Jedným z príkladov je bunda druhej generácie, vid'. Obr.20, ktorá svetelne signalizuje cyklistu. Bunda obsahuje LED diódy spolu s elektronickým zariadením. Batéria, ktorá poháňa celý systém má výdrž cca 10 hodín, po vybití sa nabíja na

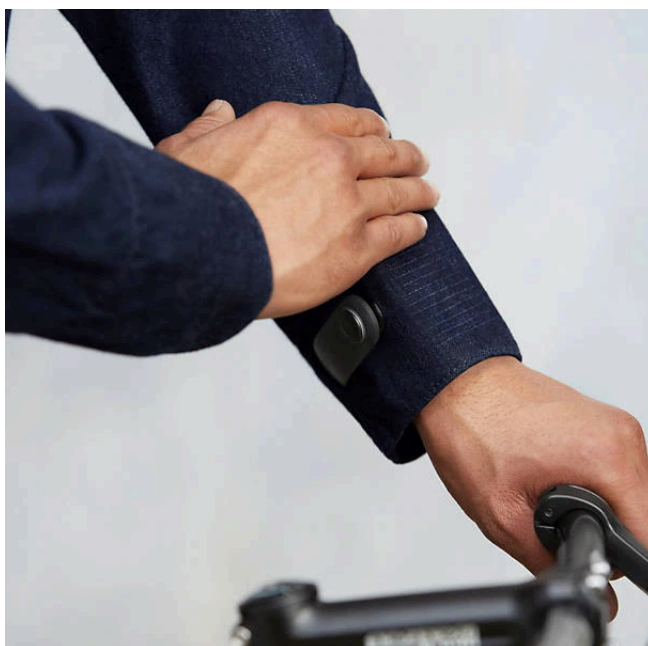
bežných nabíjačkách. Bunda sa môže prať po vypojení elektrického zariadenia. Celkový materiál z ktorého je vyrobená je paro-priepustný a odolný voči vetru. Cyklista je schopný pohybom ruky určiť smer jazdy a tým pádom upozorniť automobil blížiaci sa za ním [32].



Obr. 20 Cyklistická bunda druhej generácie [32]

V posledných rokoch došlo k veľkému nárastu vývoja a aplikácie smart materiálov do textilu. Predpokladá sa, že v roku 2020 dosiahne market v rámci nositeľnej elektroniky hodnotu \$100 miliónov a niektoré zdroje predpovedajú nárast v roku 2027 o \$5 biliónov. Použitých bude okolo 3 biliónov prvkov v textíliách vo forme senzorov, snímačov a pod. V rámci vývoja smart odevov ide o čo najprirodzenejšie aplikovanie týchto senzorov do odevu tak aby nositeľ skoro ani nepostrehol, že nosí elektroniku [33].

S takýmto produktom prišla firma Google v spolupráci s Levi's. Tieto firmy spojili sily pre vytvorenie inteligentnej bundy. Vtkaním vodivých vlákien vytvorili textíliu schopnú viesť informácie. Následne je táto bunda prepojená pomocou Bluetooth s mobilom používateľa. Základným materiálom je bavlna. Bunda je odolná 10-tim razom prania pri vybratí hlavného snímača. Senzor pre prenos informácií je umiestnený na ľavej strane dolnej časti rukávu ako je zobrazené na obr.21. Bunda je schopná umožniť prepnutie pesničky pohybom prsta po rukáve, prijímanie a ukončenie hovoru alebo aj hlasové navigovanie [34].



Obr. 21 Detail rukávu bundy s miestom umiestnenia senzorov [34]

Ďalším z možných produktov je Loomia. Ide o elektronickú vrstvu, ktorá je vhodná pre šitie, vrstvenie, pranie. Je vytvorená z tenkého a flexibilného materiálu, ktorý môže byť vložený do ktoréhokoľvek odevu či obuvi. Táto elektronická vrstva dokáže reagovať na rôzne podnety ako je dotyk alebo teplota. Po dlhodobom výskume bola z tejto inteligentnej textilnej vrstvy vytvorená vlnená bunda Loomia H1. Bunda sa skladá z troch častí ktoré produkujú teplo. Celá energia je založené na batérii s výdržou 2 hodiny, ktorá sa svojou praktickosťou zmesti do vrečka. Následne je možné si teplotu manuálne meniť [35]. Všetky časti, ktoré bunda obsahuje môžeme vidieť na obr. 22.



Obr. 22 Vnútorne prvky Loomia H1 [35]

ZHRNUTIE REŠERŠE

Každodenné objavy v textilnom priemysle posúvajú hranice prepojenia technológie s textilom do mnohých oblastí použitia. Prvé použitie smart odevov sa datuje do 70-tych rokov 20.storočia. Smart odevy rozdeľujeme do 3 kategórií, podľa ich schopnosti reagovať alebo sa aj prispôbiť okolitým podnetom. Pri tvorení vodivých dráh môžeme využiť 3 spôsoby tvorby: výšivku, 3D tlač a tlač na textil. Všetky z týchto troch však musia obsahovať vodivý element. V rámci tejto diplomovej práce sme zvolili dve z variant a to výšivku a 3D tlač. Rešeršná časť sa zaoberala rozborom vodivých nití používaných v textile. Každá niť musí spĺňať podmienky vhodné pre vyšivací stroj a taktiež musí byť schopná viesť informáciu. Momentálne sa na trhu nachádza veľa druhov vodivých nití. Najčastejším typom je priadza so zákrutom. Ďalším spôsobom tvorenia vodivých dráh je možnosť 3D tlače s vodivým materiálom. V rámci výberu vodivých materiálov poznáme 3: ABS-CE, PLA a PET-G. U každého z týchto materiálov môžeme ako vodivý element nájsť uhlíkové častice.

Takto vytvorené dráhy sa následne používajú v kombinácii so senzormi. Poznáme veľa možností použitia, či už v rámci monitorovania vlhkosti, monitorovania teploty alebo v spojení so svetelnými senzormi. Vodivé dráhy sa pomaly stávajú bežnou súčasťou života. Firma Google a Loomia pracovali na vývoji inteligentných bünd, ktoré sú dnes už bežne dostupné.

Experimentálna časť sa bližšie pozrie na funkčnosť vyšitých vodivých dráh ako aj vytlačeného 3D modelu vodivým materiálom. Budú sa testovať vodivé dráhy v rámci prepojenia so svetelnými senzormi-LED diódami, ich životnosť a následné použitie v odevy.

2 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Experimentálna časť diplomovej práce je zameraná na otestovanie a tvorbu vodivých dráh na textílii pomocou technológie výšivky a 3D tlače. Jednotlivé nite budú vyšívané na 5 vzoriek rovnakej textílie. Následne sa prejde k meraniu elektrickej vodivosti pomocou Ohm metra, kde sa zistí, ktoré z nich sú vhodné pre ďalšie použitie. V rámci 3D tlače sa pripraví a vytlačí model z vodivého materiálu na tkaninu a pleteninu, na ktorom sa taktiež otestuje elektrická vodivosť. Obidve dráhy budú pripojené k doske s LED diódou, aby sme mohli zaznamenať či došlo k prechodu elektrického prúdu, čo nám bude indikovať zasvietenie LED diódy. Po vykonaných meraniach sa otestuje životnosť daných vzoriek v piatich pracích a žehliacich cykloch. Na základe výsledkov sa zistí, ktorý typ je vhodnejší pre použitie, prípadne aké sú možnosti tvorby vodivých dráh pomocou týchto dvoch variant.

Elektrický odpor

Elektrický odpor je fyzikálna veličina, určujúca schopnosť vodivých materiálov viesť elektrickú energiu. Výsledná hodnota závisí na teplote, tvare a druhu daného materiálu. Elektrický odpor má vždy kladnú hodnotu a jeho výsledná hodnota definuje či je materiál schopný viesť elektrickú energiu. Pre používanie je potrebné dosahovať nižšie hodnoty. Obrátenou vlastnosťou elektrického odporu je elektrická vodivosť. Elektrický odpor vypočítame ako [36]:

$$R = \frac{\rho l}{S} \quad [\Omega]$$

R- elektrický odpor [Ω]

ρ - merný elektrický odpor (rezistivita materiálu) [Ωm]

l - dĺžka vodiča [m]

S- obsah prierezu vlákna [m^2]

S elektrickým odporom úzko súvisí Ohmov zákon. Je to fyzikálny zákon, ktorý popisuje vzťah medzi elektrickým prúdom, elektrickým napätím a elektrickým odporom. Ak je odpor v obvode konštantný, prúd s napätím bude rásť [37].

$$R = \frac{U}{I} \quad [\text{Ohm}]$$

R- elektrický odpor [Ω]

U- napätie [V]

I- elektrický prúd [A]

2.1 Vyšívanie vodivých nití

K vyšívaniu bolo použitých 10 kusov vodivých nití od firmy Clevertex. Dráhy sú dlhé 50cm, vyšívané viazaným stehom. Dĺžka stehu je nastavená na 2,5mm. Týmto spôsobom sa tkanina preväzuje v krátkych úsekoch čo je vhodné pre pevné šitie. Následne nedochádza k jednoduchým poškodeniam a predlžuje sa životnosť výšivky. Daná dráha bola vytvorená v programe TajimaDG15 by Pulse.



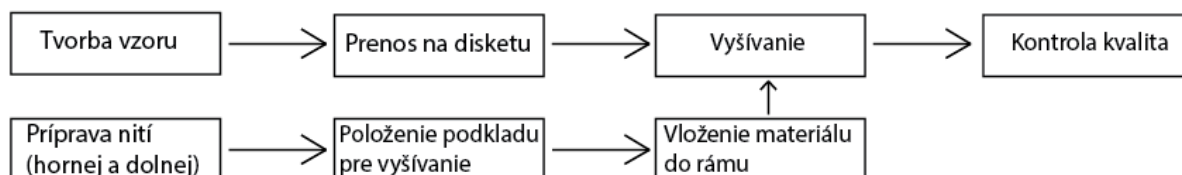
Obr. 23 Vyšívací stroj Tajima DG15 by Pulse

Spodná niť bola zvolená ako tá vodivá, nakoľko pri vrchnej niti dochádza k vysokému napätiu a tým k vysokému počtu pretrhov. Niť pri prechode uškom ihly vytvára trenie, ktoré spôsobuje vysoké teploty a narúša niť.

Zvolená vyšívacia textília je zložená zo 72% bavlny, 25% viskóza a 3% elastan. Pri vyšívaní bola použitá papierová výstuž, ktorá sa používa pri vyšívaní pre spevnenie textílie a lepšie uchytenie do vyšívacieho rámu stroja.

Vyšívanie prebiehalo viac-menej bez problémov, pretrhnutie nite nastalo iba raz, avšak po miernom znížení rýchlosti vyšívania už naďalej nedochádzalo k problémom. Dĺžka výšivky bola 50cm. Táto dĺžka bola zvolená na základe parametrových možností vyšívacieho rámu. Bol zvolený najväčší možný rám s priemerom niečo cez 50cm, avšak v rámci vyšívania je potrebné brať do úvahy okraje približne 3cm od okraja rámu, do ktorých nás stroj nepustí kvôli bezpečnosti. Mohlo by dôjsť k poškodeniu stroja pri strete ihly s rámom. Pred začatím vyšívania je potrebné uložiť model z počítača na disketu, ktorá sa vkladá do stroja. Na displeji vyšívacieho stroja zvolíme DATA a následne INPUT DATA, vďaka čomu nastavíme požadovaný návrh. Tlačítko SET slúži na potvrdzovanie krokov. Následne sa zvolila jedna z 15 ihli, ktoré vedú hornú niť. Horná niť je 100% polyesterová. Pred začatím výšivky si stroj polohuje začiatok vyšívania tlačítkom TRACE, ktorý sa dá ale ľahko presunúť na miesto podľa vlastného určenia. Po vyšítí dráhy si stroj sám odreže niť. Keďže sme potrebovali vyšíť 10 dráh na 5 textilných vzoriek, vždy po dovyšívaní dráhy sa vymenila spodná niť až kým sa nevyšilo všetkých 10 dráh. Toto sa opakovalo 5 krát. U nite 27A sa znížila rýchlosť na minimum, pretože pri nej došlo k pretrhu počas vyšívania.

Proces tvorby výšivky prebieha v niekoľkých krokoch:



Obr. 24 Proces vytvárania výšivky

2.1.1 Meranie odporu vodivých nití

Pri práci s vodivými niťami je hlavným parametrom ich elektrická vodivosť. S vodivosťou súvisí elektrický odpor, ktorý bude meraný na Ohm metri po vyšití dráh na textíliu.

Použité sú nite s prímiesou mosadze, nerezovej ocele, postriebrenej mede, aramidu a iných zmesí. Údaje pre Tab.3 poskytla firma Clevertex. Ako aj zloženie jednotlivých nití :

1. Niť 47 obsahuje 2 vlákna Nomex a 4 vlákna mosadzné s priemerom 0,03mm.
2. Niť 56 obsahuje 2 vlákna Arselon a 1 vlákno z nerezovej ocele o priemere 0,02mm.
3. Niť 49 obsahuje 2 vlákna Arselon a 4 vlákna z mosadze o priemere 0,03mm.
4. Niť 25A obsahuje 4 polyesterové vlákna a 8 vlákien vlákien z mosadze o priemere 0,03mm.
5. Niť 27A obsahuje 2 polyesterové vlákna spolu so 4 vláknami z mosadze.
6. Niť 7A obsahuje 11 polyesterových vlákien spolu s jedným vláknom z nerezovej ocele s priemerom 0,02mm.
7. Niť 54 obsahuje 3 polyesterové vlákna a 3 vlákna zmesi mede a striebra s priemerom 0,03mm.
8. Niť 85 obsahuje 2 polyesterové vlákna a 8 vlákien zmesi mede a striebra s priemerom 0,03mm.
9. Niť 52 obsahuje 6 polyesterových vlákien a 3 vlákna z nerezovej ocele s priemerom 0,02mm.
10. Niť 87 obsahuje 6 polyesterových vlákien a 4 bronzové vlákna.

Tab. 3 Charakteristiky vodivých nití

Číslo nite	Zloženie	Jemnosť/tex	Optický priemer [mm]
47	M-aramid/mosadz	170	0,44
56	Arselon/nerezová oceľ	71	0,33
49	Arselon/mosadz	93	0,37
25A	PES multifil/mosadz	72	0,22
27A	PES multifil/mosadz	37	0,16
7A	PES multifil/ nerezová oceľ	38	0,23
54	PES multifil/Cu/Ag	38	0,16
85	PES multifil/Cu/Ag	64,8	0,16

52	PES multifil/nerezová oceľ	44	0,24
87	PES/bronz	42	0,18

Vyšité dráhy boli merané na prístroji Parkside PDM 300 C2. V tab.4 môžeme nájsť parametre prístroja ako rozsah, rozlíšenie a presnosť. K prístroju sa pripojili káble, ktoré majú na jednom konci vstup do Ohm metra a na druhom malé úchytky, do ktorých sa zachytili konce nití ktoré ostali po odstrihu nite na vyšívacom stroji.

Tab. 4 Parametre prístroja Parkside PDM 300 C2

Rozsah	Rozlíšenie	Presnosť
200 Ω	0,1 Ω	$\pm(1,0\% + 5)$
2k Ω	0,001k Ω	
20k Ω	0,01k Ω	
200k Ω	0,1k Ω	
2M Ω	0,001m Ω	$\pm(1,2\% + 5)$
20m Ω	0,01M Ω	



Obr. 25 Prístroj Parkside PDM 300 C2 a jeho pripojenie k vodivým dráham

2.1.2 Pripojenie vodivých dráh k senzorum

Ako ďalšie meranie sme zapojili vyšité vodivé dráhy k svetelným senzorum. Predtým však muselo dôjsť k menšej úprave nití. Keďže kontaktná plocha vodivých dráh je malá a mohlo by dochádzať k nulovému alebo iba malému kontaktu patentky s dráhou, na konce vyšitých vodivých dráh sme prilepili medený pásik cez ktorý sme následne prerazili patentku.

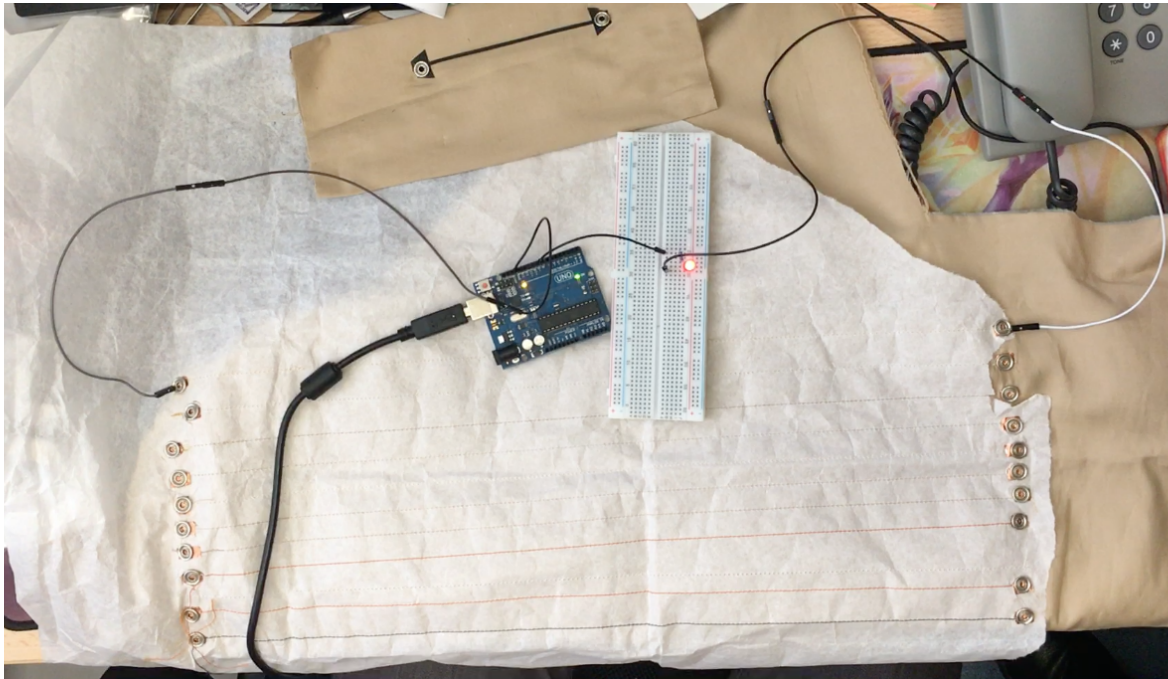


Obr. 26 Umiestnenie medeného pásika pre zlepšenie prenosu informácie

Pomocou tohto spojenia došlo k lepšiemu pripojeniu káblikov, ktoré následne vedú k napájacej doske. Je možné tento typ pripojenia využiť aj pre jednoduchšiu manipuláciu pri praní daného produktu. Avšak pri testovaní tohto pripojenia dochádzalo aj tak k prerušeniu kontaktu, čo sme neskôr zistili, že spôsoboval lom káblíka. Pri častom ohybe sa káblík v mieste spojenia s patentkou poškodil a teda nenastal prechod informácie celým obvodom. Pre ďalšie používanie by sa malo zobrať do úvahy spevnenie tohto slabého miesta alebo voľba iného typu pripojenia, poprípade obmedzenie častého pripájania a odpájania patentky s káblíkmi.

Následne pre overenie funkčnosti systému sme napájaciu dosku a systémovú dosku Arduino UNO pripojili ku koncovým bodom vyšitých nití a zistili sme, že obvod funguje. Pre ďalší vývoj by sme zvolili iný typ pripojenia, aby nedochádzalo k poškodeniu káblikov a teda aby sa predĺžila životnosť vyšitých vodivých dráh.

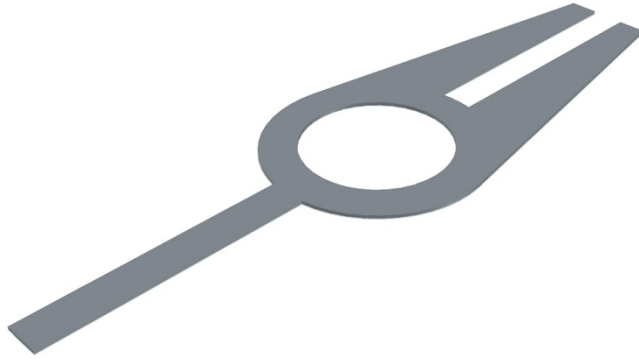
Meraním sme zistili, že všetkých 10 vyšitých vodivých dráh bude fungovať pre pripojenie k ďalším typom senzorov. Ich odpor je dostatočne malý na to aby nedochádzalo k prerušeniu prechodu informácie. Pre zväčšenie veľkosti prúdu by sa mohlo do úvahy zobrať zväčšenie dráhy do šírky. Čím širšia by bola dráha, tým väčší prúd je schopný prejsť dráhou.



Obr. 27 Pripojenie pomocou napájacích káblikov pre otestovanie funkčnosti obvodu

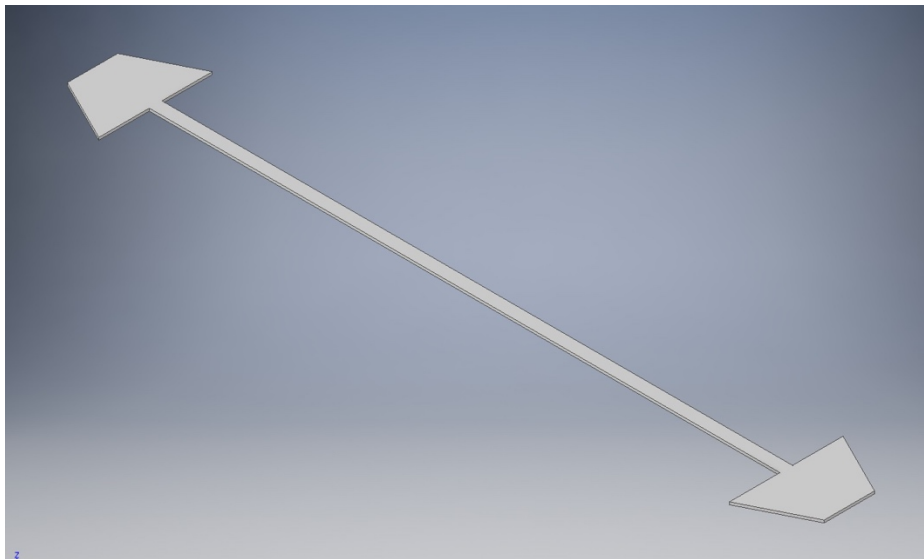
2.2 Tvorba vodivej dráhy pomocou 3D tlačiarne

Ďalšou z možností je tvorba vodivého 3D modelu, ktorý by bol schopný viesť informáciu a mohol by byť použitý v odeve ako vodivá dráha. Na vytvorenie 3D modelu sme použili program Auto Inventor 2019, v ktorom je možná relatívne ľahká tvorba modelov pre 3D tlačiareň. Pôvodne bol vybraný iný model, vid'. obr.27, ktorý sme vyskúšali aj vytlačiť, avšak jeho dizajn nebol vyhovujúci a bola tam šanca, že vznikne malá kontaktná plocha s patentkou. Patentka je potrebná na prepojenie medzi vytlačeným 3D modelom na textílií a pripojením k senzoru.

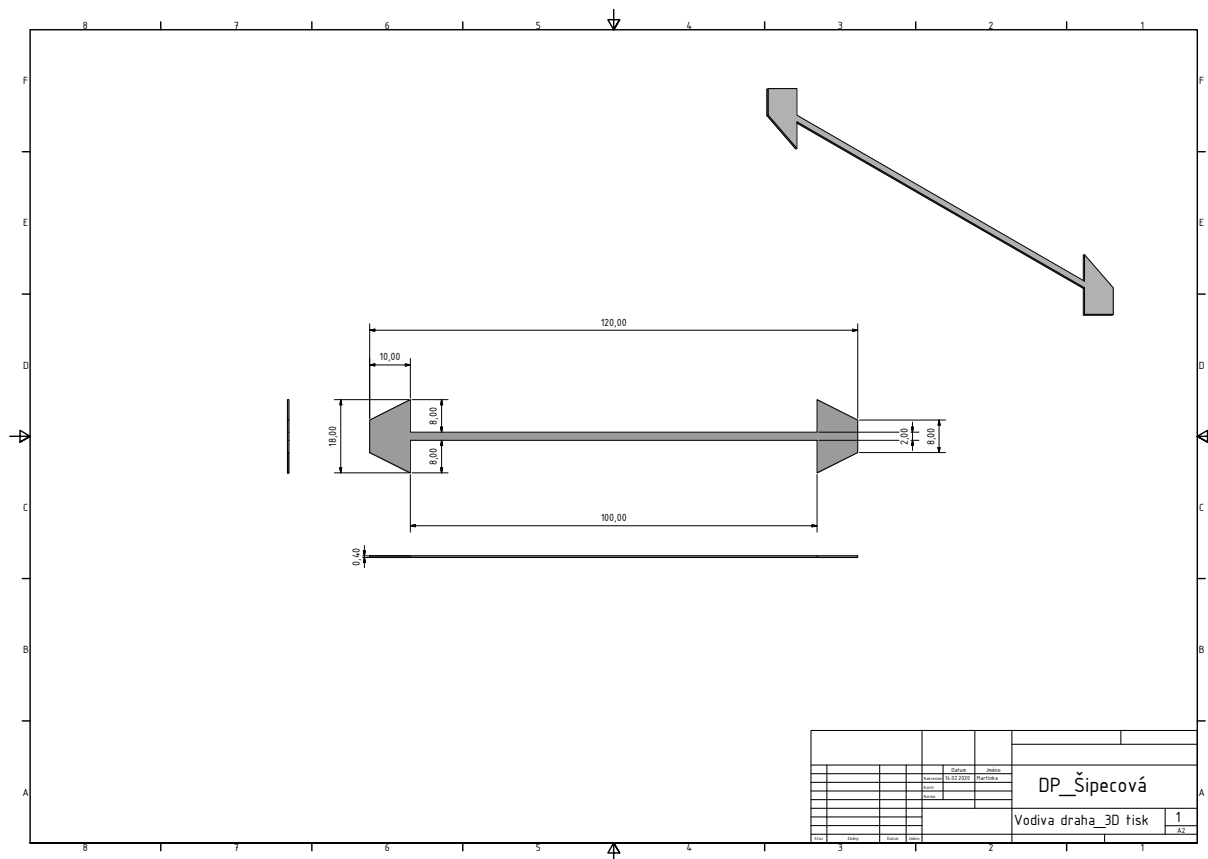


Obr. 28 Pôvodný model

Keďže patentka sa potrebuje čo najviac dotýkať v plochou 3D modelu, ďalšou variantov bolo vytvorenie modelu, kde dotyková plocha bude celá zaplnená bez prázdneho miesta. Tým pádom dochádza ku kontaktu v každom mieste prechodu patentky modelom. Výsledný model je možné vidieť na obr.29 a jeho technické parametre na obr.30.



Obr. 29 Výsledný model



Obr. 30 Technický náčrt finálneho 3D modelu

Nastavenie tlačiarne pred tlačou

Pred samotnou tlačou je potrebné nastaviť 3D tlačiareň na požadované parametre. Celá tlačiareň sa nachádza v ochrannej skrini, ktorá zabezpečuje kvalitu tlače v rámci vhodnej izolácie. Taktiež aj ochladzuje materiál, resp. je možné regulovať teplotu vo vnútri skrine. Pred začatím tlače je potrebné skalibrovať osu z v piatich bodoch, ktoré sú zobrazené na displeji tlačiarne. Podkladová doska obsahuje zo spodnej časti 4 kalibračné kolieska, ktoré sa nastavujú manuálne po každej manipulácii s podkladovou doskou tlačiarne. Pomocou tejto kalibrácie nastavíme výšku trysky vo vzdialenosti od materiálu. Pomáhame si pomocou papiera a vhodný odhad závisí na praxi z tejto činnosti. Tryska nesmie byť veľmi nízko podkladovej dosky, pretože by mohlo dôjsť k poškodeniu. Hlavne v našom prípade, kedy používame aj štrukturované pleteniny, je vhodnejšie trysku nastaviť vyššie aby mala možnosť pohybu. Pri každej zmene materiálu, na ktorý je model tlačený treba previesť rovnaké kroky a skalibrovať podkladovú dosku na daný materiál. Po kalibrácii, vložíme SD kartu, na ktorej máme vytvorený model, do tlačiarne. Podkladová doska sa

postupne začne nahrievať na 90°C a tryska na 245°C. Tieto teploty treba brať do úvahy pri výbere textilného materiálu, nakoľko môže dôjsť k poškodeniu tohoto materiálu. Výsledný model na obr.29 sa tlačil 3 minúty, má hmotnosť necelý 1 gram a výrobná cena je 0,14 centov.

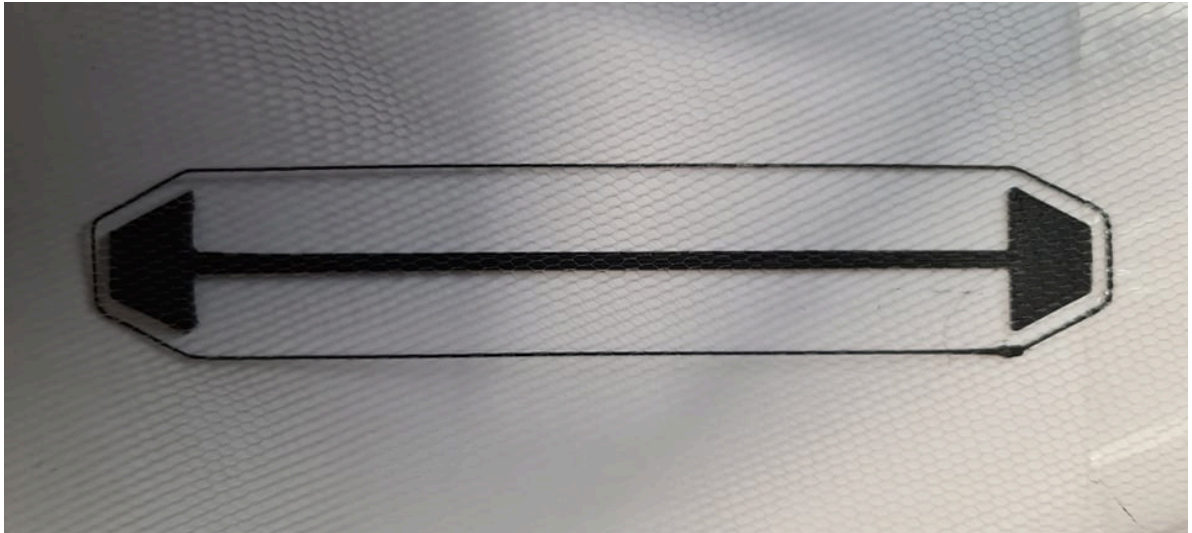
Po niekoľkých testoch a skúšobných modeloch sme prišli k výslednému modelu. Model bol vytlačený priamo z 3D tlačiarne na tkaninu ako aj na pleteninu pre lepšie porovnanie textilných štruktúr. Pri tkanine, vid' obr.31 išlo o lepšie uchytenie materiálu k podkladovej doske 3D tlačiarne a nedochádzalo k pohybu osnovy a útku tak ako pri pletenine. Avšak u tkaniny nedošlo k dostatočnému zachyteniu 3D vodivého materiálu k textílii. Pre ďalšie použitie by sa mohlo zvoliť špeciálne 3D lepidlo pre lepšie uchytenie, poprípade laminácia celého modelu.

Pri prvotných pokusoch dochádzalo k slabému alebo žiadnemu prechodu patentky modelom, preto bolo potrebné skúšať a nájsť správnu hrúbku modelu. Výsledná a vyhovujúca hrúbka je 0.5 mm.

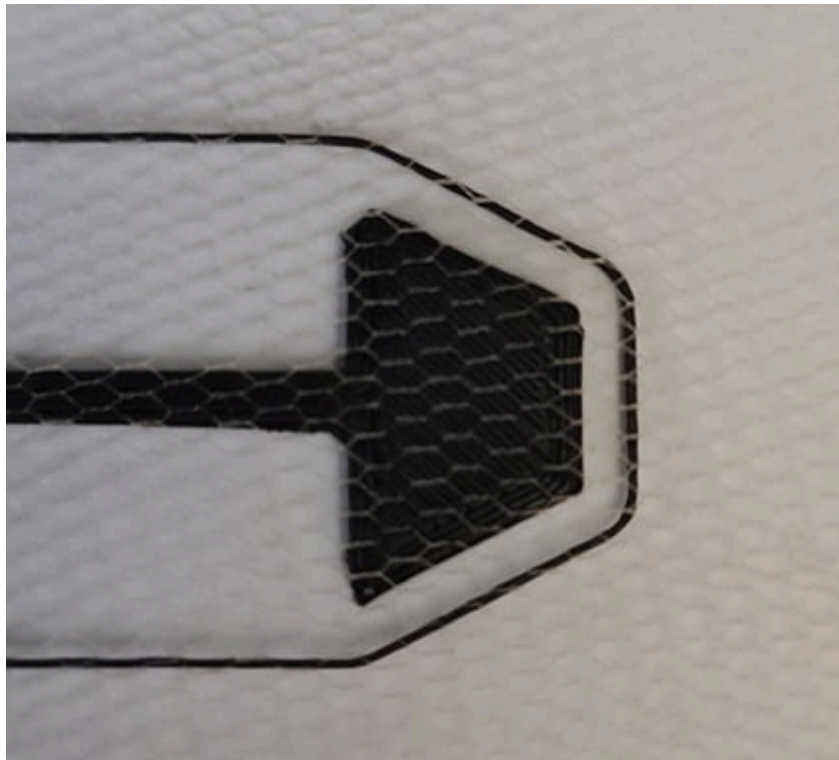


Obr. 31 Model 3D vodivého materiálu vytlačený na tkanine

Pri pletenine (vid' obr.32) však už môžeme pozorovať lepšie výsledky prepojenia vodivého materiálu s textíliou. Ako druh pleteniny bol zvolený tyl, ktorý má vysokú porozitu a dostatočné jemné vlákna, čo sa odrazilo v miernom spojení s 3D vodivým materiálom a jednotlivých štruktúr pleteniny (vid' obr.33). Tento materiál by sa dal v ďalšom prototypovaní použiť ako medzný materiál, nakoľko je relatívne priesvitný a možný na začlenenie do odevu, kde by viditeľne neovplyvnil vlastnosti odevu, ale jeho funkcia by našla vhodné uplatnenie.



Obr. 32 Model 3D vodivého materiálu vytlačený na pletenine



Obr. 33 Prepojenie textilných pletených štruktúr spolu s 3D vodivých materiálom

2.2.1 Meranie odporu 3D modelu a pripojenie k senzorum

Po vytlačení 3D modelu na textíliu sme ho pre otestovanie funkčnosti pripojili k napájacej doske spolu s LED diódou. LED diódy umiestnené na napájacej doske boli pripojené k vývojovej platforme Arduino Uno, ktorú môžeme vidieť na obr.34. Ide

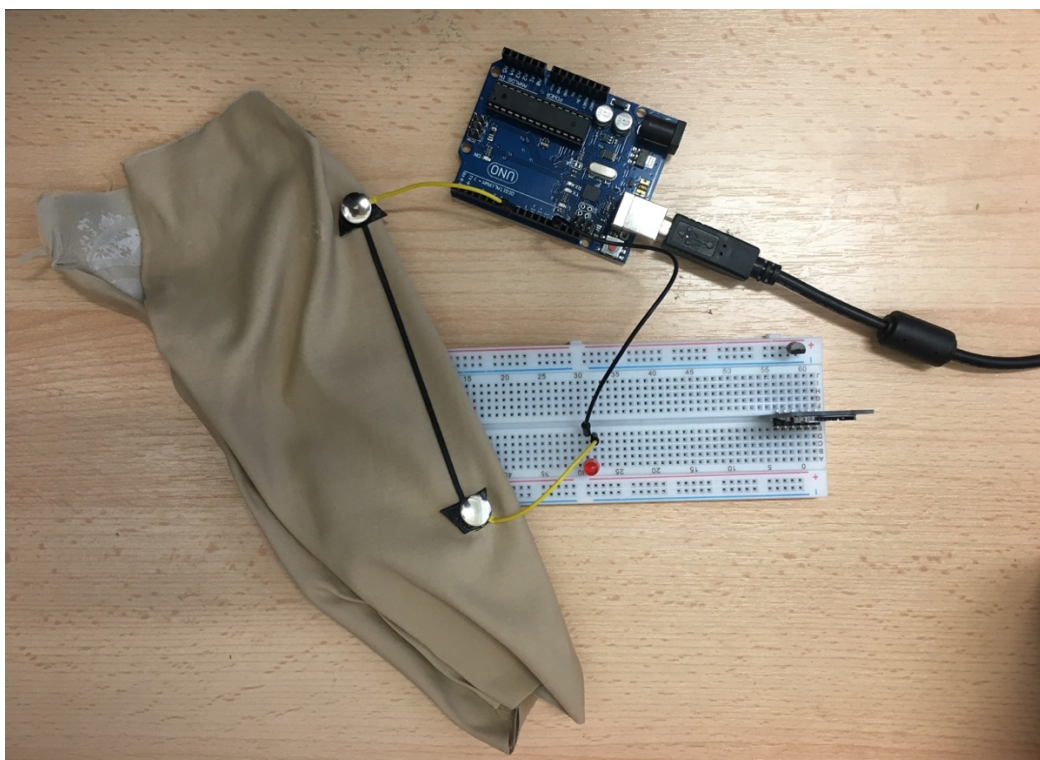
o ľahko ovládateľnú vývojovú dosku, ktorá obsahuje mikrokontrolér, 14 digitálnych vstupov/ výstupov a 6 analógových vstupov. Taktiež konektor k pripojeniu externého nabíjania a resetovacie tlačítko. Na doske sa nachádza LED dióda, ktorú je možné ovládať podľa potreby. Arduino Uno je vybavené USB-B konektorom pre ľahké pripojenie k počítaču. Veľkosť platformy je 6,85x5,33 cm [38]. Taktiež sme mali zdroj napájania, čo v našom prípade bola power banka, pre lepšie manipulovanie s modelom, poprípade je možné to použiť v prípade, že model potrebujeme prezentovať a teda preniesť na iné miesto. Po tomto pripojení sme zistili, že daná LED dióda neblinká a preto sme postúpili ku zmeraniu elektrického odporu. Konce patentiek sme napojili na Ohm meter a zistili sme, že daným obvodom preteká napätie väčšie ako $\bar{x}=4,86\text{M}\Omega$. Pre zistenie funkčnosti obvodu sme vykonali dva testy.

V prvom teste sme zapojili platformu Arduino Uno k napájacej doske s LED diódou a s odporom 1000 Ohm. Blikanie na Arduino platforme blikalo v rovnakej frekvencii ako LED dióda na doske. Dochádzalo k prenosu informácie bez chýb.

V druhom teste sme zapojili náš model ku platforme Arduino Uno spolu s napájacou doskou s LED diódou. Bolo možné pozorovať že svetelný snímač na platforme bliká v pravidelnej frekvencii, na rozdiel od LED diódy na napájacej doske, kde nedochádzalo ku žiadnemu svetelnému signálu ako môžeme vidieť na obr.35. Z toho vyplýva, že daný vodivý 3D model nie je schopný viesť elektrickú energiu, nakoľko má vysoký elektrický odpor. Výsledný model je nepoužiteľný pre prax. Táto nefunkčnosť mohla nastať kvôli zmesi uhlíkov v 3D vodivom materiály, ktorých množstvo je nevyhovujúce alebo pre nejaké iné podmienky ovplyvňujúce prechod informácie. Počas ďalších testov sme skúšali odmerať aj veľkosť menšie 3D modely z tohto materiálu, ale odpor bol stále veľmi vysoký.



Obr. 34 Vývojová doska Arduino Uno [38]



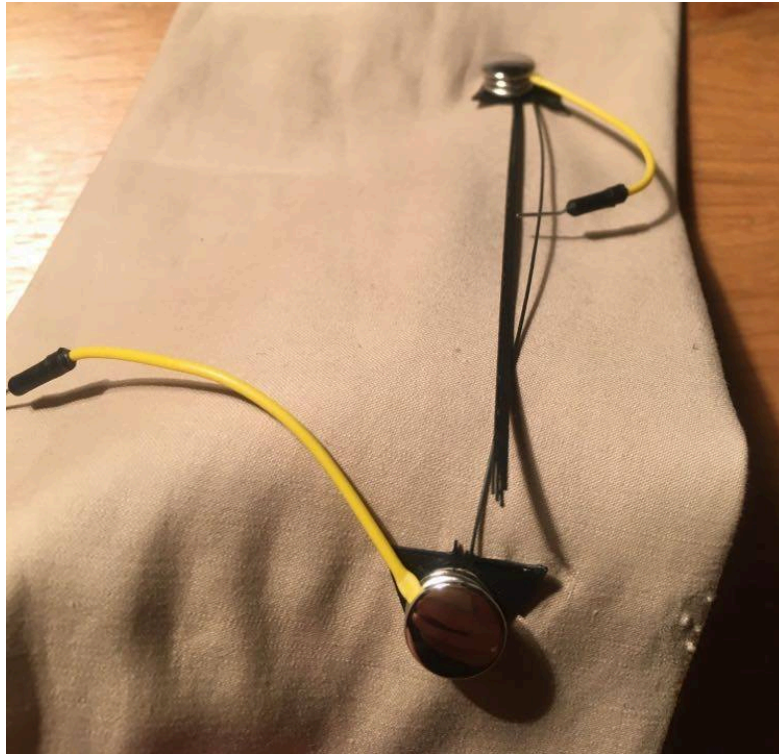
Obr. 35 Pripojenie vytlačeneho 3D modelu na textiliiu k vývojovej platforme Arduino Uno a doske s LED diódou

Počas testovania taktiež dochádzalo k prerušeniu informácie a bolo zistené poškodenie káblíka vedúceho do napájacej dosky. K poškodeniu muselo dôjsť kvôli mnohonásobnému používaniu. Z tohto usudzujeme, že pre ďalšie použitie by bolo vhodné vymyslieť iný spôsob pripojenia, poprípade použiť kvalitnejší káblík. Na obr.36 je zobrazené miesto kde došlo k prerušeniu.



Obr. 36 Poškodené miesto káblíka, ktoré spôsobovalo prerušenie prenosu informácie v obvode

Po opätovnom používaní a manipulácií s modelom dochádzalo aj k prerušeniu jednotlivých vrstiev tlačie ako môžeme vidieť na obr.37. Pre ďalšie použitie by sa malo uvažovať nad vhodnou hrúbkou modelu. Avšak pri zväčšení výšky modelu nemusí dôjsť k prerazeniu patentkou ako bolo spomínané vyššie.



Obr. 37 Poškodený 3D materiál

V rámci testovania či druh textílie môže ovplyvniť elektrický odpor sme testovali na dvoch modeloch - tkanine a pletenine. Výsledný odpor vykazuje podobne vysoké výsledky. Usudzujeme, že typ textílie nemá vplyv na funkčnosť obvodu. Do úvahy by mohla prísť zmena tlačeneho materiálu.

2.3 Údržba a životnosť vyšitých vodivých dráh

Pre otestovanie životnosti vzorky s vyšitými dráhmi sme vykonali skúšku práním a žehlením. Bubnová práčka bola nastavená na 40°C, 800 ot/min a celková doba prania bola 80min. Následne po vybratí z práčky a prirodzenom vyschnutí vzorky došlo k žehleniu. Týmto spôsobom sme pokryli všetky kroky, ktoré sa bežne vykonávajú pri

údržbe odevu. Žehlilo sa naparovacou žehličkou s nastavením na bavlnu. Uskutočnilo sa 5 cyklov prania a 5 cyklov žehlenia. Po každom cykle bol 5 krát zmeraný elektrický odpor každej jednej dráhy a následne vypočítaný priemer, smerodajná odchýlka, variačný koeficient, modus a medián ako môžeme vidieť v priložených tab.5 až tab.10.

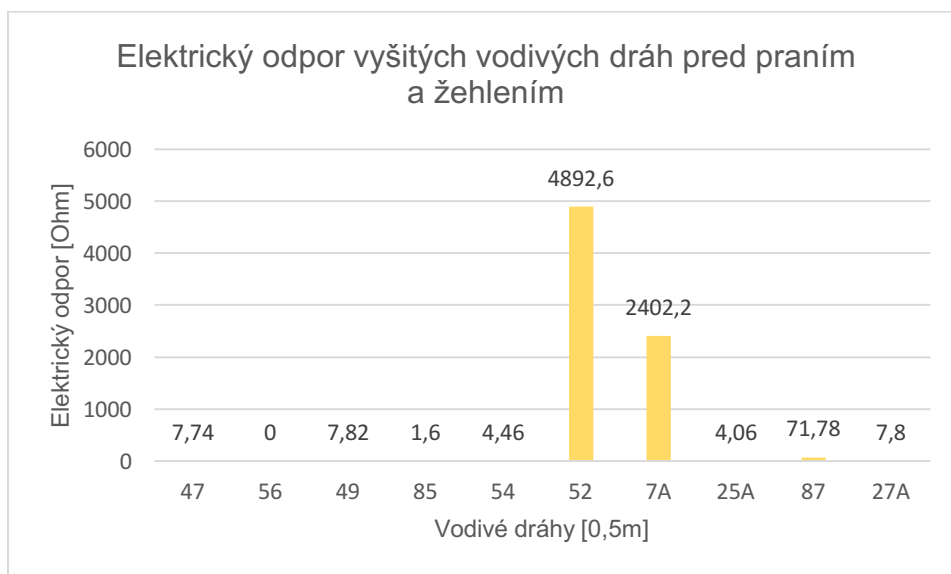
Nepraná a nežehlená vzorka

Na všetkých 10tich dráhach bol zmeraný odpor bez prania a žehlenia, aby sme vedeli porovnať ako sa zmenia výsledky po údržbe. Nič č.56 hneď od začiatku nevykazovala žiadny prechod elektrickej energie vyšitou dráhou. Predpokladáme, že pri vyšívaní došlo k poškodeniu nite, poprípade určitý úsek nite bol chybný. Túto niť sme sa rozhodli vyradiť z výberu, keďže ani v ďalších meraniach nevykazovala známky vedenia.

Tab. 5 Elektrický odpor vyšitých vodivých dráh pred práním a žehlením

Vzorka č.0	Elektrický odpor $\Omega/0,5m$					
	nepraná	priemer	smerodajná odchýlka	variačný koeficient	modus	medián
47		7,74	0,089442719	0,008	0	7,7
56		0	0	0	0	0
49		7,82	0,645755372	0,417	0	8,1
85		1,6	0	0	1,6	1,6
54		4,46	0,134164079	0,018	4,4	4,4
52		4892,6	3676,830673	13519083,8	0	6240
7A		2402,2	1787,817161	3196290,2	0	1612
25A		4,06	0,207364414	0,043	0	4
87		71,78	3,556964998	12,652	0	71
27A		7,8	0,380788655	0,145	0	7,7

Graf 1 Elektrický odpor vyšitých vodivých dráh pred praním a žehlením



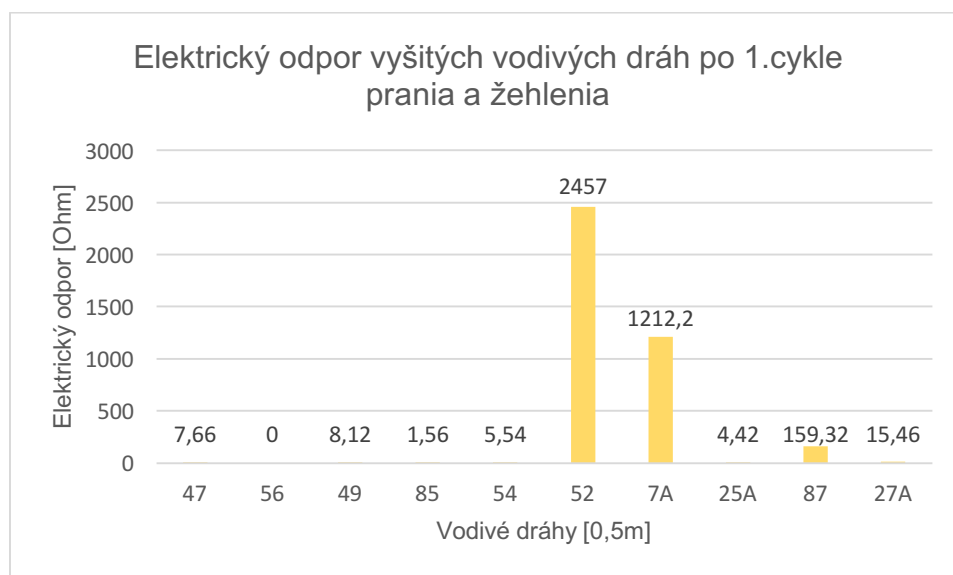
1.cykľus prania

Vzorka po prvom vypratí javila mierne zmeny. U nití 49,54,25A,87,27A došlo k zvýšeniu elektrického odporu. Avšak nárast bol minimálny. Najstabilnejšie sa javí niť 85 a 47, u ktorých došlo k najmenšiemu nárastu. U ostatných nití došlo k poklesu hodnoty elektrického odporu.

Tab. 6 Elektrický odpor vyšitých vodivých dráh po 1.cykľe prania a žehlenia

Vzorka č.1	Elektrický odpor $\Omega/0,5m$				
	priemer	smerodajná odchýlka	variačný koeficient	modus	medián
47	7,66	0,089442719	0,008	7,6	7,6
56	0	0	0	0	0
49	8,12	0,334664011	0,112	0	8
85	1,56	0,054772256	0,003	1,6	1,6
54	5,54	0,089442719	0,008	5,5	5,5
52	2457	2752,428473	7575862,5	0	1223
7A	1212,2	107,6438572	11587,2	0	1164
25A	4,42	0,31144823	0,097	0	4,5
87	159,32	3,78047616	14,292	0	158,9
27A	15,46	1,150217371	1,323	0	15,7

Graf 2 Elektrický odpor vyšitých vodivých dráh po 1.cykle prania a žehlenia



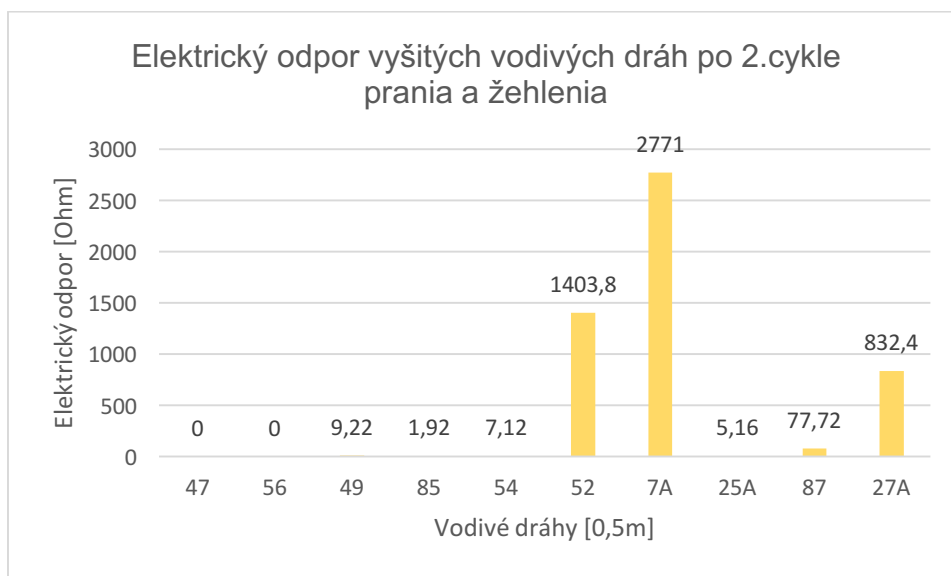
2.cyklus prania

Po druhom cykle prania už len 8 nití vykazovalo prechod elektrického odporu dráhou. Niť 47 nevykazuje žiadne hodnoty, predpokladáme, že počas prania alebo žehlenia došlo k poškodeniu nite. U ďalších nití môžeme pozorovať mierny nárast. Niť 87 vykazuje pokles hodnoty elektrického odporu. Toto mohlo byť spôsobené rôznymi faktormi vplývajúcimi na meranie ako je vlhkosť alebo teplota vzduchu. Pri niti 27A pozorujeme viditeľne veľký nárast elektrického odporu. Z toho vyplýva, že niť je nepoužiteľná pre ďalšie použitie.

Tab. 7 Elektrický odpor vyšitých vodivých dráh po 2.cykle prania a žehlenia

Vzorka č.2	Elektrický odpor $\Omega/0,5m$				
	priemer	smerodajná odchýlka	variačný koeficient	modus	medián
47	0	0	0	0	0
56	0	0	0	0	0
49	9,22	1,751285242	3,067	0	8,5
85	1,92	0,083666003	0,007	1,9	1,9
54	7,12	0,130384048	0,017	7,2	7,2
52	1403,8	214,0425191	45814,2	0	1490
7A	2771	1206,908033	1456627	0	3360
25A	5,16	0,260768096	0,068	0	5
87	77,72	3,153886491	9,947	0	77
27A	832,4	379,9865787	144389,8	0	811

Graf 3 Elektrický odpor vyšitých vodivých dráh po 2.cykle prania a žehlenia



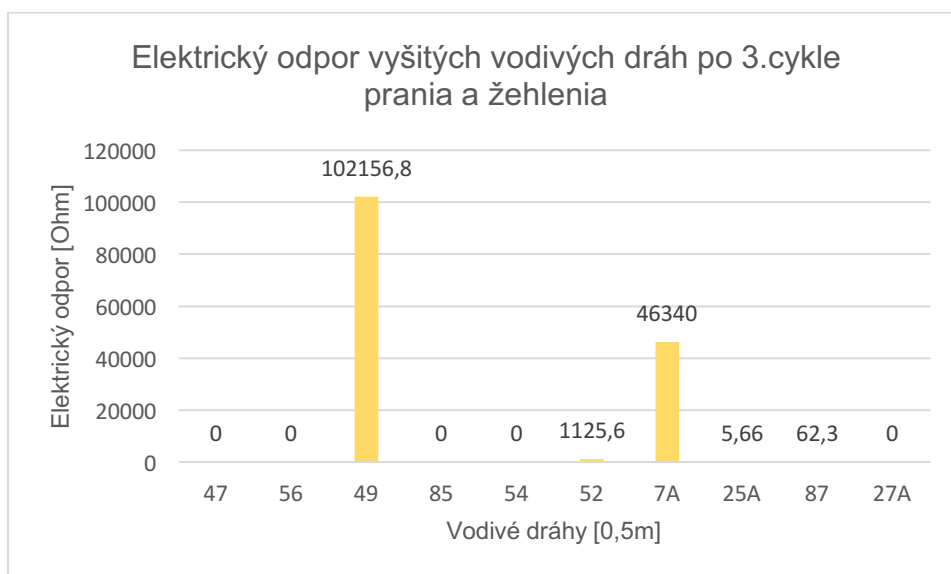
3.cyklus prania

Ako sme si mohli všimnúť v tab.2 niť 27A vykazovala vysoký nárast a po treťom praní došlo k jej poškodeniu. Ďalšou niťou, ktorá neobstála v 3.cykle prania a žehlenia je aj niť 85 a 54. Pri nitiach 49 a 7A môžeme pozorovať vysoký nárast hodnôt. Ako stabilná sa javí niť 25A s miernym nárastom. Niť 87 klesá s narastajúcimi cyklami prania a žehlenia, čo je vyhovujúce pre ďalšie použitie v odevu.

Tab. 8 Elektrický odpor vyšitých vodivých dráh po 3.cykle prania a žehlenia

Vzorka č.3	Elektrický odpor $\Omega/0,5m$				
3.cyklus prania a žehlenia	priemer	smerodajná odchýlka	variačný koeficient	modus	medián
47	0	0	0	0	0
56	0	0	0	0	0
49	102156,8	139019,5583	19326437587	0	2800
85	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0
52	1125,6	16,65232716	277,3	0	1128
7A	46340	12935,91899	167338000	0	40500
25A	5,66	0,384707681	0,148	0	5,8
87	62,3	13,47163687	181,485	0	71,5
27A	0	0	0	0	0

Graf 4 Elektrický odpor vyšitých vodivých dráh po 3.cykle prania a žehlenia



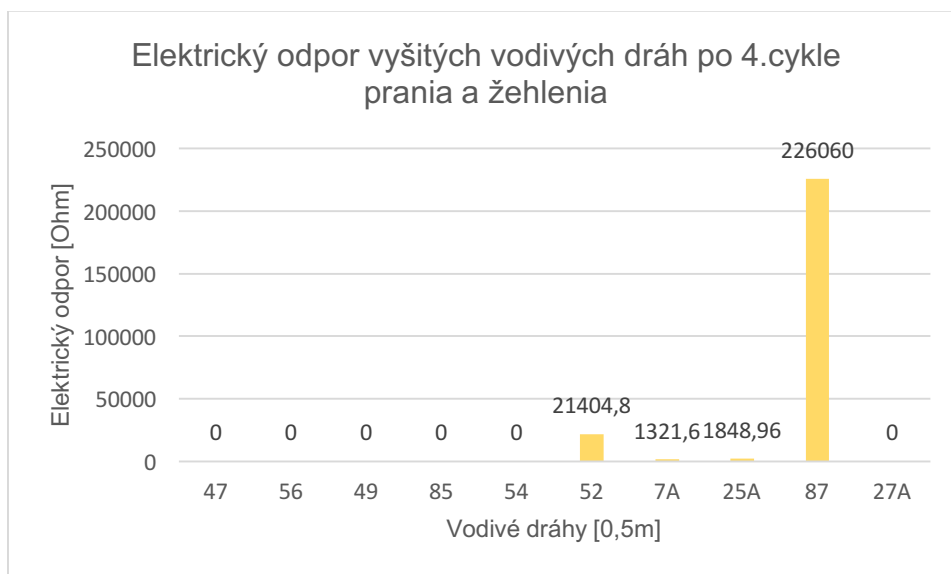
4.cyklus prania

Pri predposlednom cykle prania a žehlenia obstáli 4 nite. Ich hodnoty však boli tak vysoké, že by sa dali zaradiť medzi nepoužiteľné. Ich nárast bol veľmi vysoký pre použitie v textile.

Tab. 9 Elektrický odpor vyšitých vodivých dráh po 4.cykle prania a žehlenia

Vzorka č.4	Elektrický odpor $\Omega/0,5m$				
	priemer	smerodajná odchýlka	variačný koeficient	modus	medián
47	0	0	0	0	0
56	0	0	0	0	0
49	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0
52	21404,8	41859,02914	1752178321	0	692
7A	1321,6	94,5134911	8932,8	0	1287
25A	1848,96	1702,07362	2897054,608	0	2070
87	226060	262986,5453	69161923000	0	39300
27A	0	0	0	0	0

Graf 5 Elektrický odpor vyšitých vodivých dráh po 4.cykle prania a žehlenia



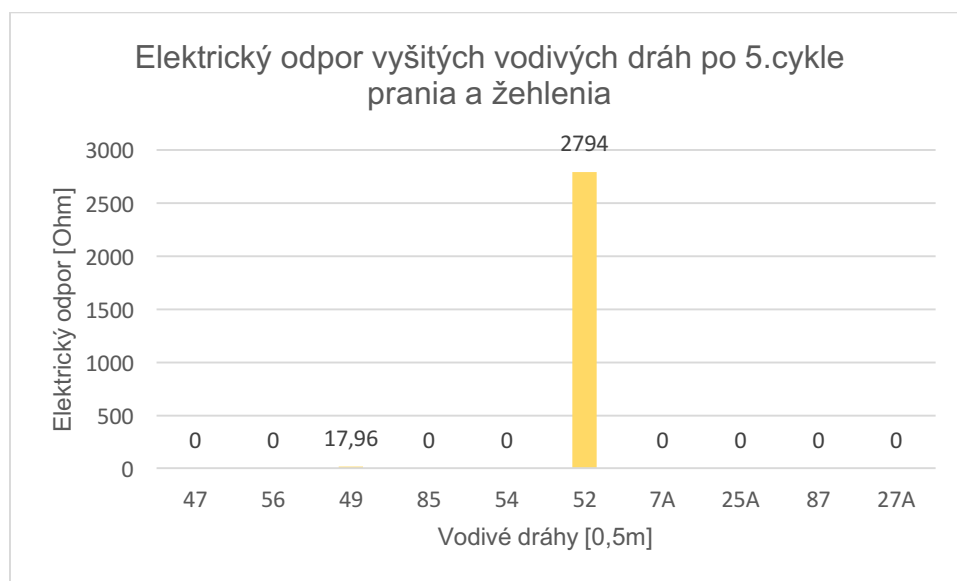
5.cyklus prania

Po poslednom cykle prania a žehlenia bolo možné namerať len 2 nite. Niť 49, ktorá v piatom cykle bola opäť merateľná vykazovala zdvojnásobené hodnoty oproti pôvodnej nepranej vzorke. Niť 52, ktorá ako jediná mala relatívne klesajúce hodnoty počas všetkých cyklov prania a žehlenia by bola vhodná na použitie v odevе. V rámci zisťovania životnosti daných dráh vyšla s výsledkami najlepšie.

Tab. 10 Elektrický odpor vyšitých vodivých dráh po 5.cykle prania a žehlenia

Vzorka č.5	Elektrický odpor $\Omega/0,5m$				
	priemer	smerodajná odchýlka	variačný koeficient	modus	medián
47	0	0	0	0	0
56	0	0	0	0	0
49	17,96	13,77381574	189,718	0	8,6
85	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0
52	2794	918,2211063	843130	0	2930
7A	0	0	0	0	0
25A	0	0	0	0	0
87	0	0	0	0	0
27A	0	0	0	0	0

Graf 6 Elektrický odpor vyšitých vodivých dráh po 5.cykle prania a žehlenia

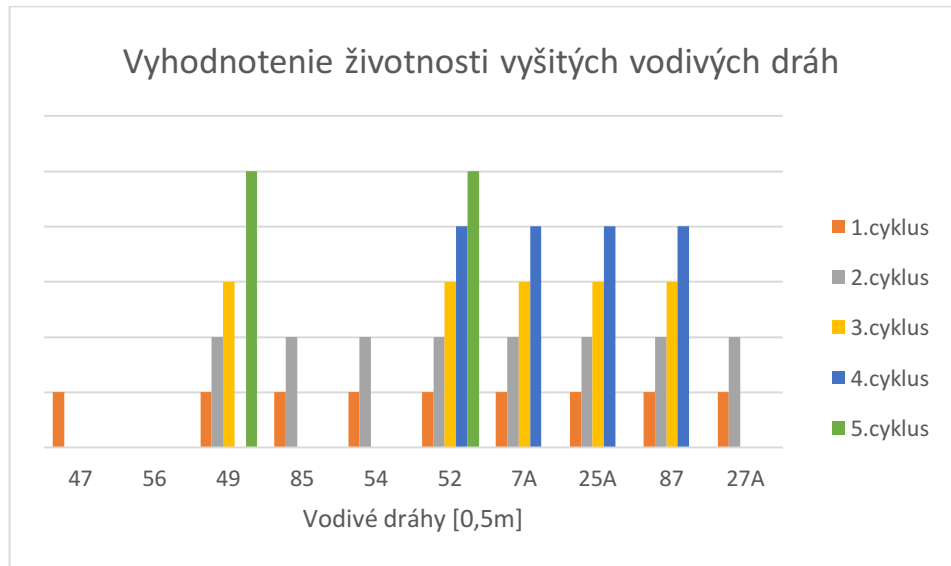


Zhodnotenie pracích a žehliacich cyklov

U všetkých piatich pracích a žehliacich cyklov boli zachované rovnaké podmienky. Tieto merania prebiehali bez problémov. Na grafe 7 môžeme vidieť spoločné vyhodnotenie všetkých vyšitých vodivých dráh počas piatich cyklov merania ich údržby v rámci prania a žehlenia v domácich podmienkach. V prvých troch cykloch

obstála úspešne viac ako polovica merných vodivých dráh. Po štvrtom cykle sa úspešnosť znížila na menej ako polovicu meraných vodivých dráh.

Graf 7 Celkové porovnanie životnosti vyšitých vodivých dráh počas pracíh a žehliacich cyklov

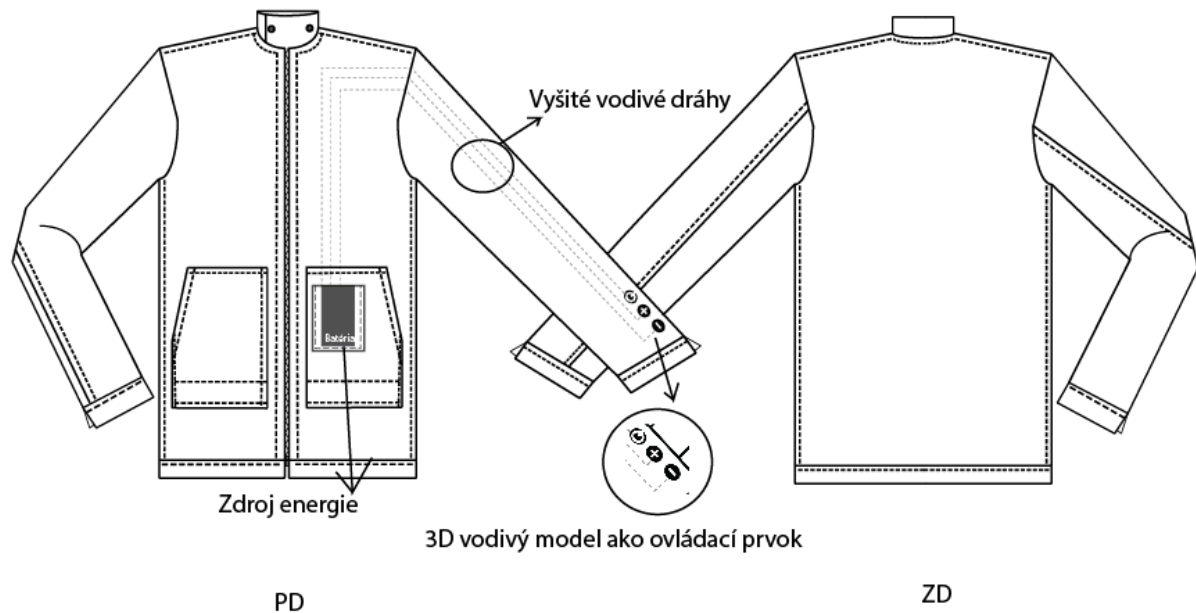


2.4 Návrh riešenia optimálnej technológie tvorby vodivých dráh

Meraním sme zistili, že u vyšitých nití dochádza k dobrému prenosu informácie na rozdiel od vytlačeného 3D modelu z vodivého materiálu, kde materiál preukazuje vysoký odpor a teda nie je možný prenos informácií.

Jedným z možných návrhov riešenia by bolo skombinovať tieto dve technológie. Pre tvorbu dráh by sa využila vyšívacia technika, ktorá je veľmi spoľahlivá a preukazuje aj relatívne dobrú životnosť. 3D tlač vodivého materiálu by sa zas mohla využiť pre vytvorenie dotkových senzorov kontroly chodu systému, napr. vypnutie/zapnutie inteligentnej bundy, prepínanie a pod., kedy nám vytlačené senzory poskytujú dostatočnú pevnosť a hmatateľnosť miesta dotyku. Avšak ich schopnosť prenosu informácie po dráhe nie je vyhovujúca, v čom by ich doplnili vyšité dráhy. Na obr.38 je zobrazený návrh možného použitia pri pánskej bunde. Na ľavom rukáve v dolnej časti by sa mohlo nachádzať ovládanie bundy, z ktorého by viedli vyšité vodivé dráhy do miesta zdroja energie. Daný spôsob použitia by mohol byť použitý napr. na regulovanie teploty bundy v tepelne meniacich sa podmienkach. Ak predpokladáme, že vo vnútri

by sa nachádzala vyhrievaná vložka. Celý návrh je len ilustračným obrázkom možného použitia.



Obr. 38 Návrh riešenia prepojenia vyšitých vodivých dráh spolu s 3D vodivým modelom na odev

ZRHNUTIE EXPERIMENTÁLNEJ ČASTI

V experimentálnej časti sme sa bližšie zamerali na funkčnosť a životnosť vyšitých a vytlačených vodivých dráh. V rámci výšivky bolo vytvorených 6 vzoriek vyšitých vodivých dráh na tkanine. Na každej jednej dráhe bol zmeraný elektrický odpor pre zistenie funkčnosti obvodu. U všetkých nití, až na niť č.56, bol preukázaný elektrický odpor a teda vyšitá vodivá dráha bola aplikovateľná pre ďalšie testovanie. Niť 56 sa od začiatku merania javila ako nefunkčná, čo mohlo byť spôsobené buď poškodením nite počas výšivky alebo mohla byť chyba na strane výrobcu. U ostatných nití sa prešlo k pripojeniu k obvodu. Ku dráham sa pripojila ovládací doska Arduino spolu s LED diódou. Všetky vodivé nite rozsvietili LED diódu a z toho vyplýva, že takto vytvorený elektrický obvod je plne funkčný. Toto meranie prebiehalo na nitiach, ktoré neboli prané ani žehlené. Pre zistenie životnosti vyšitých vodivých dráh sa prešlo

k pracím a žehliacim cyklom. Prvé dva prania a žehlenia sa z celkového pohľadu môžu javiť ako vyhovujúce. Nite 85 a 47 sa po 1.cykle ukázali ako najstabilnejšie. u ostatných nití je možné pozorovať mierny nárast elektrického odporu. Po 2.cykle prania vypadla z merania niť 47, ktorá sa na začiatku javila ako relatívne stabilná. Pri ostatných nitiach evidujeme nárast a aj pokles, čo mohlo byť spôsobené napr. kontaktom vody s dráhou alebo iným pochybením. Po 3.cykle prania a žehlenia sa najstabilnejšie javí niť 25A, u ktorej nárast je minimálny. Nite 49,7A a 52 preukazujú nevhodný nárast elektrického odporu, čo by v rámci odevu bolo nepoužiteľné. Zvyšné nite po tomto cykle klesli s hodnotou elektrického odporu. 4.cyklu prania predstavuje neprimerane vysoké hodnoty vodivých nití. V poslednom cykle prania a žehlenia bolo znova možné namerať niť 49, ktorej hodnota je dvojnásobok jej pôvodnej nepranej vzorky. Na základe tohto ju nie je možné použiť v ďalšej aplikácii. Vodivé dráhy, ktoré sú aplikované do odevu by mali mať stabilný elektrický odpor, takto narastajúci je nevyhovujúci. Z tohto merania najlepšie vyšla niť 52. U tejto nite bolo možné namerať hodnotu elektrického odporu po každom praní, z čoho vyplýva že je dostatočne pevná a funkčná. Jej elektrický odpor sa mierne zvýšil a aj keď mala klesavé a stúpajúce hodnoty počas všetkých cyklov, hodnotíme ju ako najvhodnejšiu z celkového výberu testovaných vyšitých vodivých dráh. Pranie a žehlenie prebiehalo bez problémov, u všetkých cyklov boli zabezpečené rovnaké podmienky.

U 3D tlače prebiehal podobný postup zistenia funkčnosti vodivej dráhy takto vytvorenej. Ako prvé bol navrhnutý vhodný model, cez ktorý bolo možné preraziť patentku aby mohlo dôjsť k pripojeniu k napájacej doske. Ako najvhodnejšia hrúbka modelu nám vyšla 0.5mm, avšak po častom používaní dochádzalo k rozkladu jednotlivých vrstiev tlače, až k úplnému zlomeniu. Celkovo tento typ tvorenia dráhy je nevyhovujúci aj z hľadiska vysokého elektrického odporu, ktorý dosahoval 4,86MΩ. Aj keď výrobca udáva menšie hodnoty v rámci elektrického odporu, model sme premerali niekoľko krát a na viacerých Ω metroch, avšak hodnoty boli stále veľmi vysoké.

Po porovnaní konečných hodnôt elektrického odporu u vyšitej vodivej dráhy s vodivou niťou č.52 a 3D vodivého modelu nám vyšlo, že hodnota modelu je 1740 krát horšia ako u vyšitej vodivej dráhy.

Záver

Každým dňom sa v rámci textilu hranice posúvajú ďalej a priemysel prichádza s čoraz inovatívnejšími textíliami. Smart odevy sa pomaly stávajú neoddeliteľnou súčasťou nášho života. Cieľom diplomovej práce bolo vytvoriť a otestovať vodivé dráhy vytvorené šitím, resp. výšivkou a druhou formou bolo využitie 3D tlačiarne s použitím vodivého materiálu.

Ako prvé bolo potrebné previesť dôkladnú rešerš tejto oblasti. Zamerali sme sa na históriu inteligentných odevov, kde sme ich vývoj rozdelili do 3. generácii spolu so začlenením do kategórií. Poznáme 3 kategórie, ktoré sa rozlišujú na základe toho ako reagujú na vonkajšie stimuly. Takéto smart textílie potom vieme využívať na monitorovanie teploty, vlhkosti alebo zvýšiť viditeľnosť odevu. Následne sme si definovali čo je to vodivá niť, aké musí spĺňať parametre a aké druhy poznáme. V rámci práce s vodivými niťami sme oslovili firmu Clevertex, ktorá nám poskytla 10ks vodivých nití z ich sortimentu na testovanie. V oblasti 3D tlače sme sa oboznámili s vodivými materiálmi dostupnými na trhu, ich rozdieloch a aktuálnom využití 3D tlače v textile. Experimentálne časť sa zamerala na samotné testovanie takto vytvorených dráh. Po vyšití dráh a ich otestovaní sme zistili, že vyšívanie je relatívne rýchly proces tvorby. Taktiež je aj estetický a funkčný. Aj keď po otestovaní údržby vyšitých vodivých nití niektoré z nich v teste neustáli, z celkového pohľadu sa javia ako vhodný spôsob tvorby vodivých dráh pre odev. Na rozdiel od 3D tlačenej vodivého modelu, ktorého hodnoty elektrického odporu sú tak vysoké, že by nebol vôbec schopný preniesť elektrickú energiu dráhou.

Z týchto meraní a experimentov sme zistili, že tvorba vodivých dráh pomocou výšivky je vhodnejšia ako pomocou 3D vytlačeného vodivého materiálu. V ďalšej aplikácii by sa mohli tieto dva spôsoby kombinovať, avšak neodporúčali by sme technológiu 3D tlače s vodivým materiálom na tvorbu vodivých dráh. V rámci kombinácie týchto dvoch typov tvorby vodivých dráh by mohlo ísť o vyšitie dráh pomocou vodivých nití a vytvorenie ovládacích prvkov pomocou 3D vodivého materiálu a ich následného prepojenia. Takto vytvorený model by mohol fungovať.

Literatúra

- [1] Hughes-Riley T., Dias T., Cork C.: *A Historical review of the development of electronic textiles*. 2018. [online]. [citované 11.4.2019]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/325490694_A_Historical_Review_of_the_Development_of_Electronic_Textiles>
- [2] Koncar V.: *Smart Textiles and their applications*. Woodhead Publishing. 2016. ISBN 978-0-08-100583-5. [online]. [citované 15.8.2019]
- [3] Singh M.K.: *The state of art smart textile*. 2004. [online]. [citované 5.5.2020]. Dostupné z: <<http://www.ptj.com.pk/Web%202004/08-2004/Smart%20Textiles.html>>
- [4] Vogt M.: *Passive vs. Active smart textiles*. 2019. [online]. [citované 5.5:2020]. Dostupné z: <<https://www.loomia.com/blog/passive-vs-active-smart-textiles> >
- [5] Bajčičáková M., *Tvorba elektricky vodivých štruktúr pomocou technológie šitia a vyšívania*. 2007. [online]. [citované 15.8.2019]: <https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/3494/mgr_13391.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [6] Linz T., a spol.: *Embroidering electrical interconnects with conductive yarn for the integration of flexible electronic modules into fabric*. 2005. Published by IEEE. ISBN 0-7695-2419-2
- [7] Kirstein T.,: *Multidisciplinary know-how for smart textiles developers*. 2013. Woodhead Publishing. ISBN 9780857093530 [citované 15.8.2019]
- [8] Tilak, D.: *Electronic textiles: Smart fabrics and wearable technology*. 2015. Woodhead publishing. ISBN 978-0-08-100223-0
- [9] Clevertex: O nás. [online]. [citované 4.5.2020]. Dostupné z: <https://www.clevertex.cz/cs/o_nas>
- [10] Clevertex: *Elektricky vodivé hybridní nitě*. [online]. [citované 4.5.2020]. Dostupné z: <<https://www.clevertex.cz/vodive-nite/elektricky-vodive-hybridni-nite-detail-761>>
- [11] Furdová A. a spol.: *Úvod do 3D tlače*. 2018. [online] .[citované 15.8.2019]: <file:///Users/Bianka/Downloads/197-3d-printing-pdf_5afede9fc09aa.pdf >
- [12] Creality 3D official.[online]. [citované 4.5.2020]. Dostupné z: <<https://www.creality3dofficial.com/products/creality-cp-01-3d-printer>>

- [13] Elegant 3D- *ABS Conductive filament*. [online].[citované 12.4.2019]. Dostupné z: <<https://www.elegant3d.cz/ABS-Conductive-filament-cerna-1-75-mm-1-kg-d76.htm>>
- [14] Elegant 3D- *PLA Cnductive filament*. [online].[citované 12.4.2019]. Dostupné z: <<https://www.elegant3d.cz/PLA-Conductive-filament-Proto-Pasta-cerna-1-75-mm-0-5-kg-d221.htm>>
- [15] Elegant 3D- *PET-G Conductive filament*. [online].[citované 12.4.2019]. Dostupné z: <<https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pet-g/>>
- [16] Material pro 3D. [online].[citované 12.5.2019]. Dostupné z: <<https://www.materialpro3d.cz/blog/rozdily-abs-pla-petg/>>
- [17] Kyosev J., Mahltig B., Pfeiffer-Schwarz A.: *Narrow and Smart textiles*. 2018. Springer publishing. ISBN: 978-319-69050-6.
- [18] If world design guide. [online].[citované 14.5.2020]. Dostupné z: <<https://ifworlddesignguide.com/entry/186608-netzwerk>>
- [19] Goncalves C.A., Ferreira da Silva A., Gomes J., Simoes R.: *Wearable E-Textiles Technologies: A review on sensors, actuators and control elements*. 2018. [online]. [citované 12.4.2020]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/298b/3615a8a3f08b921cf5f8faf1b8410523afeff.pdf?_ga=2.60875562.786483580.1589726339-912502045.1588275969>
- [20] Mecnika V., Hoerr M., Krievins I., Jockenhoevel S., Gries T.: *Technical Embroidery for Smart Textiles:Review*. 2015. [online] .[citované 15.8.2019]: Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/277631766_Technical_Embroidery_for_Smart_Textiles_Review>
- [21] Stern B: *Conductive thread*. 2018. [online] .[citované 15.8.2019]: Dostupné z: <<https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/conductive-thread.pdf>>
- [22] Arduino. [online] .[citované 15.8.2019]: Dostupné z: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> >
- [23] Ashok Kumar L., Vigneswaran C.: *Electronics in Textiles and Clothing: Design, Products and Applications*. 2015. Published by CRC press. ISBN 9781498715508.

- [24] Doha EL Demerdash: *Aesthetics of Light-Emitting Diode (LED) in Illuminating Women Smart Fashion Design*. 2018. [online] .[citované 15.8.2019]: Dostupné z:
< <http://www.journal.faa-design.com/pdf/8-1-doha.pdf> >
- [25] Pepler K., Gresalfi M., Salen Tekinbas K., Santo R.: *Soft Circuits*. Massachusetts Institute of Technology. 2014. [online]. [citované 15.8.2019]: Dostupné z: < <https://books.google.be/books?id=t-7XBAAAQBAJ&pg=PA59&dq=LED+circuit+on+textile&hl=sk&sa=X&ved=0ahUKewiv4Zbe9v7jAhWHGuwKHWEIBicQ6AEIQDAD#v=onepage&q=LED%20circuit%20on%20textile&f=false>>
- [26] Schwarz-Pfeiffer A., Hoerr M., Mecnika V.: *Textiles with integrated sleep-monitoring sensors*. 2016. Woodhead publishing. ISBN: 978-1-78242-400-0
- [27] Kirstein T.: *Multidisciplinary know-how for smart textiles developers*. 2013. Woodhead Publishing. ISBN 9780857093530 [citované 15.8.2019]
- [28] Korotcenkov G.: *Handbook of humidity measurement*. 2019. CRC press. ISBN-13: 978-1-138-30022-4
- [29] McCann J., Bryson D.: *Smart clothes and wearable technology*. 2009. Woodhead publishing. ISBN: 978-1-84569-566-8.
- [30] Adafruit. [online]. [citované 5.5.2020]. Dostupné z:
<<https://www.adafruit.com/product/1937#technical-details>>
- [31] Bezpečné cesty: *Viditeľnosť chodců*. [online]. [citované 6.5.2020]. Dostupné z:
<<https://www.bezpecnecesty.cz/cz/dopravni-vychova/dopravni-vychova-ve-skolach/chodec/viditelnost-chodcu>>
- [32] Kočárková J.: *Představili jsme druhou generaci reflexní bundy*. 2017. [online]. [citované 6.5.2020]. Dostupné z:
<<https://tuni.tul.cz/rubriky/univerzita/id:87771/predstavili-jsme-druhou-generaci-reflexni-bundy>>
- [33] Tilak D.: *Electronically active textiles*. 2020. [online]. [citované 12.5.2020]. ISBN: 978-3-03928-145-9
- [34] Levis. [online]. [citované 15.8.2019]:
<https://www.levi.com/US/en_US/clothing/men/outerwear/levis-commuter-x-jacquard-by-google/p/286600000>

- [35] Material Connexion: *Loomia's first direct to consumer product*. 2019. [online] .[citované 15.8.2019]. Dostupné z: < <https://www.materialconnexion.com/loomia/> >
- [36] Mizerová L.: *Tvorba vodivých dráh u sportovních odevu*. Diplomová práce. Liberec 2010.
- [37] Elektrický odpor vodiče, Ohmův zákon pro část obvodu [online]. [citované 12.5.2020]. Dostupné z: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/241-elektricky-odpor-vodice-ohmuv-zakon-pro-cast-obvodu> >
- [38] Alza. [online]. [citované 15.5.2019]. Dostupné z: < https://www.alza.cz/arduino-uno-rev3-d569244.htm?kampan=adw1_komponenty_pla_all_obecnacss_ostatni-komponenty-elektricke-stavebnice_c_9062906__1o5_414817402751_~92896240495~&gclid=Cj0KCQiAs67yBRC7ARIsAF49CdXUMYNgLvJbWu5XwAYe0vZaleAQgVxbd50s3nDc5CT292cgrdKJaREaAqw-EALw_wcB >

Zoznam obrázkov

OBR. 1 ČASOVÁ OS TROCH GENERÁCIÍ VÝVOJA E-TEXTÍLIÍ [1]	11
OBR. 7 VÝBER VODIVÝCH PRIADZÍ [7]	15
OBR. 8 SPÔSOBY TVORBY VODIVÝCH NITÍ [8].....	16
OBR. 9 VODIVÉ NITE OD FIRMY CLEVERTEX [10].....	17
OBR. 10 3D TLAČIAREŇ CREALITY CP-01 [12].....	18
OBR. 11 VÝMENNÉ HLAVICE TLAČIARNE CREALITY CP-01 [12].....	19
OBR. 12 DRUHY 3D TLAČE S TEXTILOM A NA TEXTIL [17]	21
OBR. 13 3D TLAČ APLIKOVANÁ NA PLETENINE [18]	22
OBR. 14 3D OBJEKT Z TERMOPLASTICKÉHO POLYMÉRU TLAČENÝ NA PLETENINU [17].....	22
OBR. 15 3D OBJEKT Z PLA TLAČENÝ NA PLETENINU [17]	23
OBR. 16 PREPOJENIE MEDZI JEDNOTLIVÝMI SÚČASŤAMI INTELIGENTNÉHO ODEVU	27
OBR. 17 MECHANICKÉ PRIPOJENIE [21]	28
OBR. 18 ARDUINO LILYPAD SNÍMAČ PRE NOSITEĽNÚ ELEKTRONIKU [22].....	29
OBR. 19 SCHÉMA PRIPOJENIA VODIVÝCH DRÁH K ČIPU S OBVODOM [23]	30
OBR. 20 SMER PRÚDENIA ENERGIE V JEDNODUCHOM OBVODE S BATÉRIOU, LILYPAD LED A VODIVOU NIŤOU [25].....	31
OBR. 21 UZAVRETÝ OBVOD S VYPÍNAČOM [25].....	31
OBR. 22 OTVORENÝ OBVOD S VYPÍNAČOM [25]	32
OBR. 18 SPY KAMERA [30]	34
OBR. 19 ZOBRAZENIE VIDITEĽNOSTI ODEVU V RÁMCI VZDIALENOSTI OD AUTOMOBILU [31]..	35
OBR. 20 CYKLISTICKÁ BUNDA DRUHEJ GENERÁCIE [32].....	36
OBR. 21 DETAIL RUKÁVU BUNDY S MIESTOM UMIESTNENIA SENZOROV [34]	37
OBR. 22 VNÚTORNÉ PRVKY LOOMIA H1 [35].....	37
OBR. 23 VÝŠIVACÍ STROJ TAJIMA DG15 BY PULSE.....	40
OBR. 24 PROCES VYTVÁRANIA VÝŠIVKY	41
OBR. 25 PRÍSTROJ PARKSIDE PDM 300 C2 A JEHO PRIPOJENIE K VODIVÝM DRÁHAM	43
OBR. 26 UMIESTNENIE MEDENÉHO PÁSICA PRE ZLEPŠENIE PRENOSU INFORMÁCIE	44
OBR. 27 PRIPOJENIE POMOCOU NADPÁJACÍCH KÁBLIKOV PRE OTESTOVANIE FUNKČNOSTI OBVODU	45
OBR. 28 PÔVODNÝ MODEL	46
OBR. 29 VÝSLEDNÝ MODEL.....	46
OBR. 30 TECHNICKÝ NÁKRES FINÁLNEHO 3D MODELU	47

OBR. 31 MODEL 3D VODIVÉHO MATERIÁLU VYTLAČENÝ NA TKANINE	48
OBR. 32 MODEL 3D VODIVÉHO MATERIÁLU VYTLAČENÝ NA PLETENINE	49
OBR. 33 PREPOJENIE TEXTILNÝCH PLETENÝCH ŠTRUKTÚR SPOLU S 3D VODIVÝCH MATERIÁLOM	49
OBR. 34 VÝVOJOVÁ DOSKA ARDUINO UNO [38].....	50
OBR. 35 PRIPOJENIE VYTLAČENÉHO 3D MODELU NA TEXTÍLIU K VÝVOJOVEJ PLATFORME ARDUINO UNO A DOSKE S LED DIÓDOU	51
OBR. 36 POŠKODENÉ MIESTO KÁBLIKA, KTORÉ SPÔSOBOVALO PRERUŠENIE PRENOSU INFORMÁCIE V OBVODE.....	51
OBR. 37 POŠKODENÝ 3D MATERIÁL	52
OBR. 38 NÁVRH RIEŠENIA PREPOJENIA VYŠITÝCH VODIVÝCH DRÁH SPOLU S 3D VODIVÝM MODELOM NA ODEV	61

Zoznam tabuliek a grafov

TAB. 1 POROVNANIE MATERIÁLOV PLA, ABS-CE A PET-G [16].....	21
TAB. 2 KVALITATÍVNE POROVNANIE NÁKLADOV PRI RÔZNYCH DRUHOCH TVORBY E-TEXTÍLIÍ [19].	24
TAB. 3 CHARAKTERISTIKY VODIVÝCH NITÍ	42
TAB. 4 PARAMETRE PRÍSTROJA PARKSIDE PDM 300 C2	43
TAB. 4 ELEKTRICKÝ ODPOR VODIVÝCH DRÁH PRED PRANÍM A ŽEHLENÍM	53
TAB. 5 ŠTATISTICKÉ ÚDAJE VODIVÝCH DRÁH PO 1.CYKLE PRANIA A ŽEHLENIA.....	54
TAB. 6 ŠTATISTICKÉ ÚDAJE VODIVÝCH DRÁH PO 2.CYKLE PRANIA A ŽEHLENIA.....	56
TAB. 7 ŠTATISTICKÉ ÚDAJE VODIVÝCH DRÁH PO 3.CYKLE PRANIA A ŽEHLENIA.....	57
TAB. 8 ŠTATISTICKÉ ÚDAJE VODIVÝCH DRÁH PO 4.CYKLE PRANIA A ŽEHLENIA.....	58
TAB. 9 ŠTATISTICKÉ ÚDAJE VODIVÝCH DRÁH PO 5.CYKLE PRANIA A ŽEHLENIA.....	59
GRAF 1 ELEKTRICKÝ ODPOR VYŠITÝCH VODIVÝCH DRÁH PRED PRANÍM A ŽEHLENÍM	54
GRAF 2 ELEKTRICKÝ ODPOR VYŠITÝCH VODIVÝCH DRÁH PO 1.CYKLE PRANIA A ŽEHLENIA .	55
GRAF 3 ELEKTRICKÝ ODPOR VYŠITÝCH VODIVÝCH DRÁH PO 2.CYKLE PRANIA A ŽEHLENIA .	56
GRAF 4 ELEKTRICKÝ ODPOR VYŠITÝCH VODIVÝCH DRÁH PO 3.CYKLE PRANIA A ŽEHLENIA .	57
GRAF 5 ELEKTRICKÝ ODPOR VYŠITÝCH VODIVÝCH DRÁH PO 4.CYKLE PRANIA A ŽEHLENIA .	58
GRAF 6 ELEKTRICKÝ ODPOR VYŠITÝCH VODIVÝCH DRÁH PO 5.CYKLE PRANIA A ŽEHLENIA..	59

GRAF 7 CELKOVÉ POROVNANIE ŽIVOTNOSTI VYŠITÝCH VODIVÝCH DRÁH POČAS PRACÍH

A ŽEHLIACICH CYKLOV 60

Zoznam príloh

Príloha č. 1 Vzorce pre výpočet štatistických údajov

Priemer $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

Smerodajná odchýlka $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$

Variačný koeficient $V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$ [%]

Príloha č.2

Vzorka č.0	Elektrický odpor Ω/0,5m									
nepraná	1.meranie	2.meranie	3.meranie	4.meranie	5.meranie	priemer	smerodajná odchýlka	variačný koeficient	modus	medián
47	7,7	7,9	7,7	7,7	7,7	7,74	0,089442719	0,008		7,7
56	0	0	0	0	0	0	0	0		0
49	7,2	8,6	8,1	8,1	7,1	7,82	0,645755372	0,417		8,1
85	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	0	0	1,6	1,6
54	4,4	4,4	4,7	4,4	4,4	4,46	0,134164079	0,018	4,4	4,4
52	6240	1015	1028	9050	7130	4892,6	3676,830673	13519083,8		6240
7A	5590	1404	1810	1612	1595	2402,2	1787,817161	3196290,2		1612
25A	4	4,1	3,9	3,9	4,4	4,06	0,207364414	0,043		4
87	72,7	71	69,6	68,2	77,4	71,78	3,556964998	12,652		71
27A	7,9	7,6	7,4	7,7	8,4	7,8	0,380788655	0,145		7,7

Vzorka č.1	Elektrický odpor Ω/0,5m									
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	4.meranie	5.meranie	priemer	smerodajná odchýlka	variačný koeficient	modus	medián
47	7,6	7,8	7,7	7,6	7,6	7,66	0,089442719	0,008	7,6	7,6
56	0	0	0	0	0	0	0	0		0
49	8,7	8	7,9	8,1	7,9	8,12	0,334664011	0,112		8
85	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,56	0,054772256	0,003	1,6	1,6
54	5,5	5,5	5,7	5,5	5,5	5,54	0,089442719	0,008	5,5	5,5
52	7380	1302	1223	1199	1181	2457	2752,428473	7575862,5		1223
7A	1134	1164	1211	1154	1398	1212,2	107,6438572	11587,2		1164
25A	4,6	4,7	4,5	4,4	3,9	4,42	0,31144823	0,097		4,5
87	156,9	165,6	155,9	159,3	158,9	159,32	3,78047616	14,292		158,9
27A	15,7	15,6	16,5	16	13,5	15,46	1,150217371	1,323		15,7

Vzorka č.2	Elektrický odpor $\Omega/0,5m$									
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	4.meranie	5.meranie	priemer	merodajná odchýlka	variálny koeficient	modus	medián
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	0	0	0	0	0	0	0	0		0
49	8,5	8,3	12,2	7,8	9,3	9,22	1,751285242	3,067		8,5
85	1,8	1,9	2	2	1,9	1,92	0,083666003	0,007	1,9	1,9
54	6,9	7,1	7,2	7,2	7,2	7,12	0,130384048	0,017	7,2	7,2
52	1148	1555	1204	1490	1622	1403,8	214,0425191	45814,2		1490
7A	1783	3730	1182	3800	3360	2771	1206,908033	1456627		3360
25A	5,6	5,2	5	5	5	5,16	0,260768096	0,068		5
87	77	78	76,1	74,6	82,9	77,72	3,153886491	9,947		77
27A	554	397	811	1059	1341	832,4	379,9865787	144389,8		811

Vzorka č.3	Elektrický odpor $\Omega/0,5m$									
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	4.meranie	5.meranie	priemer	merodajná odchýlka	ariačný koeficient	modus	medián
47	0	0	0	0	0	0	0	0		0
56	1860000	1900000	610000	368000	453000	1038200	773472,1714	5,98259E+11		610000
49	1016	968	2800	280000	226000	102156,8	139019,5583	19326437587		2800
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	1130	1099	1126	1128	1145	1125,6	16,65232716	277,3		1128
7A	67600	40500	39200	49200	35200	46340	12935,91899	167338000		40500
25A	5,8	5,8	6	5,7	5	5,66	0,384707681	0,148		5,8
87	72,7	72,2	47,6	47,5	71,5	62,3	13,47163687	181,485		71,5
27A	0	0	0	0	0	0	0	0		0

Vzorka č.4	Elektrický odpor $\Omega/0,5m$									
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	4.meranie	5.meranie	priemer	merodajná odchýlka	ariačný koeficient	modus	medián
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	615	647	692	9070	96000	21404,8	41859,02914	1752178321		692
7A	1287	1279	1477	1335	1230	1321,6	94,5134911	8932,8		1287
25A	3400	122	72,8	2070	3580	1848,96	1702,07362	2897054,608		2070
87	39300	31900	31100	525000	503000	226060	262986,5453	69161923000		39300
27A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Vzorka č.5	Elektrický odpor $\Omega/0,5m$									
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	4.meranie	5.meranie	priemer	merodajná odchýlka	ariačný koeficient	modus	medián
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	0	0	0	0	0	0	0	0		0
49	8,6	8,1	7,9	27,9	37,3	17,96	13,77382	189,718		8,6
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	1300	3810	2930	3090	2840	2794	918,2211	843130		2930
7A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0