

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Elektronické systémy integrované do Smart textilií**

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**Fakulta elektrotechnická**  
**Akademický rok: 2018/2019**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš KOST'**  
Osobní číslo: **E16B0111P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Elektronické systémy integrované do Smart textilií**  
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

**Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :**

1. vypracujte rešerši základních principů Smart textilií.
2. proveďte rešerši vhodných elektronických systémů a propojovacích struktur.
3. kriticky zhodnoťte elektronický systém vhodný pro využití ve Smart textiliích.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

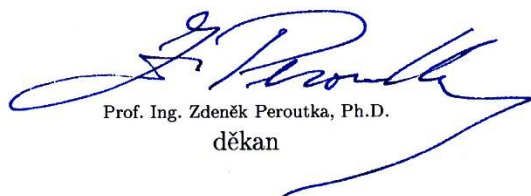
Seznam odborné literatury:

- 1. Park, S., & Jayaraman, S. (2003). Smart Textiles: Wearable Electronic Systems. MRS Bulletin, 28(8), 585-591. doi:10.1557/mrs2003.170**

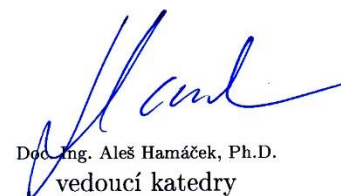
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Pavec**  
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **5. října 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13. června 2019**

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



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

V Plzni dne 5. října 2018

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na popsání a pochopení základních principů v oblasti Smart textilií. V teoretické části je podrobněji popsáno rozdělení Smart textilií, materiály, které se mohou vyskytnout v těchto textiliích, využívané technologie výroby a elektronické systémy vhodné pro použití v oblasti Smart textilií. Poslední část této práce je věnována návrhu a realizaci 3 vzorků s vybraným elektronickým systémem, kde byla pozornost věnována na způsob kontaktování na samotnou textilii.

## **Klíčová slova**

Nositelná elektronika, pletení, sítotisk, Smart oděvy, Smart textilie, technologie Smart textilií, tkaní, vodivá vlákna, vyšívání

**Abstract**

This bachelor thesis is focused on describing a understanding the basic principles in the field of Smart textiles. Theoretical part describes classification of Smart textiles in more detail, materials which can occur in those textiles, used production technologies and electronic systems suitable for Smart textiles. The final part of this work is devoted to design and implementation of chosen electronic system on 3 samples where attention has been paid to the method of contacting the system onto fabric itself.

**Key words**

Wearable electronics, knitting, screen printing, Smart textiles, Smart fabrics, Smart clothing, Smart textile technology, weaving, conductive fiber, embroidery

## **Prohlášení**

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

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

.....  
Podpis

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Pavcovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Daniele Moravcové, Ph.D. za věcné a užitečné rady a pomoc s realizací praktické části.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>10</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>1 SMART TEXTILIE</b> .....	<b>12</b>
1.1 PASIVNÍ SMART TEXTILIE .....	12
1.1.1 <i>Inteligentní textilní čidla</i> .....	13
1.2 AKTIVNÍ SMART TEXTILIE .....	15
1.2.1 <i>Textilie měnící barvu</i> .....	15
1.2.2 <i>Tepelně adaptabilní textilie</i> .....	16
1.3 SUPER SMART TEXTILIE.....	17
1.4 PROJEKTY SE SMART TEXTILIEMI .....	18
1.5 POŽADAVKY NA SMART TEXTILIE .....	20
1.6 SENZORY A AKČNÍ ČLENY.....	20
1.7 NOSITELNÁ ELEKTRONIKA, CHYTRÉ ODĚVY A TEXTILIE .....	21
1.8 PROCES VÝROBY TKANINY .....	21
1.8.1 <i>Technologie přesného tkaní</i> .....	22
1.8.2 <i>Technologie pletení</i> .....	22
<b>2 MATERIÁLY</b> .....	<b>23</b>
2.1 VODIVÉ PASTY .....	23
2.2 KOVOVÁ VLÁKNA .....	23
2.3 OPTICKÁ VLÁKNA .....	23
2.4 ELEKTRICKY VODIVÉ TEXTILIE.....	24
2.5 VRSTVENÍ NANO-ČÁSTICEMI .....	24
2.6 MATERIÁLY S TVAROVOU PAMĚTÍ.....	24
2.7 CHROMATICKÉ MATERIÁLY .....	24
<b>3 TECHNOLOGIE SMART TEXTILÍ</b> .....	<b>25</b>
3.1 SÍTOTISK .....	25
3.2 PROCES NAPRAŠOVÁNÍ.....	26
3.3 VODIVÉ SPOJOVÁNÍ SMART TEXTILÍ .....	26
3.3.1 <i>Kovem obalená příze</i> .....	26
3.3.2 <i>Příze s kovovým jádrem</i> .....	26
3.3.3 <i>Kovové příze</i> .....	27
3.4 KONEKTORY.....	28
3.5 PROCES VÝROBY ELEKTRICKÝCH OBVODŮ NA TEXTILII .....	30
3.5.1 <i>Vyšívací stroje</i> .....	30
3.5.2 <i>Standardní vyšívání</i> .....	32
3.5.3 <i>Přešívání vlákn</i> .....	32
3.5.4 <i>Budoucnost vyšívání</i> .....	33
3.5.5 <i>Tkaní</i> .....	34
3.5.6 <i>Pletení</i> .....	35
<b>4 ELEKTRONICKÉ SYSTÉMY PRO SMART TEXTILIE</b> .....	<b>36</b>
4.1 ARDUINO.....	36
4.2 LILYPAD ARDUINO .....	38
4.3 RASPBERRY PI.....	39
4.4 BANANA PI.....	40



<b>5 PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>41</b>
5.1 NÁVRH VÝŠIVEK .....	41
5.2 POUŽITÉ VODIVÉ NITĚ A SUBSTRÁT .....	41
5.3 POUŽITÝ ELEKTRONICKÝ SYSTÉM .....	42
5.4 REALIZACE VZORKŮ.....	44
5.5 PRINCIP FUNKCE DOTYKOVÉ KLÁVESY .....	44
5.5.1 Vzorek č. 1 .....	45
5.5.2 Vzorek č. 2 .....	47
5.5.3 Vzorek č. 3 .....	48
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>51</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....</b>	<b>54</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>57</b>

## **Seznam symbolů a zkratk**

EKG.....	Elektrokardiogram
CAD.....	Computer-Aided Design
CNC.....	Computer Numerical Control
LED.....	Light-Emitting Diode
FTDI.....	Future Technology Devices International
USB.....	Universal Serial Bus
Li-Po.....	Lithium-Polymer
IoT.....	Internet of Things
GPU.....	Graphics Processing Unit
LCD.....	Liquid Crystal Display
HDMI.....	High-Definition Multimedia Interface
SATA.....	Serial Advanced Technology Attachment

## Úvod

Předložená bakalářská práce se zabývá Smart textiliemi, jejich rozdělením, technologií výroby a používanými materiály, které jsou typické pro toto odvětví. S výzkumem v tomto oboru se začalo již před několika lety a trvá a dodnes. Je to velmi rychle rostoucí odvětví, kdy na trhu najdeme i komerční výrobky pro širokou veřejnost. Obecně platí, že Smart textilie jsou textilie, které přinášejí nějakou další funkcionalitu. Díky těmto vlastnostem mají širokou oblast použití ať už ve zdravotnictví, u bezpečnostních nebo záchranných složek, tak i pro sportovce. Zásadní oblastí Smart textilií jsou snímací textilie, které jsou předmětem velké řady výzkumů a vývoje. Jmenovitě například měření EKG nebo „chytrý hasičský oblek“ vyvinutý na ZČU v Plzni na Fakultě elektrotechnické, který obsahuje funkce jako měření vnitřní a vnější teploty obleku, obsahuje aktivní osvětlení obleku, nouzový pásek pro přivolání pomoci, bezdrátové spojení s chytrým telefonem, měření jedovatých plynů, laserová detekce teploty na dálku a takzvanou černou skříňku. Výzvou v této oblasti je například kontaktování, použité materiály a jejich výdrž při pracích cyklech nebo napájení, které může být realizováno prostřednictvím fotovoltaických prvků nebo piezoelektrických článků. Práce je rozdělena do pěti kapitol. První kapitola obsahuje seznámení se Smart textiliemi, jejich rozdělením a řešenými projekty v rámci Evropské unie. Druhá kapitola popisuje materiály využívané v této oblasti, které mají své specifické vlastnosti. Ve třetí kapitole je popsána technologie, jakým způsobem jsou nanášeny elektrické motivy na textilní substrát. Čtvrtá část je věnována popisu elektronických systémů, které by bylo vhodné použít v oblasti Smart textilií. Poslední část obsahuje návrh a realizaci aktivní Smart textilie pomocí vybraného elektronického systému v podobě tří vzorů využívající více technologií výroby, aby bylo možné posoudit jejich jednotlivé klady a zápory. Mezi použité metody patří strojní a ruční vyšívání, lepení, pájení a termotransfer. Vytvořené vzorky imitují funkci piana s osmi klávesami ve stupnici C-dur. Vybraný elektronický systém Arduino LilyPad, který se ukázal jako vhodný systém pro svůj účel díky své kompaktnosti a tvaru, který byl vytvořen především za účelem kontaktování na textilie. K tomu například přispívá jeho kulatý tvar, díky čemuž se nezadrhává o textilii, počet použitelných vstup-výstupních pinů, dostupné komponenty, dostupnost a cena na českém trhu a jednoduchost platformy při jejím programování. Pro praktickou část byly použity platformy Arduino LilyPad USB Plus, který byl vybrán z důvodu jednoduchosti programování díky periférii microUSB a Arduino LilyPad SimpleSnap, který byl vybrán z důvodu připojování k textiliím pomocí druků, což zajistí snadné odpojování z textilie v případě nutnosti praní textilie.

## 1 Smart textilie

S výzkumem Smart textilií neboli chytrých textilií se začalo přibližně před dvaceti lety a od té doby se výzkum textilní elektroniky posunul od počátků dané problematiky až do průmyslově relevantní oblasti. Začalo to průkopnickým vyšetřováním v pozdních devadesátých letech, jakým způsobem integrovat vodivá vlákna a samotné obvody do textilií. Po několika úspěšných krocích nezbývalo nic jiného než vytvářet komplexnější obvody, přidat do obvodů akční členy, senzory nebo třeba uživatelské rozhraní. Hlavním cílem bylo zrealizovat oblečení, které díky svým aktivním komponentům bude poskytovat dodatečnou funkčnost. Myšlenka byla i taková, že by oblečení spolu s komponenty obsahovalo nakonec úplný přenosný „nositelný“ počítač. Díky tomu vznikl pojem zvaný inteligentní oděvy. Hustotu integrace do těchto oděvů můžeme rozdělit na podskupiny popsané v následujících třech kapitolách [1].

Díky Smart textiliím se rozvinulo nové odvětví možné aplikace, a to v oblasti neoděvních aplikací. Mohou být využity jako bariéry proti elektrickým, magnetickým polím a zářením různých vlnových délek, nebo jako materiály fungující jako inteligentní filtry a separátory (například odsolovač mořské vody), popřípadě jako speciální zdroje energie. V medicíně mohou sloužit jako inteligentní dávkovače léčiv v závislosti na stavu pacienta [2].

Stejný vliv to mělo i na odvětví, které se zabývá sensorovým vnímáním a interakcí. Takovéto uplatnění můžeme najít všude, kde je nezbytné například snímat životní funkce, a to zejména při sledování zdravotního stavu pacientů ve zdravotnictví, stav záchranářů, letectví, nebo bezpečnostní systémy pro vojenské složky. Diskrétní charakter těchto inteligentních oděvů se přímo nabízí je využívat pro fyziologické nebo fyzické monitorovací úkoly. Nespornou výhodou však je, že nositel skoro nevnímá, že na sobě nosí jakoukoli technologii, která snímá jeho životní funkce. Tato vlastnost je důležitá v mnoha monitorovacích aplikacích. Díky integraci do oblečení jako jsou bundy, košile nebo kalhoty, tak jsme schopni pokrýt velkou část lidského těla [1].

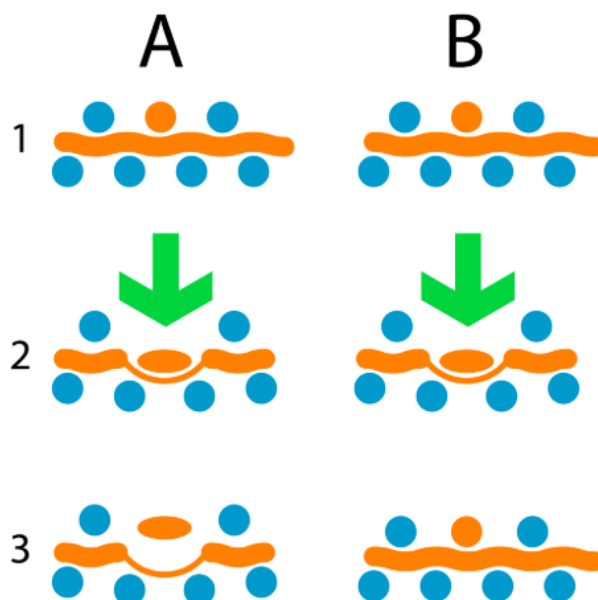
### 1.1 Pasivní Smart textilie

Pasivní Smart textilie, označované jako první generace, jsou citlivé pouze na vnější podněty pomocí senzorů. Patří sem optická vlákna, která přenáší světelný signál, ale jsou citlivá na deformaci, koncentraci chemikálií, tlak, oděvy chránící proti UV záření nebo plazmou ošetřené oblečení [2]. Mezi pasivní inteligentní textilie patří také součásti tzv.

nositelných počítačů a oděvní elektroniky. Textilie pak slouží jako nosič, protože se dají spojit šitím, lehce se udržují a mají nízkou hmotnost [3].

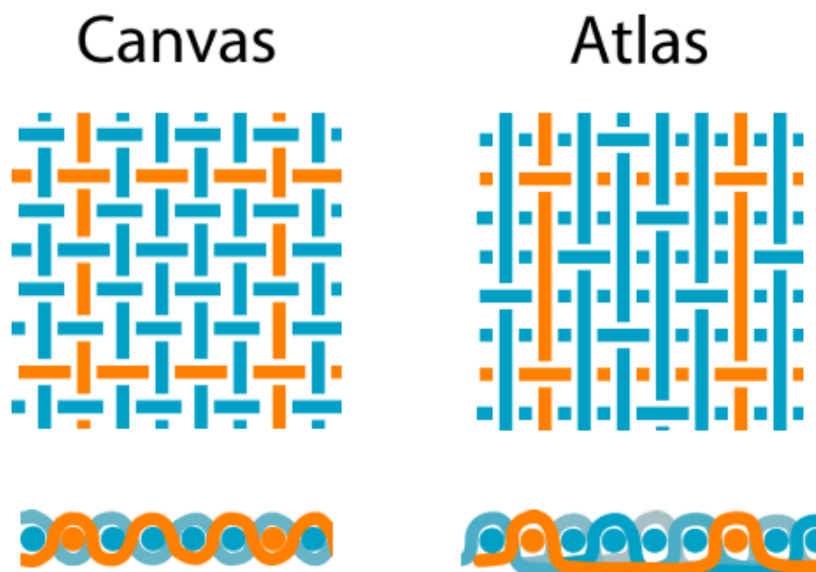
### 1.1.1 Inteligentní textilní čidla

V této skupině jsou textilní struktury, které indikují změnu stavu podle podmínek okolí. Využití nachází jak v oděvních textiliích, tak v technických textiliích a kompozitech nebo v zařízeních pro monitorování a indikaci veličin [2]. Vláknové senzory jsou optická vlákna, která indikují řadu změn na základě okolních podnětů. Vyrábějí se z křemíku nebo speciálních polymerů. Obrázek níže znázorňuje textilní snímač tlaku, který je vyroben z termoplastického silikonového vlákna vyrobeno ve Švýcarsku v rámci výzkumu senzorů tlaku pomocí flexibilních optických vláken. V závislosti na tlaku se mění intenzita světla. Rozsah pracovního tlaku bylo zvoleno 0 až 30 N [4].

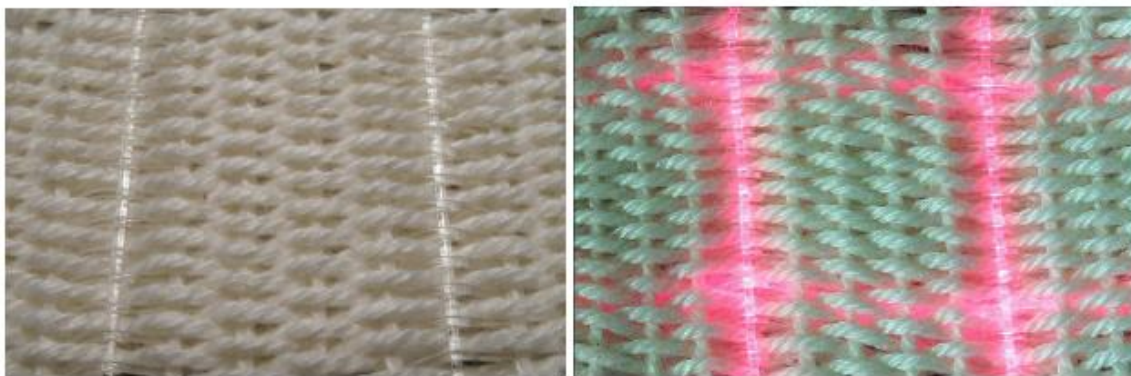


Obr. 1.1 Funkční schéma senzoru tlaku (oranžová – optické vlákno, modrá – textilní vlákna).  
A – Optické vlákno nenavráceno do původního tvaru po aplikaci tlaku; B – plně elastické vlákno (převzato z [4]).

Firma vyrobila 2 vzorky z ručního tkaniva z bavlny o průměru 0,75 mm a optického vlákna o průměru 0,51 a 0,98 mm ve dvou verzích s různým vzorem tkaní. Obrázek níže znázorňuje techniku tkaní.

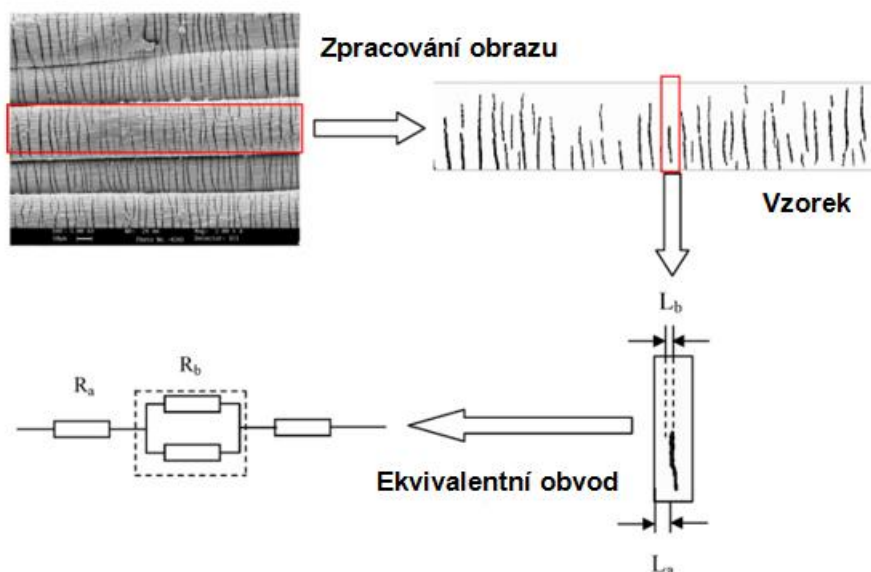


Obr. 1.2 Vzory Canvas a Atlas (pohled shora a zepředu). Oranžová – optická vlákna, modrá – bavlna (převzato z [4]).



Obr. 1.3 Vzor tkaní Atlas s použitím silikonového vlákna průměru 0,51 mm a bavlny (převzato z [4]).

Senzory mohou být i textilního charakteru, kde se využije vodivé příze jako samotného senzoru. Jako příklad můžeme uvést vlákno, které bylo vytvořeno v Číně, kde zkoumali chování Lycra vláken (elastan) potaženým polypyrolem. Vlivem deformace vznikají na vláknu mikrotrhliny, které mají za následek výraznou změnu elektrického odporu. Ten je poté vyhodnocován pomocí MATLABU a jeho funkce pro zpracování obrazu. Zkoumány jsou právě vzniklé statické charakteristiky mikrotrhlin a pomocí vzorců je vypočítáno celkové natažení [5].



Obr. 1.4 Diagram znázorňující vyhodnocování mikrotrhliny jako ekvivalentního smíšeného řazení rezistorů (převzato z [5]).

## 1.2 Aktivní Smart textilie

Aktivní Smart textilie, označovány jako druhá generace, jsou schopny identifikovat a také reagovat na vnější stimul. Kromě čidel obsahují i akumulátory [6]. Příkladem mohou být textilie měnící barvu v závislosti na teplotě okolí (efekt chameleona), teplo-reagující textilie, které jsou schopny uložit nebo uvolnit tepelnou energii podle změn okolí. Dále to mohou být textilie s adaptivní prodyšností a propustností vodní páry nebo s adaptivní pamětí [2] [3].

Tuto generaci v největší míře používají záchranné a vojenské složky, protože jsou schopné identifikovat i látky v okolí, jako jsou plyny, bakterie nebo dokonce radiaci [6].

### 1.2.1 Textilie měnící barvu

„Chameleonní“ textilie jsou schopné reagovat na vnější okolí díky svým funkčním barvivům. Použité pigmenty absorbují teplo nebo UV záření a mění tak své optické vlastnosti i chemickou strukturu. Na tyto aplikace byla použita polypropylenová vlákna, která se běžně používají v oděvní i technické účely. Pigmenty se do těchto vláken aplikují buď z roztoku, disperzní pasty nebo se vnitřně zakomponují přímo do vlákna. Použití takového materiálu můžeme najít v průmyslové výrobě, kde v místech s obtížným přístupem mohou nahradit teplotní čidla. Matky malých dětí mohou poznat podle zbarvení oblečení, že dítě v kočárku je přehřáté. Pokud bude aplikován jako pruh na triko, může nositele upozornit na vysokou intenzitu UV záření, které je pro člověka nebezpečné a může tak předejít riziku onemocnění rakovinou kůže [7].



Obr. 1.5 Vlákna schopná měnit barvu díky UV záření (převzato z [7]).

### 1.2.2 Tepelně adaptabilní textilie

Zkoumáním této problematiky se již započalo během osmdesátých let, kdy vznikla i řada patentů. Takovéto textilie jsou schopné reagovat na změnu teploty okolí. Za průměrnou komfortní teplotu lidské kůže je považována teplota 33,3 °C (průměr teplot nohou, rukou a hlavy). Pokud teplota klesne na 31 °C, nastává podchlazení organismu. Pokud naopak teplota vzroste na 35,5 °C, nastává nadměrné pocení. Při překročení hodnoty 40 °C začnou odumírat buňky. Do určité míry je tělo schopné samoregulace [2].

Tohoto efektu lze dosáhnout například pomocí PCM (Phase Change Materials neboli materiály s fázovou přeměnou). Pro textilní aplikace hodnota pro bod tání PC materiálů v rozmezí 15 až 35 °C a bod tuhnutí mezi 10 až 30 °C. Při zvyšování teploty textilie teplo absorbují v tekutém stavu a při ochlazování ho zase uvolňují a stav se změni opět na pevný.

Mezi základní materiály měnící skupenství patří:

- Polyethylenglykol (PEG) – nejvíce používaný PCM,
- Hydratované anorganické soli – historicky první pro PCM textilní aplikace,
- Parafín,
- Vyšší uhlovodíky [8].



Tab. 1.1 Příklady aplikací materiálů s fázovou přeměnou (PCM) [8]

Aplikace	Popis
Neformální oblečení	Spodní prádlo, bundy, lyžařské/sportovní oblečení
Formální oblečení	Hasičské uniformy, neprůstřelné vesty, kosmické skafandry
Domácnost	Záclony, prošívané přikrývky, spacáky
Obuv	Lyžařské boty, golfové boty
Lékařství	Chirurgická gáza, bandáže
Materiály budov	Beton
Ostatní	Automobilové interiéry

### 1.3 Super Smart textilie

Super Smart textilie (též Ultra Smart textilie nebo Super inteligentní Smart textilie), označovány jako třetí generace, jsou schopny, stejně tak jako druhá generace, identifikovat a reagovat na vnější podněty. Čím se ale liší, je schopnost upravit si svoji vlastní funkci a vlastnosti pomocí predikce, a to vše bez předběžného ladění [3].

Musí tedy obsahovat vždy řídicí jednotku, která obsahuje algoritmy na základě kterých potom rozhodne, jak látka bude na vnější podněty reagovat. Třetí generace obsahuje pět základních prvků: senzory, akční členy, paměťové jednotky, kontrolní jednotky, vodiče a propojovací struktury [6].

## 1.4 Projekty se Smart textiliemi

V tabulce níže se nachází několik vybraných projektů, které byly financovány Evropskou komisí.

Tab. 1.2 Projekty pro Smart textilie v rámci programu EU FP6 a FP7 [9]

Název projektu – doba trvání	Popis
WEALTHY září 2002 – únor 2005	Průkopnický výzkum využití tkanin pro monitorování EKG.
MyHeart leden 2004 – říjen 2007	Vývoj Inteligentních Biomedicínských Oděvů pro diagnostiku a léčbu zdravotních stavů.
BIOTEX říjen 2005 – únor 2008	Zaměřeno na vývoj biochemické senzory integrovatelné do textilií ve formě záplat, které by byly schopny snímat tělesné tekutiny.
PROETEX únor 2006 – leden 2010	Cílem bylo vytvořit chytré nositelné oděvy, které budou pomáhat pracovníkům při zásahu na mimořádné události zvýšit koordinaci a celkově zlepšit bezpečí a efektivitu.
STELLA únor 2006 – leden 2010	Cílem projektu bylo vytvořit natahovatelné a ohebné substráty s elektrickými propoji.
OFSETH březen 2006 – červen 2009	Zaměřeno na to, jak mohou být optická vlákna využita pro snímání životních funkcí, za předpokladu výroby technologií pro konvenční textilie.
CONTEXT leden 2006 – červen 2008	Projekt, kde cílem bylo vytvořit bezdotykové senzory pro monitorování EMG a EKG.
WearIT@Work leden 2004 – listopad 2008	Cíl byl dokázat propojení výpočetních systémů do oblečení a vytvořit tak rozhraní pro průmyslové prostředí.
DEPHOTEX listopad 2008 – říjen 2011	Vývoj ohebných fotovoltaických textilií.
PLACE-it únor 2010- leden 2013	Výroba platformy pro tenkou a přizpůsobivou propojovací technologii optoelektronických systémů

V tabulce níže se nachází několik vybraných nejnovějších projektů, které započali v letech 2018 nebo 2019 a jsou financovány Evropskou unií v rámci programu Horizon 2020.

Tab. 1.3 Projekty pro Smart textilie v rámci programu EU Horizon 2020 [10]

Název projektu – doba trvání	Popis
LifeCall EKG Heart Health Monitoring, Analysing and Warning Systém březen 2018 – srpen 2018	Triko s elektrodami a přístrojem pro měření EKG v reálném čase
MAXHEAT září 2018 – únor 2020	Systém vyhřívání oděvů snadno integrovatelný do oblečení
WEAFING leden 2019 – červen 2023	Nositelné elektro-aktivní látky v oděvech
WEARPLEX leden 2019 – prosinec 2021	Integrovaní tištěné elektroniky a elektrod na oděvy pro medicínské účely
TexRobots květen 2019 – duben 2021	Textilní aktuátory schopné snímání určené pro robotické aplikace
RoboTexTherapy květen 2019 – duben 2021	Zařízení pro mechanoterapii integrované do textilií fungující na principu fázové přeměny

Institut Georgia Tech během projektu, který byl financován Americkým námořnictvem v letech 1996, vyvinuli „Nositelnou základní desku“ (GTMW – Georgia Tech Wearable Motherboard), které bylo vytvořeno za účelem nošení v bojových podmínkách. Toto tričko mělo být schopno snímat zasažení kulkou a snímat životní funkce pomocí optických vláken. Princip byl takový, že zařízení snímající lidské tělo bylo připojeno na tělo a vývody k připojené k tričku. GTWM bylo pak schopno lokalizovat přesně poškozené místo nebo zranění na nositeli a poskytnou tak informace během několika sekund na velící středisko. To pak rozhodlo, kdo potřebuje okamžitě ošetřit a kdo nemá tak vážná zranění a může být ošetřen později. To je faktor, který je často velmi kritický během boje [11].



Obr. 1.6 GTWM (převzato z [11]).

## 1.5 Požadavky na Smart textilie

Pro monitorovací aplikace jsou to samozřejmě data poskytnutá samotnými senzory. Mezi jednu dlouhotrvající výzvu v odvětví Smart textilií, patří vyřešit problematiku, jak získat robustnost při měření a jak zachovat vlastnosti konvenční textilie tj. odolnost vůči natažení a ohýbání. Více než důležitost kvality momentálně přenášeného signálu je důraz kladen na zacházení, běžné užívání a také čisticí procedury, které kriticky ovlivňují celkovou dlouhodobou životnost a spolehlivost textilie. Dochází k postupnému ničení senzorů, protože dnešní postupy na čištění textilií jsou uzpůsobeny na klasické textilie. Proto se zkoumá, kolik čisticích cyklů daná Smart textilie zvládne bez porušení funkce senzoru. Mezi další výzvy patří samotná výroba těchto textilií, protože trend za poslední století je „vyrobit co nejvíce, za nejméně peněz“. Tento trend je naprostý opak tomu, co je vyžadováno, kvůli široké diverzifikaci Smart textilií pro různé aplikace. To má za následek, že výrobcům není zaručena garance výtěžku z důvodu nedostatečného množství v jednotlivých aplikacích inteligentních oděvů [1].

## 1.6 Senzory a akční členy

Senzory jsou nezbytnou součástí pasivních Smart textilií. Akční členy reagují na vnější podněty buď na povel z řídicí jednotky, nebo autonomně. Spolu se senzory tvoří akční členy základ aktivní Smart textilie. Senzory ve tkanině mají velmi široké uplatnění ve vývoji pro biomedicínu. Tyto senzory mohou být použity například pro EKG. Termočlánky integrované ve tkanině mohou být využity pro snímání teploty. Tkaniny citlivé na změnu tvaru lze využít se spojením snímáním elektrických biosignálů svalové aktivity pro vyhodnocování svalové kondice. Smart textilie se neobejdou bez elektrické energie, bez které by nefungovaly její elektrické části. Výroba takovéto energie je značnou výzvou. Přenos elektrické energie by se mohl realizovat i jiným způsobem, a to indukčním přenosem energie, který v této době není tolik vyspělý, ale je třeba v budoucnu s touto metodou počítat.

Vhodnou volbou je využít změn tvaru textilie, a proto se nabízí použít piezoelektrické elementy, které právě vlivem deformace materiálu generují napětí, nebo použít fotovoltaické elementy. Aktivní systémy se dají kategorizovat zhruba do dvou skupin a to: vstupní část a oznamovací či zobrazovací část. Do vstupní části patří tkaniny citlivé na změnu tvaru, které zaznamenávají informace vlivem stlačení, natažení a ohýbání nebo kapacitní ploška, která reprezentují tlačítka. Do zobrazovací části patří látkové reproduktory a luminiscenční příze. Tkanina může též obsahovat vlákna, která poskytují jakousi zpětnou vazbu pomocí vibrací [9].

## 1.7 Nositelná elektronika, chytré oděvy a textilie

Nositelný počítač je zařízení, které je nošeno v těsné blízkosti lidského těla a umožňuje se tak zapojit do každodenního života jeho nositele. Na rozdíl od mobilních telefonů, tyto počítače jsou vždy zapnuty a připraveny ke snímání, tedy nevyžadují, aby byly ručně aktivovány, ale automaticky reagují na nositele. Mohou být aktivovány buď implicitně (např. hlasovým příkazem), nebo explicitně (např. změnou srdečního tepu). Existují nositelná zařízení, například fitness náramky, sporttestery, chytré hodinky obecně nazývané „wearables“. Ty mají schopnost poskytovat vstupní a výstupní informace, stejně tak nabízí konektivitu na internet. Nevýhoda těchto zařízení je, že uživatel musí myslet na to, že si je na sebe musí nasadit, nebo nevézt, pokud se tak rozhodne. Na rozdíl od nositelných zařízení jsou chytré oděvy přímo kusy oblečení obohaceny o funkce snímání a zpracovávání informací [1].

## 1.8 Proces výroby tkaniny

Dříve se příze vytvářely hlavně z jednoho materiálu, což byla vlna, nebo bavlna. Každý materiál má ale rozdílné vlastnosti, jako například pevnost, prodyšnost, odolnost vůči chemikáliím nebo absorpce vlhkosti. Kombinováním materiálů můžeme získat materiál nový, který kombinuje vlastnosti z několika materiálů [12]. Příze se může skládat ze střížových vláken, nebo filamentů. V případě střížových vláken se jedná o tzv. konečná vlákna, například výše zmiňovaná vlna nebo bavlna. Filamenty jsou vlákna tzv. nekonečná vlákna, například hedvábí. Podle průměru vlákna a materiálu, ze kterého je vytvořeno, mohou být svázány a poté navinuty, což vede k hladké přízi. Střížová vlákna je možno stočit v jedno, které je možno použít, nebo je stočit v další vlákna a tím vznikne ještě více silnější příze. Filamenty je možno stříhat na staplovou délku. Při porovnání je točené vlákno více chlupaté než vlákno vyrobené pomocí filamentů. Na obrázku 1.1 je zobrazeno, jakým způsobem jsou tkaniny vyrobeny [13].



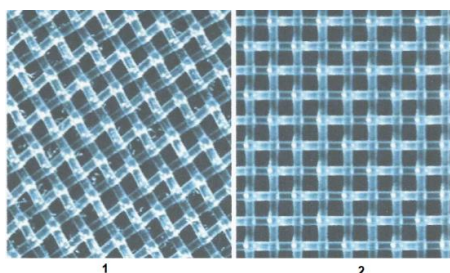
Obr. 1.7 Způsoby výroby tkanin. Tkaná příze se třemi svazky – 1; Střížová vlákna – 2; Znárodný řez tkaninou, která se skládá z osnovy s útkem pleteným nad a pod osnovními vlákny – 3; Pletená textílie – 4 (převzato z [12]).

Takto vyrobené příze je možno využít ve tkaných, nebo pletených materiálech. Pletené materiály jsou velmi elastické a pružné, mají porézní strukturu vytvořenou prokládanými nitěmi pomocí jehel. Takto vytvořený materiál se dá vytvořit podstatně rychleji a levněji, než tkané materiály [14]. Tkané materiály se vyrábějí s použitím dvou, nebo více nití, které se vzájemně prokládají v pravém úhlu. Představují velkou rozmanitost, jsou obecně odolnější, mohou být snadno řezány do různých tvarů a jsou vhodné pro výrobu oděvů [15].

### 1.8.1 Technologie přesného tkaní

Přesné tkaniny představují atraktivní médium pro elektronickou integraci díky rychlosti, s jakou jsou produkovány tkaniny o velké ploše o speciálních vodivých vlastnostech. Typické průmyslové tkací stroje jsou schopny za rok vyprodukovat více než 106 čtverečních kilometrů tkaniny s přesností na mikrometry. Zásadní rozdíl mezi klasickou tkaninou a přesnou tkaninou jsou požadavky na její kvalitu. Ty jsou charakterizovány přesně nadefinovanými reprodukovatelnými a systematicky řízenými vlastnostmi tkanin. Důraz je kladen hlavně na geometrii tkanin a na odvětví, ve kterém budou použita. Mezi kritéria patří:

- Počet vláken na cm,
- Velikost, pravidelnost a pravoúhlost ok,
- Prodyšnost,
- Odolnost vůči natažení, nebo smrštění,
- Biokompatibilita (použití ve zdravotnictví),
- Dlouhodobá stálost, omyvatelnost,
- Umístění a tloušťka vodivých drátů [1].



Obr. 1.8 Viditelný rozdíl mezi klasickou tkaninou – 1 a přesnou tkaninou – 2 (převzato z [1]).

### 1.8.2 Technologie pletení

Technikou pletení se produkuje většinou dvourozměrné látky z jednorozměrných přízí, nebo nití. Pletená látka sestává z řady po sobě jdoucích řad smyček, které se nazývají stehy. V porovnání se strukturou tkaných látek se pletené látky mnohem lépe vytvarují různým tvarům. Proto je výhodné tyto materiály využívat v oděvním průmyslu, protože se lépe přizpůsobí lidskému tělu [1].

## 2 Materiály

Materiály používané pro Smart textilie jsou specifické tím, že jsou chytřejší než běžně používané materiály. Dokáží vnímat okolí, komunikovat mezi sebou a vzájemně se i ovlivňovat. Pro vytvoření senzorů nebo propojovacího substrátu se používají vodivé pasty, vodivé pryže, vodivé nitě, vodivý inkoust, uhlíkem nebo polymerem potažená vlákna. Vodivá vlákna jsou vyráběna namixováním přírodních vláken nebo čistých kovů s vodivými materiály. Ty jsou zhotoveny metodami:

- Vlákná vyplněná vodivým materiálem (například uhlík nebo kovové částice),
- Potažené vodivé polymery,
- Spředená vlákna s tenkou plastovou vodivou nebo kovovou nití.

Pro výrobu senzorů se využívá kovového hedvábí, filamentu z nerezové oceli, vodivého polymerního potažení nebo uhlíkového vlákna. Pak materiály jako vodivý polymer, kovová nebo optická vlákna se zase používají pro integraci do samotné textilie, sloužící pro přenos elektrického proudu, snímání okolí a přenos dat. Použití organických polymerů poskytuje vyřešení problému s tuhostí anorganických krystalů (křemík). Tyto materiály jsou velmi pružné, lehké, odolné, snadno zpracovatelné a levné [16].

### 2.1 Vodivé pasty

Vytvořený motiv lze přenést na látku pomocí síťotisku za použití vodivé pasty, do které se pro zajištění vodivosti přidávají příměsi jako měď, uhlík, stříbro nebo zlato, a tím získá vodivé vlastnosti. Tištěné plochy lze následně využít například jako spínače, nebo tlakové podložky pro aktivace elektrického obvodu [16].

### 2.2 Kovová vlákna

Kovové nitě jsou velmi tenká vlákna, kterých se dá docílit buď pomocí tažení, nebo řezáním hrany z tenkých plechů. Takto vytvořená vlákna mohou být vpleteny nebo vetkány do textilie a vytvořit tak propojení mezi součástkami [16].

### 2.3 Optická vlákna

Optická vlákna mohou posloužit k mnoha účelům ve Smart textiliích, například k přenosu světla pro optické snímání, detekování deformací vlivem unikání světla při ohybu vlákna a chemickému snímání. Mezi hlavní výhody těchto vláken patří odolnost proti elektromagnetickému záření, a že negenerují teplo. Komerčně dostupný výrobek Luminex® je kus látky s již integrovaným optickým vláknem schopným generovat světlo. Tento výrobek najde využití spíše jako estetický prvek, ale i přes to se dá využít pro bezpečnostní

vesty [16]. Optická vlákna by mohla reagovat například na přítomnost nějakého nebezpečného plynu, který by snímal senzor a na základě vyhodnocení o nebezpečí by mohly optická vlákna červeně blikat a tím nositele i jeho okolí informovat, že dané místo momentálně není bezpečné.

## 2.4 Elektricky vodivé textilie

Tyto vodivé textilie se už roky využívají v mnoha průmyslových odvětvích, pro řízení stínění elektrostatického a elektromagnetického rušení. Dnes jsou textilie modifikovány tak, aby měly dobrou elektrickou vodivost. Ve Smart textiliích se používají jako elektrody, nebo pro propojování komponentů [16].

## 2.5 Vrstvení nano-částicemi

Nanesením vrstvy nanočástic na textilií docílíme zlepšení výkonnosti a funkčnosti textilií. Díky nanotechnologiím jsme schopni vytvořit vysoce odolné látky, které mají trvalé účinky. Vrstva s nano-částicemi může přidat nepromokavé, anti-bakteriální, samočisticí vlastnosti nebo ochranu před UV zářením, při zachování prodyšnosti [16].

## 2.6 Materiály s tvarovou pamětí

Paměťové materiály na bázi slitin niklu a titanu byly vytvořeny za účelem poskytnutí ochrany proti zdroji tepla. Tyto materiály mají rozdílné vlastnosti nad a pod hranicí teploty, kdy jsou aktivovány. Při aktivační teplotě začnou působit síly, které navrátí materiál do počátečního stavu a stane se tak mnohem tvrdší [16].

## 2.7 Chromatické materiály

Chromatické materiály mění barvu na základě vnějších podmínek. Tento princip je již detailněji popsán v kapitole 1.2.1. V závislosti na různé podněty se chromatické materiály dělí:

- Elektro-chromatická - vnější podnět je elektřina,
- Foto-chromatická - vnější podnět je světlo,
- Termo-chromatická - vnější podnět je teplota,
- Piezo-chromatická - vnější podnět je tlak,
- Solvát-chromatická - vnější podnět je plyn, nebo tekutina [16].



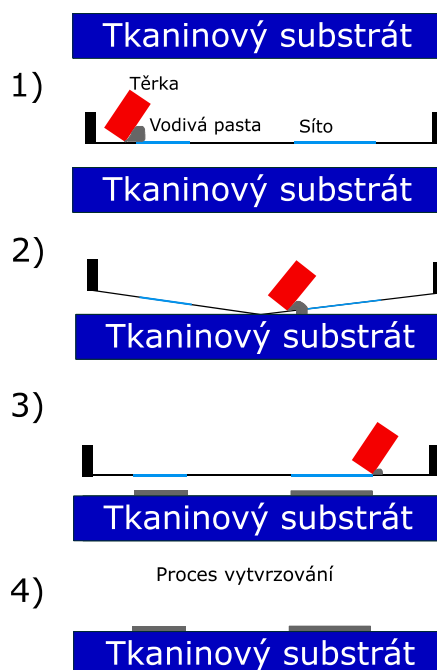
### 3 Technologie Smart textilií

Aby bylo možné nosit elektrické zařízení na lidském těle, musí se docílit jistých vlastností, aby pro nositele nebylo nošení nepohodlné, jelikož lidské tělo je citlivé, ohebné a různě zakřivené. Mezi takovéto vlastnosti patří prodyšnost, ohebnost, elasticita a spolehlivost elektrických součástek a propojení na textilních substrátech. Ještě větší důraz je kladen na tyto vlastnosti, pokud mají být senzory v přímém kontaktu s lidským tělem. Pro docílení výroby flexibilních součástek se používají ohebné substráty. Pro propojování součástek se používají běžné technologie pro výrobu textilu (tisk, vyšívání, pletení či tkaní) [17].

#### 3.1 Sítotisk

Tato technologie se začala používat již na konci 9. století. Je to tradiční cesta, jak přenášet motivy na různou škálu materiálů přes textil, sklo, keramiku, papír, železo nebo dřevo [18]. Sítotisk je jednoduchý a levný proces vhodný pro výrobu elektroniky kvůli své schopnosti vytvářet komplikované obvody. Silné vzorované vrstvy z pastovitého materiálu se vytváří protlačováním viskózní pasty skrze síto [9]. Touto metodou lze vytvářet elektrické vzory (obvody) i na tkaninovém podkladu, tedy textilií.

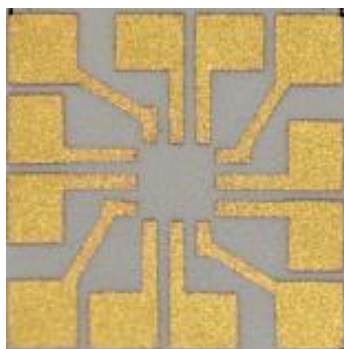
Na tkaninový substrát jsou vodivé pasty, jehož složení je popsáno podrobněji v kapitole 2.1, pod tlakem protlačovány přes vzorované síto pomocí těrky, čímž se vytvoří elektrický vzor. Poté je potřeba vytvořený vzor vytvrdit za určité teploty. Proces sítotisku je znázorněn na obrázku 1.9 [17].



Obr. 3.1 Proces technologie sítotisku (překresleno z [17]).

### 3.2 Proces naprašování

Naprašovací proces dokáže vytvářet elektrické vzory na tkaninu s vysokým rozlišením a přesností. Tkaninový substrát je navinut na válec ve vakuové komoře. Pro naprašování plazmou inertního plynu se využívá zlatý terč. Na tkaninu je přiložena stínící maska se vzorem elektrického obvodu a vylétající atomy zlata jsou na ni naprašovány. Atomy zlata procházejí pouze skrze otvory v masce a vytvářejí elektrické vzory. Minimální šířka vzoru je 100  $\mu\text{m}$  a tloušťka 1  $\mu\text{m}$ . Takto vytvořené motivy zajišťují elektricky tuhé spojení, dobrou omyvatelnost, avšak oproti sítotisku je to proces časově náročnější a také dražší [19].



Obr. 3.2 Příklad motivu vytvořeného rozprašováním (převzato z [19]).

### 3.3 Vodivé spojování Smart textilií

Vodivá vlákna se v dřívějších letech používala hlavně pro výrobu antistatických ochranných obleků. Dnes jsou tyto vlákna používána pro aplikace, kde je potřeba přenos elektrického signálu. Vodivé textilní materiály mohou zastupovat kovy tam, kde je potřeba využít jejich specifických vlastností, které kovy nemají. Aby se mohlo vlákno nazývat vodivé, musí být jeden nebo více komponentů ve vláknech vodivých. Existují 3 rozdílná složení vodivého vlákna [12].

#### 3.3.1 Kovem obalená příze

Takto vytvořené příze používají potažení nebo pokovení nevodivých vláken tenkou vodivou vrstvou. Tato vodivá pokovená vlákna mohou být vytvořena několika různými způsoby (naprašování, odpařování, karbonizace). Výsledná vlákna vykazují vysokou vodivost, ale trpí nízkou přilnavostí a odolností vůči korozním problémům [12] [13].

#### 3.3.2 Příze s kovovým jádrem

Příze s kovovým jádrem obsahují velmi tenký drátek jako jádro, které je obaleno nevodivými vlákny, které jádru dodávají odolnost proti fyzickému namáhání a zajišťují elektrickou izolaci [17].

Švýcarská společnost Swiss-Shield® se zabývá výrobou kovových monofilamentů, které se dají kombinovat s různými vlákny, jako jsou příze, polyamidy, polyester nebo je přímo používat při pletení, nebo tkaní [9].

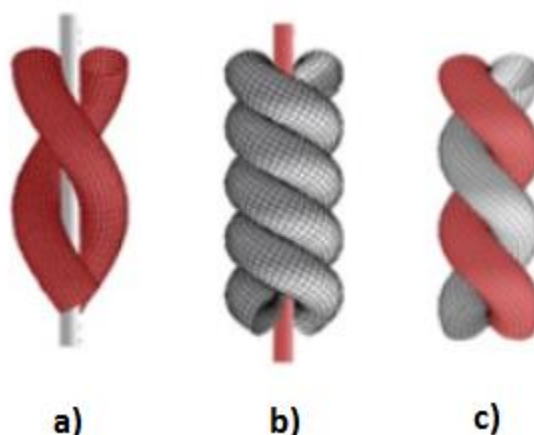


Obr. 3.3 Schematické znázornění kombinace vodivého vlákna -1 s konvenčním vláknem -2 (např. bavlna, polyester) (převzato z [9]).

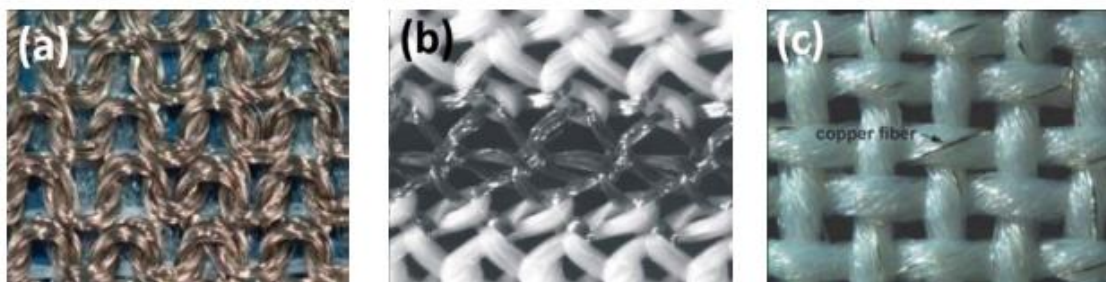
Mezi českou firmu, která se zabývá výzkumem a výrobou speciálních vodivých nití, je VÚB a.s. Ústí nad Orlicí, která má dlouholeté zkušenosti zejména v technologii rotorového předení a výroba přízí je stále jedna z komerčních aktivit, mezi které patří i strojírenská výroba jednoúčelových strojů. Firma se též zabývá výrobou speciálních ochranných, ESD a termoregulačních oděvů značky CleverTex ® [20].

### 3.3.3 Kovové příze

Pokud je vlákno vyrobeno z kovových filamentů, může být nastříháno na určitou délku. Vlákna mají průměr v rozmezí od 1  $\mu\text{m}$  do 100  $\mu\text{m}$ . Taková kovová vlákna lze vytvořit pomocí dostupných kovů jako například slitiny niklu, železa, titanu, nerezové oceli, hliníku nebo mědi [9]. Vlákna s jádrem z keramiky nebo diamantu se vyrábějí tažením. Poté následuje žihání při teplotě 600-900  $^{\circ}\text{C}$ . Materiál použitý pro tato vlákna je měď, mosaz, postříbřená měděná nebo mosazná vlákna [17].



Obr. 3.4 Kovem obalená příze – a); Příze s kovovým jádrem – b); Kovová příze – c) (převzato z [17]).



Obr. 3.5 Pletená látka s vodivými vlákny - a); Vodivá vlákna vpletená mezi klasickou přízí - b); Měděný drát tkaný spolu s vlnou – c) (převzato z [21]).

Podle použitého materiálu můžeme docílit rozdílných elektrických vlastností, jak ukazuje následující tabulka.

Tab. 1.4 Elektrické vlastnosti kovových monofilamentů [9]

Kov	Vodivost [S·m/mm <sup>2</sup> ]	Rezistivita [Ω·mm <sup>2</sup> /m]	Teplotní součinitel elektrického odporu [10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ]		
			Min	Typ	Max
Cu	58,5	0,0171	3900	3930	4000
Cu/Ag	58,5	0,0171	3900	4100	4300
Ag 99%	62,5	0,0160	3800	3950	4100
Ms/Ag	16,0	0,0625	1400	1500	1600
AgCu	57,5	0,0174	3800	3950	4100
Bronz	7,5	0,1333	600	650	700
Ocel 304	1,4	0,7300	-	1020	-
Ocel 316L	1,3	0,7500	-	1020	-

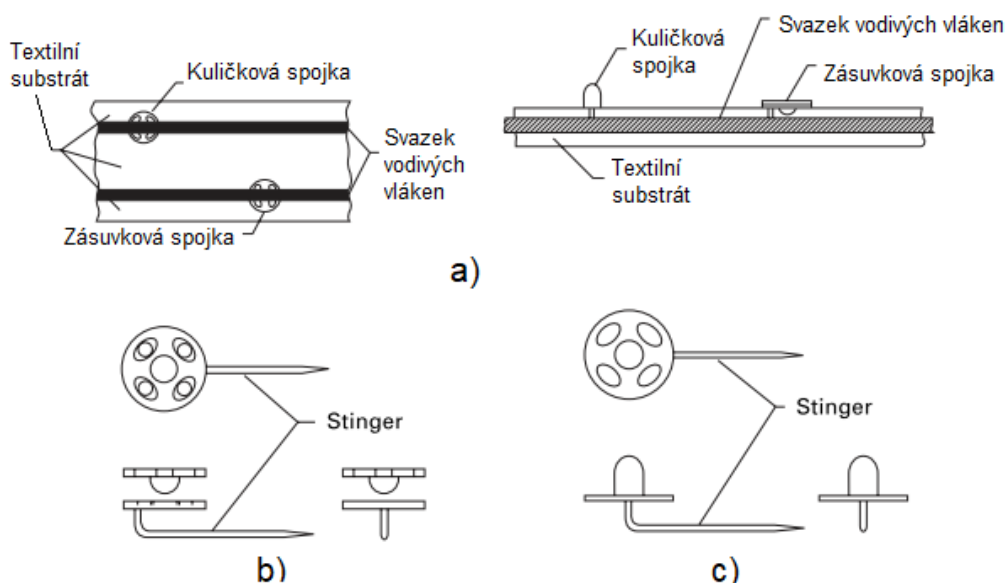
### 3.4 Konektory

Dalším druhem propojovacích struktur jsou konektory. Slouží k propojení vodivých cest s vnějšími zařízeními, jako jsou měřicí nebo řídicí jednotky apod. [6].



Obr. 3.6 Propojovací konektory na textilií (převzato z [6]).

Jako samotné konektory se používají našivací kuličkové snap spojky nebo zásuvné spojky též zvané druhy. Na obrázku 2.7 níže, je znázorněn konektor se „stingerem“ (drát ve tvaru L) připájeným ke spojce, který se zasouvá do svazku vodivých vláken [22].



Obr. 3.7 Tkané textilie s použitím vodivých svazků pro připojení konektorů. Textilní substrát s konektory z pohledu shora a v řezu – a); Zásuvná spojka – b); Kuličková spojka – b) (převzato z [22]).

Často pro propojení elektronického systému je zapotřebí složitějších spojovacích řešení. V současné době se nabízí několik funkčních komerčních řešení dostupných od společností jako Interactive Wear, Ohmatex a Clothing+. Jedním ze společných řešení pro vzájemné spojení elektronických systémů je textilní kabeláž. Textilní kabely jsou tvořeny kovovými vodiči a textilní stuhou, sloužící jako izolace. Kontakty jsou pájeny a zpracovávány tak, aby byla zajištěna mechanická ochrana [23].



Obr. 3.8 Textilní kabely jako propojovací systém a druhy konektorů (převzato z [23]).

### 3.5 Proces výroby elektrických obvodů na textilií

Základním úkolem obvodu je propojovat elektrické součástky. Mezi tyto součástky patří například odpory, cívky, kapacitory, tranzistory, senzory, aktuátory, zdroje napětí apod. E-textilie představují obrovský potenciál při vytváření nové generace flexibilních a multifunkčních textilních struktur pro mnoho různých elektronických aplikací.

Jako konvenční deska plošného spoje je v dnešní době používána vícevrstvá struktura, jejíž vodivé spoje jsou zapuštěny na izolačních podkladech. Deska plošného spoje je obvykle vyrobena ze sklolaminátové desky opatřené z jedné či častěji obou stran měděnou fólií. Tyto konvenční desky jsou flexibilní jen do určitého bodu. V mnoha aplikacích, jako jsou notebooky nebo přenosná elektronika obecně, je žádoucí, aby byly do jisté míry flexibilní. Pro vytvoření takto „pružného“ obvodu, se tisk vzorů provádí na polymerních substrátech, jako jsou filmy. Obvody založené na tkaninách nabízí výhody jako vyšší flexibilitu ve smyku a ohybu nebo lepší odolnost proti únavě materiálu při opakované deformaci [22]. Jedním z cílů bylo zajistit podobný technologický proces jak v odvětví elektroniky, tak textilu. Vyšívání se ukázalo jako jedna z vhodných metod výroby elektrického obvodu na textilií, která byla poprvé představena již kolem roku 2000. Poté vědci zkoušeli vytvořit kapacitní snímače, proměnné rezistory a kontaktování konvenčních součástek pro desky plošných spojů. K výrobě elektrického motivu na textilií jsou vhodné speciální vyšívací stroje, které ideálně podporují CAD systém [24].

#### 3.5.1 Vyšívací stroje

Na trhu s vyšívacími stroji najdeme nepřeberné množství díky tomu, že se ceny těchto strojů za posledních pár let velmi snížily, a proto jsou mnohem dostupnější pro zákazníky v kategorii hobby. Pomocí takovýchto strojů lze na textil přišívat výšivky a zdobit tak daný textil, nebo například přišívat záplatu z vodivé textilie, která poslouží jako kapacitní „tlačítko“. Při výběru vyšívacího stroje je třeba vybírat podle faktorů, jako jsou kvalita zpracování výšivky v programu, kvalitní jehly pro vyšívání, značka stroje a podobně [25].

Na trhu je možné si vybrat z několika druhů vyšívacích strojů. Na výběr je ze tří základních skupin:

- vyšívací stroje domácí,
- vyšívací stroje poloprůmyslové,
- vyšívací stroje průmyslové.

Výběr vhodného stroje záleží na uživateli, zda potřebuje vytvářet malé výšivky, vyšívat na trička a čepice, nebo zvažuje podnikání v oblasti výroby strojních výšivek [26].



Domácí (hobby) vyšívací stroje jsou vhodné pro příležitostné použití. Charakteristickými vlastnostmi je malý plochý stůl, na kterém se pohybuje rámeček s uchyceným textilním substrátem, který se hýbe podle programu vytvořeným uživatelem a pouze jednou jehlou, což má za následek, že je možné vyšívat jen jednou barvou bez výměny nitě. Pro vyšívání více barvami je nutné po vyšíání jednoho segmentu stroj zastavit a nahradit nit za jinou a následně pokračovat v procesu. Vyšívací stroje jsou v dnešní době v principu velmi podobné CNC strojům hojně využívaných ve strojírenství. Uživatel navrhne svůj vlastní vzor a následně program vybere ideální trajektorii jehly při vyšívání, kterou může uživatel též změnit, pokud ji program vybere chybně. Software přiložený k danému šicímu stroji poskytuje nejen náhled motivu, ale i přehled o spotřebě materiálu [26].



Obr. 3.9 Domácí vyšívací stroj značky BERNINA (převzato z [27]).

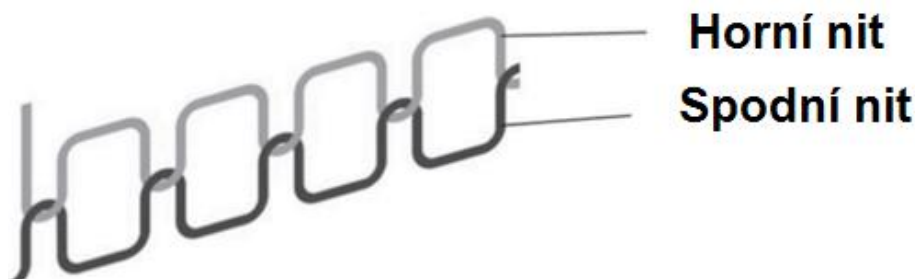
Průmyslové vyšívací stroje mají obvykle masivní a robustní konstrukci, proto je vhodné je použít v podnicích s třísměnným provozem. Mají velkou vyšívací plochu (min. 360x500 mm). Jsou vybaveny zpravidla 15 speciálními jehlami opatřenými různými povrchovými úpravami, které umožňují vytvářet strojní výšivky. Konstrukce těchto strojů je navržena tak, aby bylo možné připojit přídatné aparáty pro našívání flitrů, laserové řezání a široké spektrum upínacích elementů [26].



Obr. 3.10 Příklad průmyslového vyšívacího stroje (převzato z [26]).

### 3.5.2 Standardní vyšívání

Vyšívání je metoda, která se používá k aplikaci daného materiálu (příze nebo monofilament) na textilní substrát. Je to též jedna z nejstarších technologií pro aplikace textilních vodivých cest. Standardní vyšívací technika zahrnuje dvojitý zámkový steh, který je dvouvláknový. Typ vzoru je nejdříve vytvořen v počítači pomocí CAD systému, kde se určí přesné uspořádání obvodů a poté je kód přenesen do vyšívacího stroje. Tento proces též umožňuje nakombinovat spojení více přízí s jinými elektrickými vlastnostmi (odpor). Základní tkanina je napnutá v rámu, což zvyšuje přesnost vyšívaného vzoru a umožňuje tak přesný a předvídatelný vzor. Během procesu se rám držící tkaninu posouvá ve směru X a Y [23]. Vyšívání poskytuje určité výhody oproti pletení či tkaní. Vodivé příze nebo nitě mohou být vyšívány v jedné nebo několika vrstvách tkaniny, popřípadě mohou být vyšity na různých typech textilie v jednom kroku [9]. Výhodou je využití pro hromadnou výrobu oděvů s integrovanými textilními anténami apod. Mezi nevýhody této technologie patří fakt, že elektrická propojení jsou méně vodivá a velmi často selhávají [17].

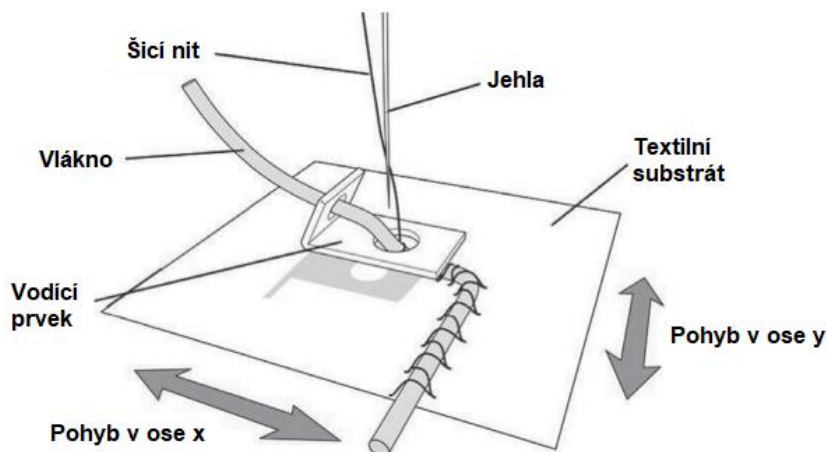


Obr. 3.11 Standardní vyšívání – dvojitý zámkový steh (převzato z [23]).

### 3.5.3 Přešívání vlákn

Metoda přešívání vlákna neboli Tailored Fibre Placement (TFP Method), je systém se třemi vlákny. Tato technika je založena na principech používaných při šití a používá se převážně v kompozitním průmyslu pro optimalizaci materiálu, aby splňoval zátěžové podmínky. Vlákn je přiloženo na textilní substrát a je připevněno horním a spodním vláknem. Při tomto procesu je možné kombinovat různá vlákna, jako například uhlíková, skelná, termoplastická keramická nebo kovová vlákna. Díky tomu má metoda TFP téměř nekonečně široké uplatnění [23].

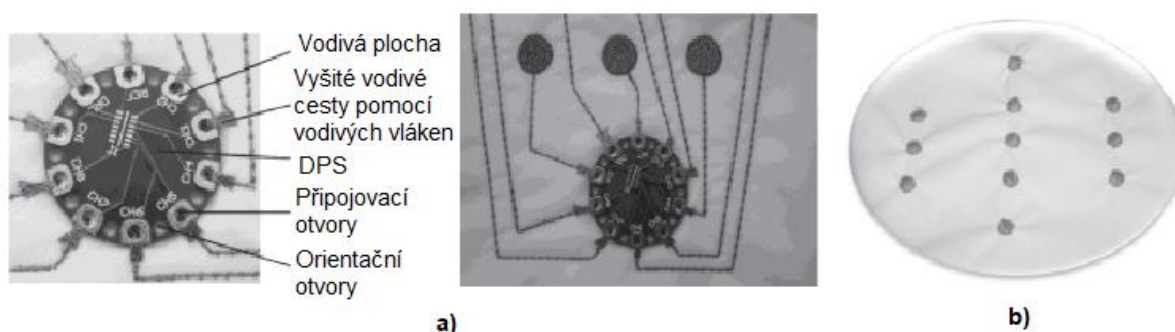




Obr. 3.12 Základní princip TFP metody (převzato z [23]).

### 3.5.4 Budoucnost vyšívání

Pomocí vyšívání lze též vytvořit textilní elektrody, které mohou měřit různé typy biosignálů, které je potřeba při EKG, EEG a EMG. Výhodou je, že uživatel téměř nemůže rozeznat, že na jeho oděvu se opravdu nachází nějaké senzory. Ty však musí být umístěny na straně textilie, kde dochází ke kontaktu s lidskou kůží a vodivé cesty musí být na straně opačné, aby bylo dosaženo maximálního pohodlí nositele a aby se minimalizoval vliv vodivých substancí, jako je například pot. V roce 2006 v Linzu, vědci vyvinuli plně integrované EKG tričko pomocí vyšívání mezispojů s vodivými přízemi a flexibilní elektronikou. Po důkladném zkoumání vědci zjistili, že spoje nejsou příliš spolehlivé. Vlivem omývání textilie, se snižuje životnost spoje, a proto je potřeba spoj ochránit. Vyvinuli proto různá řešení k zapouzdření daných kontaktů. Tím zamezili nežádoucího kontaktu s vodou. Výsledky dokazují, že kombinace místní aplikace epoxidového lepidla a následné zapouzdření horkou taveninou na vyšívání kontakt zajišťuje dobrý elektrický kontakt mezi textilií a elektronickými součástkami [23].



Obr. 3.13 Spojení DPS s textilními elektrodami textilií pomocí vyšívání – a); Vyšité elektrody na opačné straně pro kontakt s kůží – b) (převzato z [23]).

Na Západočeské univerzitě v Plzni vznikl v roce 2016 podobný projekt, kdy do textilního trička byly plně integrovány elektrody pomocí tkaní a vyšívání pro měření EKG. Elektrody byly antibakteriální, šetrné k pokožce, flexibilní a omyvatelné. Textilní elektrody

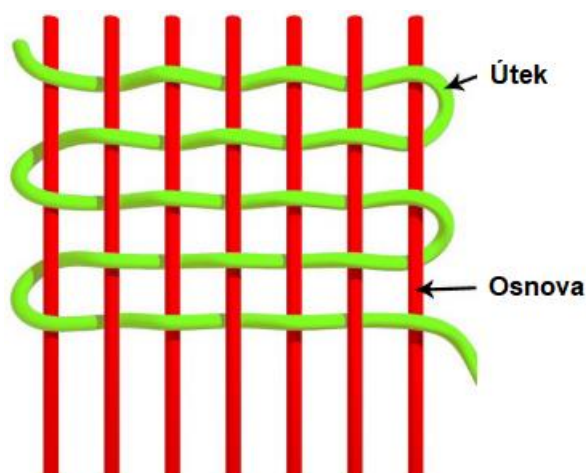
mají výhodu hlavně z hlediska pohodlí a svobody pohybu pro pacienty nebo sportovce během dlouhodobého měření. Aby bylo dosaženo co nejlepšího kontaktu s kůží, byly elektrody umístěovány na trička sportovního (funkčního) charakteru do části v podpaží, kde k lepšímu kontaktu přispívá i zvlhčování povrchu elektrod. Díky velké svalové aktivitě v této oblasti může měření probíhat pouze v klidu, proto byl umístěn další typ elektrod i po stranách hrudníku, kde je tenká pokožka na žebrech [28].



Obr. 3.14 Textilní elektrody v podpaží (převzato z [28]).

### 3.5.5 Tkaní

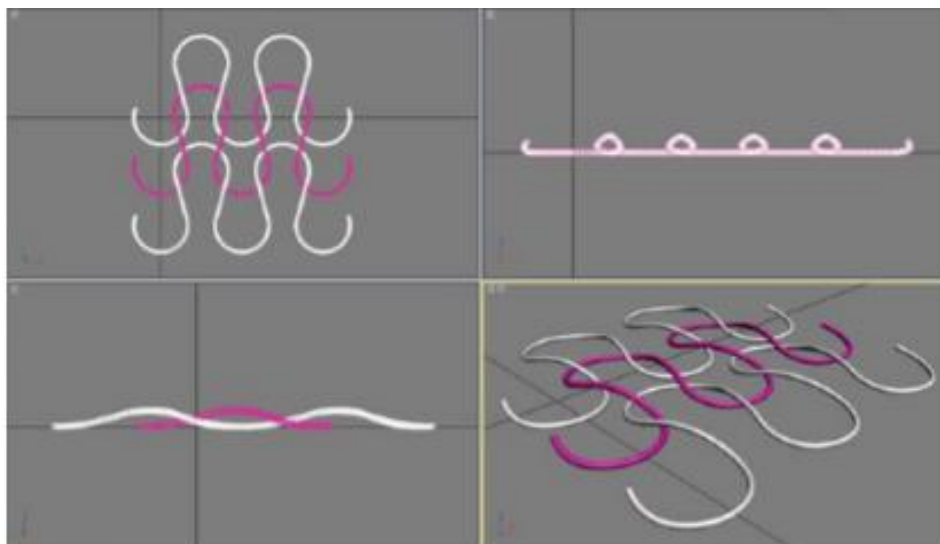
Tkané textilní struktury obsahují dvě kolmé sady nití, osnovu a útek, které vytvoří látku. Pro vytvoření Smart textilie, vlákna se vkládají podél směru útku v tkacím stroji. Osnovní nitě jsou standardní textilní nevodivé nitě. Různé tloušťky vodivých vláken nemají zvlášť velký vliv na konečné textilní vlastnosti, ale je potřeba brát v úvahu rozměr vlákna tím, že se ponechá dostatek místa v textilním materiálu pro vložení vodivého vlákna [29]. Největším problémem tkaných textilií je, že zvládnou mechanické namáhání 20-30 % původní délky, kvůli uspořádání přízí. U vodivých vláken, například u měděného drátku, lze předpokládat, že se časem a používáním zlomí [17].



Obr. 3.15 Princip tkané textilie (převzato z [17]).

### 3.5.6 Pletení

Pletené struktury se skládají ze smyček, které jsou uspořádané v řadách a sloupcích. Tvoří stehy, které vznikají tehdy, pokud jsou tři smyčky příze vzájemně propojeny, což vede ke vzniku čtyř kontaktních oblastí příze [30]. Tyto smyčky tvoří trojrozměrné uspořádání a díky tomu je pletená textilie pružnější než ostatní tkané textilie. Mezi hlavní výhody pletací technologie patří nižší cena a jednoduchá technologie [17].



Obr. 3.16 Technologie pletení (převzato z [17]).

## 4 Elektronické systémy pro Smart textilie

Pro určité aplikace je kromě samotných senzorů potřeba i řídicí jednotka a ta vyžaduje své napájení. Je potřeba najít vhodný systém, který je kompaktní, uživatelsky přívětivý, lehce pochopitelný a zvládne pomocí naprogramovaného kódu ovládat své vstupy/výstupy. Mezi takový systém patří například platforma Arduino, Raspberry Pi nebo Banana Pi.

### 4.1 Arduino

Mikrokontroler Arduino je open-sourceová elektronická jednodesková platforma, která si zakládá na jednoduchosti svého hardwaru a softwaru. Systém Arduino je schopné číst ze svých vstupů (ze senzoru světla, stlačeného spínače apod.) a přeměnit to ve výstup (rozsvítit LED diody, aktivovat servomotor, bzučák nebo využívat pulsně šířkovou umodulaci). Pomocí instrukcí (kódu), který se naprogramuje a odešle do Arduina. Používá se programovacího jazyka, který je založený na Wiring a Arduino Softwaru (IDE) [31]. Wiring je též open-sourceové prostředí (deska s mikrokontrolerem a IDE), který si zakládá na své jednoduchosti, tak aby vybízel všechny komunity od začátečníků až pro pokročilé programátory z řad studentů, designérů a výzkumných pracovníků, aby vytvářeli a sdíleli své výtvořky a zkušenosti z učení, vytváření prototypů nebo dokončené profesionální práce [32].

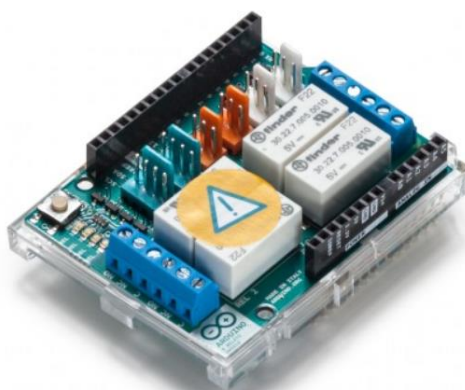
Arduino bylo vytvořeno v Ivrea Interaction Design Institute v Itálii v roce 2005 a název zakladatelé Massimo Banzi a David Cuartielles pojmenovali po významné postavě města Arduinovi Ivrejském [33]. Hlavní myšlenka pro zrození Arduina bylo vytvořit nástroj pro vytváření rychlých prototypů. Cílovou skupinou byli studenti bez programátorské praxe. Jakmile se Arduino dostalo do širší komunity, tak se začalo přizpůsobovat pro nové výzvy například pro produkty v IoT, wearables, 3D tisk a spousty dalších [31].

Desky Arduino obsahují 8bitové mikrokontrolery AVR od firmy Atmel. Italská firma Smart Projects, která je vyrábí a prodává, používá čipy ATmega8, ATmega168, ATmega328 a další. Každá deska obsahuje vstupní/výstupní piny, které jsou přístupné přes standardizované patice, díky čemuž je možné připojit další obvody. Deska dále obsahuje několik LED diod, reset tlačítko, konektor pro napájení, vlastní oscilátor a obvod pro komunikaci pro USB. Základní úroveň (Arduino Uno) poskytuje 14 vstupně/výstupních digitálních a 6 analogových pinů. Hlavní uživatelsky programovatelný mikrokontroler obsahuje bootloader, což je kód, který obstarává základní nastavení mikrokontroleru, tedy časovač, rozhraní USART a další [33].



Obr. 4.1 Nejprodávanejší verze – Arduino Uno Rev3 (převzato z [34]).

Na trhu krom hlavních desek Arduino můžeme nalézt moduly, kity a takzvané shiely. Mezi moduly patří různé senzory tlaku/plynu/vlhkosti/světla, klávesnicové moduly, gyroskopy, akcelerometry, mikrofony, reproduktory, váhové senzory, RFID čtečky atd. Kity jsou balíčky připravené jako takzvané „Startovací balíčky“ pro různě zkušené programátory. Obsahují jak základní desku Arduina, tak spoustu dalších zmiňovaných periférií. Shiely jsou elementy, které se zapojují na desku do takzvaného „sendviče“ a poskytují tak další extra funkce [35].



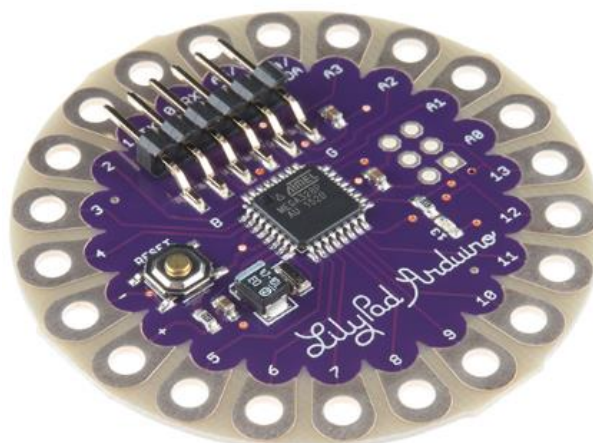
Obr. 4.2 Arduino Shield s relátkou (převzato z [36]).

Tab. 4.1 Technické parametry vybraných typů Arduina [37]

Název	Procesor	Provozní/Vstupní napětí	Paměť	Analogové vstupy/výstupy	Digitální vstup-výstup/PWM
Arduino Uno	16Mhz ATmega328	5 V / 7-12 V	2KB SRAM, 32KB flash	6/0	14/6
Arduino Due	84MHz ATSAM3X8E	3.3 V / 7-12 V	96KB SRAM, 512KB flash	12/2	54/12
Arduino Mega	16MHz ATmega2560	3.3 V / 7-12 V	8KB SRAM, 256KB flash	16/0	54/15
Arduino Leonardo	16MHz ATmega32u4	5 V / 7-12 V	2.5KB SRAM, 32KB flash	20/7	20/7

## 4.2 LilyPad Arduino

LilyPad Arduino je programovatelný mikrokontroler speciálně navržený, aby bylo velmi jednoduché ho integrovat do e-textilií. Obsahuje stejné funkce jako ostatní desky Arduina. Jeho kruhový design zabraňuje zatrhávání o textilie. Po obvodu najdeme několik vstupů/výstupů (v závislosti na konkrétním modelu) v provedení prokovených otvorů, díky čemuž je snadné je přišít k dané textilii vodivým vláknem. LilyPad používá procesory ATmega328 (nebo ATmega23U4). Nalezneme zde minimum externích komponentů, aby se zajistila co největší jednoduchost. Stejně jako u samotného Arduina zde nalezneme více druhů základních desek LilyPadu. Liší se počtem vstupů/výstupů, procesorem, druhem periferie (microUSB nebo FTDI), způsob propojení s textilií (prokovené otvory nebo snap konektory - druky) nebo zda obsahuje vlastní akumulátor. Provozní napětí je od 2 do 5 V. Stejně jako u Arduina můžeme přikoupit k LilyPadu příslušenství mezi které patří například LED diody, tlačítka, reproduktor, akcelerometr, senzor teploty a spoustu dalších, čímž se výrazně zvyšuje potenciál využití [38].

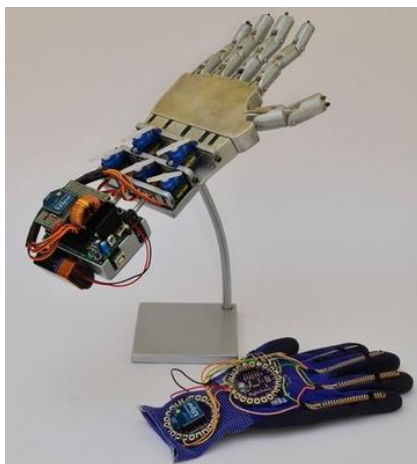


Obr. 4.3 LilyPad Arduino 328 Main Board (převzato z [38]).

Tuto nositelnou technologii vyvinula Leah Buechley v rámci svého doktorského studia v oblasti informačních technologií na Univerzitě Colorado Boulder. Komerční verze vznikla v roce 2007 jako kolaborace Leah a firmy SparkFun Electronics a dodnes je část z prodeje vrácena Leah Buechley, jako podpora pro její výzkum a vzdělání v oblasti e-textilií [39].



Za zmínku stojí projekt na dálku řízené robotické ruky pomocí rukavice, na které se nachází snímače pohybu a na základě toho je vykonán pohyb robotické ruky pomocí servomotorů. Bylo zde využito kombinace Arduina a LilyPadu dohromady.



Obr. 4.4 Na dálku ovládaná robotická ruka pomocí Arduina (převzato z [40]).

### 4.3 Raspberry Pi

Raspberry Pi je jednočipový počítač vyvinutý britskou nadací Raspberry Pi Foundation s cílem podpoření výuky informatiky ve školách. Tato nadace poskytuje terénní a vzdělávací aktivity, aby pomohli lidem dostat se blíže k digitální tvorbě a pomohli jim porozumět výpočetní technice. Primárním operačním systémem je Raspbian, ale lze nainstalovat i různé varianty Androidu či Linuxu nebo i speciální edici Windows 10 pro IoT [41]. Raspberry Pi má na trhu několik modelů na trhu, které se liší svými specifikacemi jako procesor, GPU, paměť, video výstupy či USB porty. Nejlevnější model na trhu se nazývá Raspberry Pi Zero a nejdražší Raspberry Pi Model 3 Model B+. Nespornou výhodou je jeho velikost, která odpovídá velikosti platební karty, kde výška je dána konektory. Jde tedy o takzvaný „System on a Chip“, kdy jediný čip obstarává veškerou funkcionalitu a vyžaduje minimum podpůrných obvodů

Tab. 4.2 Technické parametry vybraných typů Raspberry Pi [42]

Model	Procesor	Frekvence	RAM	USB	Graf. výstup	Cena
Raspberry Pi Zero	ARM1176JZF-S 32-bit, 1 jádro	1000 MHz	512 MB	1x microUSB	MiniHDMI	120 Kč
Raspberry Pi 2	ARM Cortex-A7 32-bit, 4 jádra	900 MHz	1 GB	4x USB 2.0	HDMI	800 Kč
Raspberry Pi 3	ARM Cortex-A53 64-bit, 4 jádra	1200 MHz	1 GB	4x USB 2.0	HDMI	800 Kč

Tuto platformu je vhodné využít jako běžný stolní počítač, domácí mediální centrum, výuka programování (využití grafického programovacího jazyku Scratch) nebo jako domácí a (malo)průmyslovou automatizaci, protože je velmi snadné připojit různé typy senzorů [42].



Obr. 4.5 Raspberry Pi 3 B+ (převzato z [43])

#### 4.4 Banana Pi

Banana Pi je jednočipový počítač velmi podobný své přímé konkurenci Raspberry Pi. Narozdíl od Raspberry Pi nabízí mnohem vyšší výkon, který zaručuje osmijádrový procesor A83T ARM Cortex-A7 v té nejvýkonější verzi Banana Pi M3. K desce lze připojit paměťovou kartu či pevný disk. Oproti Raspberry Pi má přímo napojený ethernet adaptér. Celý počítač má rozměry 90 x 60 mm a lze připojit většinu příslušenství dostupné pro Raspberry Pi. Nalezneme zde infračervený přijímač a 26 programovatelných pinů pro připojení rozšiřujících modulů a konektor pro připojení LCD dotykového panelu. Mezi dostupné operační systémy patří Linux (Banana Pi OS, Raspbian, Ubuntu a další upravené verze) a Android [44].

Tab. 4.3 Technické parametry vybraných typů Raspberry Pi [45]

Model	Procesor	Frekvence	RAM	USB	Graf. výstup	Cena
Banana Pi M3	ARM Cortex-A7 8 jader	1800 MHz	2 GB	2x USB 2.0	HDMI	2500 Kč

Tato platforma se dá využít například jako nízkospotřebové datové uložení díky přítomnosti SATA konektoru nebo sestavení počítačové sestavy s vysoký výkonem při zachování nízké spotřeby. Lze využívat i návody na projekty pro Raspberry Pi díky své podobnosti a kompatibilitě [44].



Obr. 4.6 Banana Pi M3 (převzato z [46]).



## 5 Praktická část

Pro praktickou část byl vybrán systém Arduino Lilypad, neboť je pro účely kontaktování na textilie přímo vyrobený a tomu přizpůsobený i tvar, který je zaoblený, a tudíž se nebude zadržovat o textil a výhodou je též jeho kompaktnost a způsob kontaktování k textilnímu substrátu. Poskytuje též dostatek vstupně-výstupních pinů pro účely praktické části a jeho princip funkce je jednoduchý. Další dva výše zmiňované elektronické systémy jsou pro tuto aplikaci příliš komplikované, prostorově veliké a drahé. Obsahují výkonný hardware s vysokou konektivitou, která by zůstala nevyužita. Pro složitější aplikace, které by vyžadovaly vyšší výpočetní výkon, zobrazování dat na obrazové jednotce nebo hraní složitějších tónů by byl Raspberry Pi nebo Banana Pi vhodnými adepty pro výběr.

### 5.1 Návrh výšivek

Úkolem praktické části této práce, bylo vytvořit schéma funkčního systému, který se následně vytvoří na textilním substrátu. Bylo využito zmiňované platformy Arduina ve verzích Arduino LilyPad USB Plus a Arduino LilyPad SimpleSnap. Celkem byly navrženy 3 vzorky, kde každý z vzorků byl rozdílně kontaktován a využíval rozdílné propojení. Schéma bylo navrženo v programu InkScape a následně převedeno do příslušného programu podle použité technologie, kde se výšivka upravila na požadované vlastnosti (délka stehu, ohled na spotřebu materiálu nitě nebo vodivé textilie apod.).

### 5.2 Použité vodivé nitě a substrát

Použitá vodivá nit je značky CleverTex® od společnosti VÚB a.s. Ústí nad Orlicí, se kterou Fakulta elektrotechnická spolupracuje. Použitá nit je z kategorie hybridních nití, které obsahují ultra jemná kovová vlákna v kombinaci se syntetickými filamenti (např. polyamid, polyester). Tato nit se vyznačuje velmi nízkým lineárním odporem, což je vhodné pro vodivé propojování na textilií [47]. Pro realizaci byla zvolena nit s označením 25A, která ve své struktuře obsahuje 8 mosazných drátků. Délka stehu byla zvolena 2 mm a rychlost vyšívání byla nastavena na 200 stehů/minutu z důvodu tvrdosti niti, jelikož při vyšší rychlosti hrozí její přetrhnutí.

Tab. 5.1 Vlastnosti použité nitě 25A

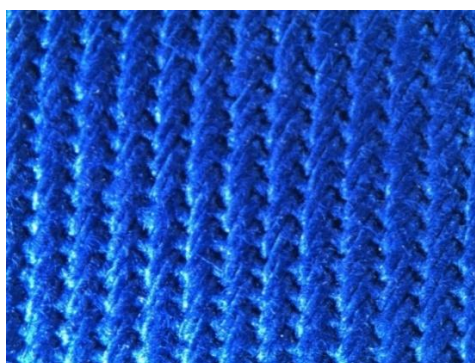
Označení nitě	Jemnost [Tex]	Počet vodivých vláken	Materiál vodivých vláken	Lineární odpor [ $\Omega/m$ ]
25A	72	8	Mosaz	8,9

Na obrázku níže se nachází detailní snímky nitě 25A pod mikroskopem, kde je lépe vidět její struktura.



Obr. 5.1 Nit 25A pod mikroskopem

Ve všech vzorcích byl jako textilní substrát použita modrá bavlněná textilie. Jedná se o 100 % bavlněnou textilii s keprovou vazbou s gramáží 155 g/m<sup>2</sup> vykazující dobrou teplotní odolnost a pevnost (čím vyšší gramáž, tím vyšší pevnost).



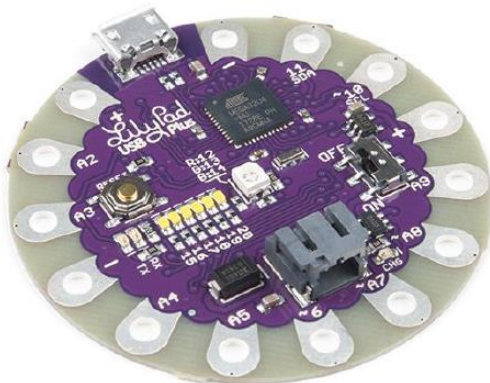
Obr. 5.2 Příklad bavlněného textilní substrátu

### 5.3 Použitý elektronický systém

Pro praktickou část byly vybrány 2 platformy Arduino LilyPad, a to LilyPad USB Plus a LilyPad SimpleSnap, přičemž se oba od sebe liší provedením a vybavením.

Arduino LilyPad USB Plus vybavený procesorem ATmega32U4 byl zvolen díky většímu počtu vstupů/výstupů než jiné verze LilyPadu. Tato verze obsahuje celkem 14 pinů, z čehož 4 jsou vyhrazeny pro připojení napájení a uzemnění příslušenství (např. LED, mikrofon) a RGB LED diodu uprostřed desky spolu se šesti bílými LED diodami vedle ní. Nespornou výhodou této verze je, že není potřeba FTDI (zařízení pro komunikaci přes USB-UART) pro napájení a naprogramování LilyPadu. Pro nahrání programu/napájení poslouží jen MicroUSB kabel.

Tato verze má taky konektor, ke kterému lze připojit Lithium-Polymerový akumulátor 3,7 V a v případě potřeby lze hlavním přepínačem desku vypnout/zapnout.



Obr. 5.3 Arduino LilyPad USB Pro (převzato [48]).

Jako výstupní systém byl vybrán LilyPad Buzzer, což je malý piezo reproduktor, který přehrává jednoduché tóny pomocí zadané frekvence. Reproduktor se svými piny (+) připojuje pinem k libovolnému pinu (např. A4 nebo 6) a (-) se spojí s pinem (-) na LilyPadu.



Obr. 5.4 LilyPad Buzzer (převzato z [49]).

V tabulce níže jsou uvedené technické specifikace.

Tab. 5.2 Technické specifikace LilyPad Buzzer [49]

Název	Specifikace
Jmenovité napětí	3,6 V
Provozní napětí	2,5 – 4,5 V
Jmenovitá frekvence	2730 Hz
Provozní teplota	-30°C – 70°C
Impedance	31 Ω

Druhý typ LilyPadu byl zvolen Arduino LilyPad SimpleSnap vybavený procesorem ATmega328. Tato verze obsahuje celkem 11 pinů, z čehož jsou 2 vyhrazeny pro připojení napájení a uzemnění příslušenství (např. LED, mikrofon). Vychází z verze Arduino LilyPad SimpleBoard, liší se pouze v provedení pinů. Nejsou zde prokovené otvory, jako u ostatních verzí, ale je zde příprava na připojení pomocí druků. Tato verze od ostatních disponuje vlastním Lithium-Polymerním akumulátorem o napětí 3,7 V, kdy lze hlavním přepínačem desku vypnout/zapnout. Nevýhodou této verze je nepřítomnost rozhraní USB jako u předchozího zmiňovaného modelu, tudíž je zde zapotřebí zařízení FTDI pro nahrání programu.



Obr. 5.5 Arduino LilyPad SimpleSnap (převzato z [50]).

#### 5.4 Realizace vzorků

Cílem praktické části bylo vytvořit funkční vzorek s elektronickým systémem, který bude imitovat funkci jednoduchého pianu. Libovolné stisknutí jedné z osmi kláves (padů), vyvolá zaznění tónu ze stupnice C-dur (c, d, e, f, g, a, h, c1). Po navržení schématu v programu InkScape se v programu Bernina Embroidery nebo CanvasWorkspace upravily cesty podle použité technologie tak, aby se ušetřila nit, popřípadě vodivá textilie. Schéma bylo navrženo s omezením velikosti použitého rámu šicího stroje (40 x 25 cm) a plochy ve které je plotter schopný vyřezávat (30 x 30 cm).

Každý vzorek byl navržen tak, aby se různě kombinoval způsob kontaktování, tedy vyšívání, pájení, lepení, termotransfer a poukázat na výhody a nevýhody jednotlivých způsobů. Každý vzorek je specifický buď způsobem kontaktování samotného LilyPadu a reproduktoru, vodivých cest ke klávesám nebo samotnými klávesami.

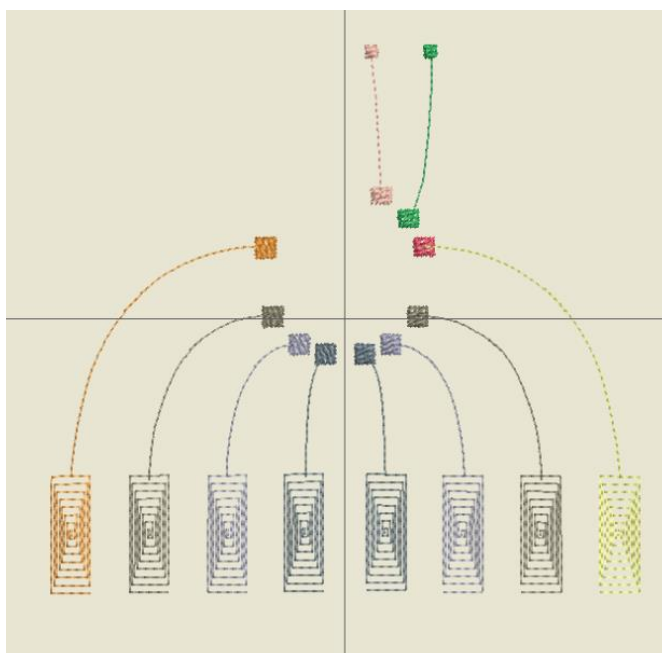
#### 5.5 Princip funkce dotykové klávesy

Pro potřeby snímání dotyku prstem na dotykové ploše byla využita výhoda open-source a byla tak použita procedura „readCapacitivePin“ navržená Mariem Beckerem a Alanem Chathamem, kterou zveřejnili online pro ostatní zkušené, ale i začínající programátory. Princip funkce je založen na elektrické vlastnosti zvané kapacitance (též kapacitní

reaktance), kdy se snímá, zda se člověk dotýká klávesy, či ne. Podobný princip bychom našli i v dotykových mobilních telefonech. Výhoda této metody je, že lze snímat jen v jednom místě dotyku. Každý vodivý materiál (např. alobal, měděný drát, lidské tělo) je schopen držet elektrický náboj, a tím, že se s tímto materiálem spojíme dotykem, jeho schopnost držet náboj zvýšíme, zvětší se tudíž i kapacitance. Díky použité proceduře měříme kapacitanci materiálu připojeného k pinu LilyPadu. Procedura na začátku měří kapacitanci vodivé dráhy a vrací hodnotu kapacitance v rozsahu 1 až 17 v závislosti jakým tlakem je sensor stisknut. V počátečním stavu je hodnota 0 až 1, což indikuje stav, kdy není nic stisknuto. Je nutné zdůraznit, že hodnota 0-17 není reálná kapacitance, slouží jen pro identifikaci, zda došlo ke stisknutí, či ne [51]. V naprogramované části se nachází funkce, kdy jsou snímány všechny využití piny a hledá se, kde je návratová hodnota z procedury větší než 1, tedy kdy byla stisknuta klávesa. Pak následuje vyvolání funkce pro zaznění příslušného tónu o své přidělené frekvenci.

### 5.5.1 Vzorek č. 1

Tento vzorek byl navržen tak, aby mohl být zhotoven pouze pomocí vodivé hybridní nitě 25A a kontaktování LilyPadu USB Plus a reproduktoru pomocí pájení. Napájení této verze je řešeno pomocí připojení USB kabelu k počítači. Při návrhu byla pozornost zaměřena na optimalizaci velikosti pájecích plošek, aby došlo k propojení s pájecí ploškou LilyPadu a vzoru kláves, kde byla zvolena obdélníková spirála o rozměrech 3 x 1 cm z důvodu výborné využití plochy, kdy se tak prst vždy dotkne velké plochy a tím je zajištěna lepší reakce na stisk klávesy.



Obr. 5.6 Navržená výšivka v programu Bernina Embroidery pro verzi s Arduino LilyPad USB Plus



Při kontaktování byl kladen důraz, aby nedošlo k přílišnému zahřátí plošky a poničení mosazných vláken. Díky většímu zastoupení vláken připájení LilyPadu proběhlo bez problému a vznikl tak spolehlivý vodivý spoj. K této jako jediné verzi byla vytvořena i kapsa, která obsahuje vrchní stranu tlačítek, které byly též vytvořeny z vodivé nitě. Do této kapsy se substrát (modrý) ukládá a přichytí pomocí suchého zipu, aby držel na místě a byl přímo pod vrchními tlačítky. Tento motiv obsahoval 2500 stehů a celková spotřeba nitě 25A byla zhruba 12 metrů.



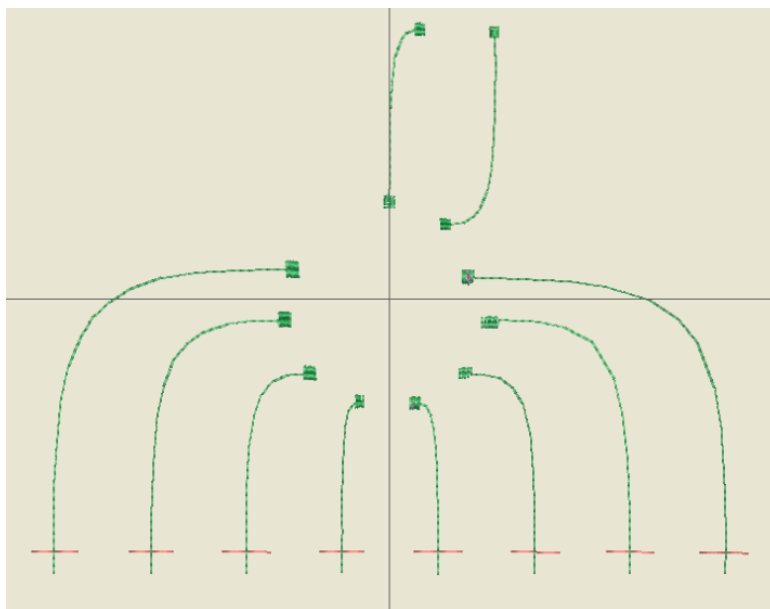
Obr. 5.7 Vrchní strana tlačítek



Obr. 5.8 Finální verze vzorku č. 1

### 5.5.2 Vzorek č. 2

Druhý vzorek byl zhotoven z vodivé hybridní nitě 25A, která posloužila pro propojení kláves, LilyPadu SimpleSnap a reproduktoru. Při návrhu byl kladen důraz na jednoduchost vytvoření, proto kontaktování LilyPadu bylo vyřešeno pomocí stiskacích knoflíků – druků, které byly přišity ručně včetně reproduktoru.

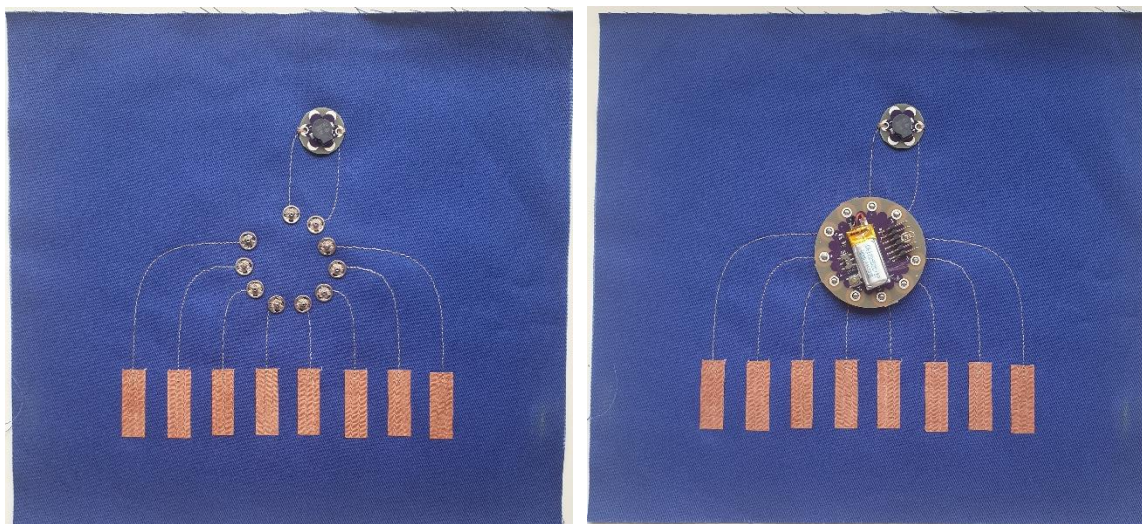


Obr. 5.9 Navržená výšivka v programu Bernina Embroidery pro verzi s Arduino LilyPad SimpleSnap

Samotné klávesy byly vyřezány z vodivé textilie Shieldex® Kassel od společnosti V Technical Textiles Inc. Jedná se o vodivou a extrémně flexibilní tkanou textilií obsahující pláty mědi. Mezi hlavní výhody tkané textilie je, že se nedá lehce přetrhnout jako netkaná textilie. Mezi nevýhody patří jednoznačně třepení hran při řezání. Tato látka byla též nařezána na rozměry 3 x 1 cm, nalepena na textilií a z malé části přešita na substrát. Tento motiv obsahoval 824 stehů a celková spotřeba nitě 25A byla zhruba 3,4 metru.

Tab. 5.3 Technické parametry vodivé textilie Shieldex® Kassel [52]

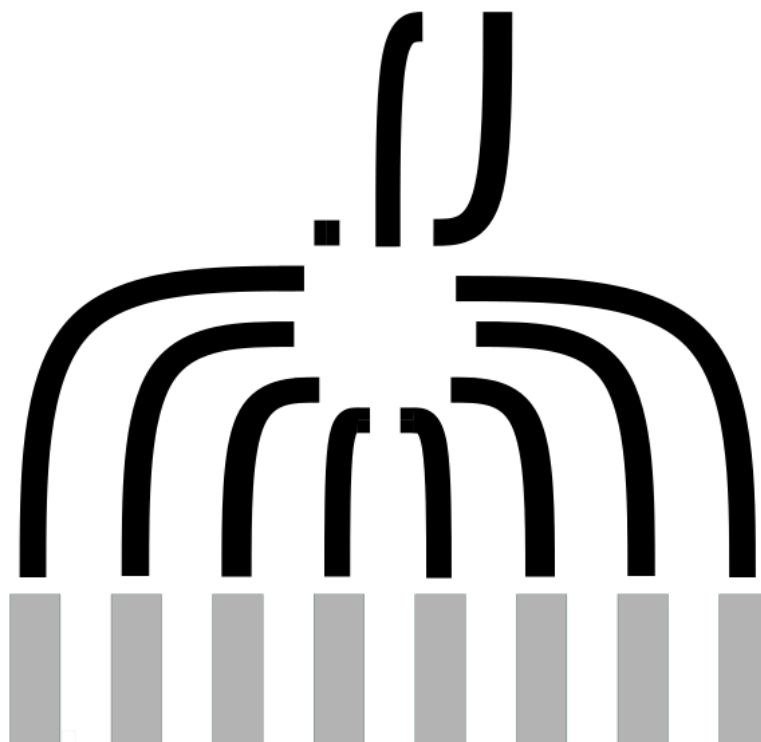
Název	Specifikace
Základní materiál	Nylon
Odolnost proti otěru	1000000 cyklů
Teplotní rozsah	-40 °C – 90 °C
Tloušťka	0,11 mm ± 10 %
Hmotnost	93 g/m <sup>2</sup> ± 12 %



Obr. 5.10 Finální verze vzorku č. 2

### 5.5.3 Vzorek č. 3

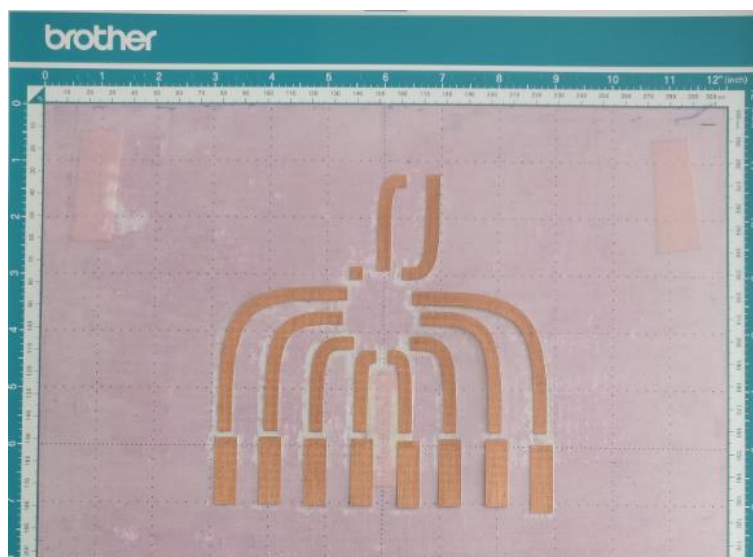
Poslední vzorek byl navržen tak, aby ho bylo možné zhotovit z vodivé textilie Shieldex® Kassel, která posloužila jako vodivé cesty i jako samotné klávesy. Zde byl opět použit LilyPad SimpleSnap společně s reproduktorem, kdy se LilyPad připojuje opět pomocí druků, které se připájely na vodivou textilií. Navržené schéma bylo importováno do programu CanvasWorkspace od společnosti Brother Industries Ltd., kde bylo modifikováno.



Obr. 5.11 Navržené schéma v programu InkScape pro verzi s vodivou textilií

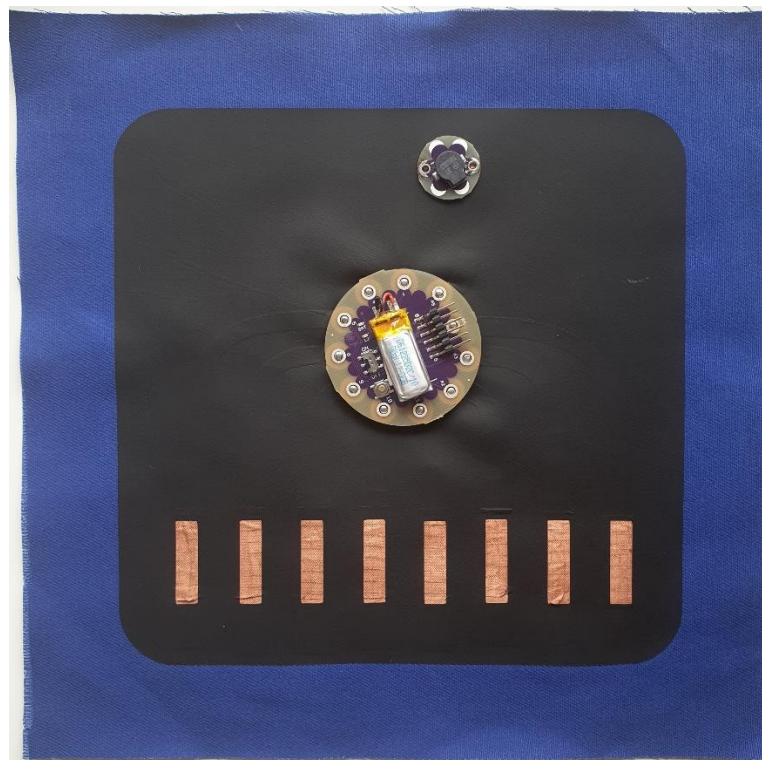


Pomocí plotteru Brother ScanNCut CM900 byl motiv zprvu překreslen fixem na substrát, což posloužilo jako vodící čáry, poté byla textilie vyřezána a uložena a nalepena na substrát.



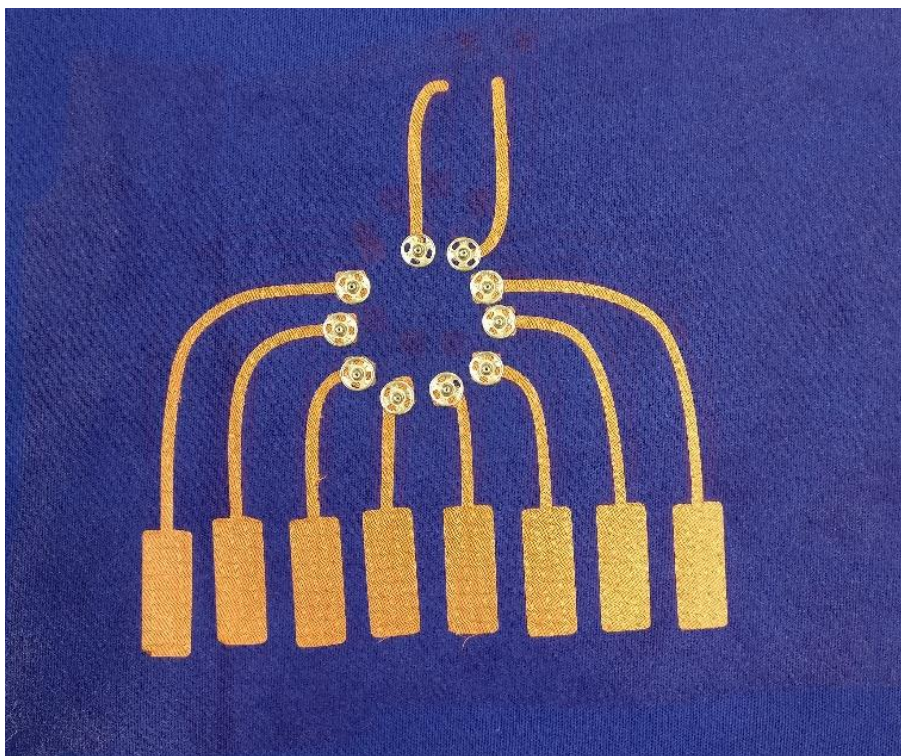
Obr. 5.12 Vyřezaná vodivá textilie plotterem

Dále byla na plotteru vyřezán motiv z fólie Premiumflex Universal od společnosti Alphasheet, která se položila na vyřezaný motiv z vodivé textilie a poté byla termotransferem přilepena na textilní substrát a tím zajistila, že se vodivá textilie nepohne a zůstane na místě. Fólie Premiumflex je vysoce kvalitní matná flexová fólie z polyuretanu o tloušťce 95  $\mu\text{m}$  se zpětnou lepivostí.



Obr. 5.13 Finální verze vzorku č. 3

Pomocí plotteru byl vyřezán další motiv, kdy klávesy byly součástí vodivé dráhy. Motiv se přenesl na fólii z lepidla, který se pomocí termotransferu zapustila do substrátu a vznikl tak přilepený motiv. Obtížnost přikládání vodivé textilie na fólii s lepidlem zapříčinila značně nepřesné přenesení na textilií a rozpuštěné lepidlo vytvořilo fleky na substrátu. Jedná se pouze o zjednodušenou „odhalenou“ verzi vzorku č. 3.



Obr. 5.14 Zjednodušená verze vzorku č. 3

## Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo seznámení se základními principy Smart textilií, jejich klasifikace a využívané technologie, pomocí kterých se realizují, následně vybrat a popsat vhodný elektronický systém, který je možné integrovat do textilií. V poslední části byl úkol navrhnout vzorek pomocí dostupných technologických procesů a ten poté realizovat.

Smart textilie by oproti konvenčnímu oblečení měly poskytovat určitou dodatečnou funkci pomocí senzorů, akčních členů nebo uživatelského rozhraní, při zachování pohodlí běžných textilií. Dělí se na základní 3 kategorie a to: pasivní, aktivní a super Smart textilie. Pasivní jsou charakteristické tím, že pouze snímají vnější podněty bez jakékoliv reakce. Aktivní dokáží identifikovat a reagovat na vnější podnět. Například změnou barvy. Super Smart textilie dokáží nejen identifikovat, reagovat, ale i predikovat budoucí stav a upravit tak svou funkci bez předběžného ladění. Své uplatnění Smart textilie našly hlavně tam, kde je potřeba sledovat životní funkce, tedy ve zdravotnictví i u vojenských složek, kde se využívá výhody diskrétního charakteru těchto textilií, kdy pacient nevnímá, že nosí zařízení snímající jeho životní funkce, například pro měření EKG. Uživatelský komfort, spolehlivost, napájení elektrických částí a omyvatelnost jsou jedny z výzev, které je třeba brát v úvahu při jejich návrhu. Dále se uplatnění našlo i v oblasti neoděvních aplikací, a to jako stínění proti elektrickým nebo magnetickým polím, zářením o různých vlnových délkách nebo jako separátor slané vody.

Mezi používané technologie patří naprašování, vyšívání, pletení, tkaní nebo sítotisk. Metoda naprašování přináší vysoce přesné a tuhé elektrické vzory vytvořené na textiliích s dobrou omyvatelností, za cenu vysoké ceny a časové náročnosti. Metoda sítotisku, která se používá již několik století, umožňuje vytvářet komplexní obvody, a to vše za nízké náklady. Nevýhoda sítotisku spočívá právě v omyvatelnosti, kdy časem může dojít k rozpuštění pasty, a tím k přerušení elektrického obvodu. Vyšívání je metoda vhodná pro hromadnou výrobu, kde se používají vodivá vlákna o různém složení (kovem obalená příze, příze s kovovým jádrem, kovové příze). Mezi výhody patří navrhování složitějších výšivek v podpůrných programech u dražších vyšívacích strojů. Problém u vodivých nití je menší vodivost a náchylnost k přetřívání. Pomocí tkaní je možné vytvořit více vrstev a umožnit tak uložení elektronických součástí, ale je zde problém s mechanickým namáháním, kdy může dojít k lámání vodivých vláken. Každá z těchto technologií má své nesporné výhody ale i nevýhody, proto je vždy nutné zvážit, jaká bude nejuvhodnější pro danou aplikaci.

Závěr práce byl věnován popsání a návržení elektronického systému imitující piano o 8 klávesách ve stupnici C-dur, realizace tří vzorků kombinující různé technologie a poukázat na jejich výhody a nevýhody. Elektronická platforma Arduino LilyPad se ukázala jako vhodný systém pro využití ve Smart textiliích z důvodu své jednoduchosti a dostupnosti na českém trhu. Obsahuje dostačující počet vstupů/výstupů pro různorodé aplikace i komponenty jako reproduktor, tlačítka, akcelerometr, LED diody a jiné. Nespornou výhodou je jeho open-sourceový formát, kde je obrovská podpora komunity při řešení problémů.

První vzorek obsahující Arduino LilyPad USB Plus, který obsahuje vyšité klávesy a byl připájen na pájecí plošky se ukázal jako nejvíce robustní z důvodu své jednoduchosti. Pájené spoje jsou velmi spolehlivé a velmi dobře vodivé, což zaručilo výbornou reakci na dotek prstem. U této verze výrobce udává, že přežije i prací cykly, čímž se zvyšuje odolnost a rozsah využití, pouze nesmí být připojena Li-Po baterie. Samotné přenesení programu bylo též jednodušší, než u ostatních modelů díky přítomnosti rozhraní microUSB, protože Arduino LilyPad SimpleSnap toto rozhraní neobsahuje, tudíž je potřeba zařízení FTDI a starší miniUSB standard, který v dnešní době není již tak rozšířený.

Druhý vzorek obsahuje již zmiňovaný Arduino LilyPad SimpleSnap, který se připojuje druky na substrát. Zde bylo použito vodivé textilie, která je přilepena a z části přešita k substrátu. Druky byly přišité ručně, což mělo za následek nedokonalý kontakt, a tak po připojení vzorku často nedošlo k detekování stisku klávesy. Samotný LilyPad se musel přitisknout k substrátu, aby byl dostatečný kontakt, pak vše fungovalo bez problému. Tato verze byla co se výroby týče o něco komplikovanější, avšak nepřinesla takové výhody. Vzhledem k možnému odpojení díky drukům lze tento vzorek vyprat díky korozivzdornosti vodivé textilie, avšak je možné, že vlivem tepla může dojít k odlepení kláves.

Poslední, třetí vzorek, vyřezaný z vodivé textilie byl ze všech nejkomplikovanější na vyhotovení, ale za to velmi spolehlivý. Na vodivé plošky z vodivé textilie se pájelo lépe než na plošky z vodivé nitě, a díky vrstvě fólie došlo ke zpevnění substrátu a je tak odolnější na mechanické namáhání. Díky dobré vodivosti vodivé textilie je reakce na dotyk okamžitá a přesná. Opět díky odolnosti fólie a přítomnosti druků je možné LilyPad odpojit a vyprat. Nevýhoda této verze je jediná, a to, že při nešetrném zacházení při rozepínání druků může dojít k odtržení druku z vodivé textilie nebo povytažení textilie pod fólií.

System Arduino LilyPad se osvědčil, že je schopný zajistit jednoduché funkce jako ovládání na dotyk a dále poskytnout výstupní signál. Nicméně je to platforma, která se neobjeví v hromadné průmyslové výrobě, zdravotnictví nebo ve velmi složitých aplikacích. Je to jakási vstupní brána do světa programování a seznámení širší populace s možnostmi a schopnostmi Smart textilií.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] SCHNEEGASS, STEFAN & AMFT, Oliver. *Smart Textiles: Fundamentals, Design, and Interaction*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG, 2017. ISBN 10.1007/978-3-319-50124-6.
- [2] MOŽNAROVÁ, Lenka. *Studie uplatnění inteligentních (Smart) textilií*. B.m., 2004. Technická univerzita v Liberci.
- [3] KOZLOVA, Anna. *Smart Clothing Classification* [online]. [vid. 2018-12-15]. Dostupné z: <https://teslasuit.io/blog/wearables/smart-clothing-classification>
- [4] ROTHMAIER, Markus, Minh LUONG, Frank CLEMENS, Markus ROTHMAIER, Minh Phi LUONG a Frank CLEMENS. Textile Pressure Sensor Made of Flexible Plastic Optical Fibers. *Sensors* [online]. 2008, **8**(7), 4318–4329 [vid. 2018-12-12]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s8074318
- [5] WANG, J.P., P. XUE a X.M. TAO. Strain sensing behavior of electrically conductive fibers under large deformation. *Materials Science and Engineering: A* [online]. 2011, **528**(6), 2863–2869 [vid. 2018-04-26]. ISSN 0921-5093. Dostupné z: doi:10.1016/J.MSEA.2010.12.057
- [6] LEVORA, Viktor. *Elektrické propojovací struktury v chytrých textiliích a jejich spolehlivost*. B.m., 2015. Západočeská univerzita v Plzni.
- [7] KOČÁRKOVÁ, Jana. *Představili jsme unikátní textilie. Mění barvu jako chameleon*.
- [8] JINLIAN, Hu. *Adaptive and Functional Polymers, Textiles and Their Applications*. B.m.: Hong Kong: Imperial College (2011), 2011. ISBN 9781908978196.
- [9] STOPPA, Matteo a Alessandro CHIOLERIO. Wearable electronics and smart textiles: A critical review. *Sensors (Switzerland)* [online]. 2014, **14**(7), 11957–11992. ISSN 14248220. Dostupné z: doi:10.3390/s140711957
- [10] *Cordis – EU research results* [online]. [vid. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://cordis.europa.eu/projects/en>
- [11] DAS, Subrata Chandra, Debasree PAUL, Mahamudul HASAN a Eanamul Haque NIZAM. Smart Textiles- New Possibilities in Textile Engineering. 2013, **2013**(November), 1–3.
- [12] RATTFALT, Linda, Michel CHEDID, Peter HULT, Maria LIND??N a Per ASK. Electrical properties of textile electrodes. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology - Proceedings* [online]. 2007, (2), 5735–5738. ISSN 05891019. Dostupné z: doi:10.1109/IEMBS.2007.4353649
- [13] VACEK, Vladimír. *Textilní elektrody pro monitorování životních funkcí*. B.m., 2014. Západočeská univerzita v Plzni.
- [14] *TextileSchool.com. Knitted fabrics and types – list of knitted fabrics* [online]. [vid. 2018-11-27]. Dostupné z: <https://www.textileschool.com/251/knitted-fabrics-and-types/>
- [15] *TextileSchool.com. Types of Woven Fabrics – universally used fabric* [online]. [vid. 2018-11-27]. Dostupné z: <https://www.textileschool.com/227/woven-fabrics-and-types/>
- [16] SARIF ULLAH PATWARY, Md Syduzzaman. Smart Textiles and Nano-Technology: A General Overview. *Journal of Textile Science & Engineering* [online]. 2015, **05**(01), 1–7. ISSN 21658064. Dostupné z: doi:10.4172/2165-8064.1000181
- [17] MOUČKOVÁ, Kateřina. *Technologie a využití smart textilií pro monitorování životních funkcí*. B.m., 2017. b.n.
- [18] KAZANI, Ilda, Carla HERTLEER, Gilbert DE MEY, Anne SCHWARZ, Genti GUXHO a Lieva VAN LANGENHOVE. Electrical conductive textiles obtained by screen printing. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. 2012, **90**(1), 57–63. ISSN 12303666.
- [19] YONGSANG KIM, HYEJUNG KIM a HOI-JUN YOO. Electrical Characterization of Screen-Printed Circuits on the Fabric. *IEEE Transactions on Advanced Packaging* [online]. 2009. ISSN 1521-3323. Dostupné z: doi:10.1109/tadvp.2009.2034536
- [20] *VÚB a.s. – Speciální textilie* [online]. [vid. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://www.vubas.cz/specialni-textilie>
- [21] SAHITO, Iftikhar Ali a Awais KHATRI. Smart and electronic textiles. *Advanced Textile Testing Techniques* [online]. 2017, (July), 295–314. Dostupné z: doi:10.1201/b21272
- [22] MATTILA, H.R. *Intelligent textiles and clothing* [online]. B.m.: Woodhead Publishing (2006), 2006. ISBN 9781845690052. Dostupné z: doi:10.1533/9781845691622.1
- [23] MECNIKA, V., K. SCHEULEN, C.F. ANDERSON, M. HÖRR a C. BRECKENFELDER. Joining technologies for electronic textiles. *Electronic Textiles* [online]. 2015, 133–153 [vid. 2018-12-06]. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-08-100201-8.00008-4
- [24] EICHINGER, George F., Kara BAUMANN, Thomas MARTIN a Mark JONES. Using a PCB layout tool to create embroidered circuits. *Proceedings - International Symposium on Wearable Computers, ISWC* [online]. 2007, 105–106. ISSN 15504816. Dostupné z: doi:10.1109/ISWC.2007.4373789



- [25] *Vyšívací stroje - jak vybrat?* [online]. [vid. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.sicistroje-shop.cz/vysivaci-stroje-jak-vybrat>
- [26] *TexExpert – Jak vybrat vyšívací stroj* [online]. [vid. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://www.tex-expert.cz/jak-vybrat-vysivaci-stroj>
- [27] *Bernina – Šicí stroje* [online]. [vid. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://www.bernina.com/cs-CZ/Stroje-CZ/Sici-stroje>
- [28] BYSTRICKÝ, Tomáš, Radek SOUKUP a Aleš HAMÁČEK. Textrody pro dlouhodobé měření EKG integrované ve Smart textiliích Textrodes for Long-term Measurement of ECG Integrated in Smart Textiles. nedatováno.
- [29] CHERENACK, Kunigunde, Christoph ZYSSET, Thomas KINKELDEI, Niko MÜNZENRIEDER a Gerhard TRÖSTER. Woven electronic fibers with sensing and display functions for smart textiles. *Advanced Materials* [online]. 2010, **22**(45), 5178–5182. ISSN 09359648. Dostupné z: doi:10.1002/adma.201002159
- [30] TENNANT, A., W. HURLEY a T. DIAS. Experimental knitted, textile frequency selective surfaces. *Electronics Letters* [online]. 2012, **48**(22), 1386. ISSN 00135194. Dostupné z: doi:10.1049/el.2012.3005
- [31] ZDERIC, Theodore W. Arduino - Introduction. *Arduino. Cc* [online]. 2019 [vid. 2019-03-12]. Dostupné z: doi:28/12/2008
- [32] *Wiring* [online]. [vid. 2019-03-21]. Dostupné z: <http://wiring.org.co/>
- [33] Wikipedia - Arduino. *11.12.2018* [online]. [vid. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Arduino#Platforma>
- [34] *Arduino. Arduino Store Home – Arduino UNO Rev3* [online]. [vid. 2019-03-21]. Dostupné z: [https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3?fbclid=IwAR0GNCdudv-ItKhE1O9fjd35y44QWQCmUw1WERT-1L4oVRicVX5\\_cqxpccHo](https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3?fbclid=IwAR0GNCdudv-ItKhE1O9fjd35y44QWQCmUw1WERT-1L4oVRicVX5_cqxpccHo)
- [35] *Arduino-shop.cz. Shield moduly* [online]. [vid. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/184-shield-arduino-raspberry-espressif/>
- [36] *Arduino. Arduino Store Home – Arduino 4 Relays Shield* [online]. [vid. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/4-relays-shield?fbclid=IwAR2m-g-cff5L04sLKibWStRikfSdgFbHB5HrzjUBR53zmOskeJhbaEKsvIs>
- [37] *Arduino. Compare board specs* [online]. [vid. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Products/Compare>
- [38] *Sparkfun – Start something. Product category – LilyPad* [online]. [vid. 2019-04-02]. Dostupné z: [https://www.sparkfun.com/products/13342?fbclid=IwAR0ECM7\\_4\\_kY8Jw8dPVcL2fZaznqix0QEwomwwxm41ax51g9py9O1wz3vWU](https://www.sparkfun.com/products/13342?fbclid=IwAR0ECM7_4_kY8Jw8dPVcL2fZaznqix0QEwomwwxm41ax51g9py9O1wz3vWU)
- [39] *Sparkfun – Start something. About LilyPad* [online]. [vid. 2019-04-02]. Dostupné z: [https://www.sparkfun.com/about\\_lilypad](https://www.sparkfun.com/about_lilypad)
- [40] *Instructables – How to Make a Remote Controlled Robotic Hand With Arduino* [online]. [vid. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://www.instructables.com/id/Wireless-Controlled-Robotic-Hand/>
- [41] *Raspberry Pi - About Us* [online]. [vid. 2019-05-31]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/about/>
- [42] VALÁŠEK, Michal. Raspberry Pi mění svět: Seznamte se s nejzajímavějším počítačem dneška. *Hospodářské noviny* [online]. 2016 [vid. 2019-05-31]. Dostupné z: <https://tech.ihned.cz/geekosfera/c1-65195330-raspberry-pi-meni-svet-seznamte-se-s-nejzajimavejsim-pocitacem-dneska>
- [43] *Raspberry Pi 3 Model B+* [online]. [vid. 2019-05-31]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>
- [44] *Banana Pi* [online]. 2019 [vid. 2019-05-31]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Banana\\_Pi](https://cs.wikipedia.org/wiki/Banana_Pi)
- [45] *Banana Pi vs Raspberry Pi – What Are the Differences? ALL3DP* [online]. [vid. 2019-05-31]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/banana-pi-vs-raspberry-pi-what-are-the-differences/>
- [46] *bpi - Banana Pi M3 Single board computer* [online]. [vid. 2019-05-31]. Dostupné z: [https://www.aliexpress.com/store/product/2GB-of-RAM-Octa-Core-BPI-M3-Banana-Pi-M3-Single-board-computer-development-board-with/302756\\_32516069517.html?spm=2114.12010608.0.0.3d3f18d6j2wOp3](https://www.aliexpress.com/store/product/2GB-of-RAM-Octa-Core-BPI-M3-Banana-Pi-M3-Single-board-computer-development-board-with/302756_32516069517.html?spm=2114.12010608.0.0.3d3f18d6j2wOp3)
- [47] *Elektricky vodivé hybridní nitě* [online]. [vid. 2019-05-09]. Dostupné z: <http://www.clevertex.cz/vodive-nite/elektricky-vod>
- [48] *Lilypad USB Plus* [online]. [vid. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/products/14631>
- [49] *LilyPad Buzzer* [online]. [vid. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/products/8463>
- [50] *LilyPad Arduino SimpleSnap* [online]. [vid. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/products/10941>

- [51] *Fabric piano - Detect key presses* [online]. Dostupné z: <http://sewelectric.org/diy-projects/5-fabric-piano/detect-key-presses/>
- [52] *V Technical Textiles Inc. Shieldex Kassel Specification Sheet* [online]. [vid. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.vtechtextiles.com/wp-content/uploads/2018/08/1300101130-Kassel.pdf>



## Přílohy

### Příloha – naprogramovaný kód přenesený do Arduino LilyPad USB Plus

```
int padC=A3;           //deklarování a přiřazení pinu k proměnné
int padD=A4;
int padE=A5;
int padF=6;
int padG=A7;
int padA=A8;
int padB=A9;
int padC1=10;

int touchValueC;      //proměnná, do které se bude ukládat hodnota přečtená ze vstupu
int touchValueD;
int touchValueE;
int touchValueF;
int touchValueG;
int touchValueA;
int touchValueB;
int touchValueC1;

int buzzerPin = 11;   //určení, na jakém pinu se nachází reproduktor
int tlacitko=0;       //proměnná, která se mění na základě stisknuté klávesy

void setup() {
  pinMode(padC,INPUT); //určení pinu jako vstup
  pinMode(padD,INPUT);
  pinMode(padE,INPUT);
  pinMode(padF,INPUT);
  pinMode(padG,INPUT);
  pinMode(padA,INPUT);
  pinMode(padB,INPUT);
  pinMode(padC1,INPUT);
  pinMode(buzzerPin, OUTPUT); //určení pinu jako výstup pro reproduktor
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  touchValueC=readCapacitivePin(padC); //do této proměnné se bude ukládat hodnota
  přečtená z pinu při stisku; využívá funkci readCapacitivePin()
  touchValueD=readCapacitivePin(padD);
  touchValueE=readCapacitivePin(padE);
  touchValueF=readCapacitivePin(padF);
  touchValueG=readCapacitivePin(padG);
  touchValueA=readCapacitivePin(padA);
  touchValueB=readCapacitivePin(padB);
  touchValueC1=readCapacitivePin(padC1);
  delay(100); //zpoždění 100ms
  if(touchValueC>1){ //zjišťování, která klávesa byla stisknuta; pokud je návratová
                    //hodnota ze vstupu je větší než jedna, klávesa byla stisknuta a
                    //určí se proměnná pro Switch()

```

```
    tlacitko=1;
  }
  if(touchValueD>1){
    tlacitko=2;
  }
  if(touchValueE>1){
    tlacitko=3;
  }
  if(touchValueF>1){
    tlacitko=4;
  }
  if(touchValueG>1){
    tlacitko=5;
  }
  if(touchValueA>1){
    tlacitko=6;
  }
  if(touchValueB>1){
    tlacitko=7;
  }
  if(touchValueC1>1){
    tlacitko=8;
  }
  else
  {
    noTone(buzzerPin); //pokud nic nebylo stisknuto, reproduktor nevydá žádný zvuk
  }
  switch(tlacitko){ //podle přiřazené hodnoty k proměnné "tlacitko" se vykoná
jednotlivý case
  case 1:
    playToneC(); //odkaz na funkci, která zahraje příslušný tón
    delay(50); //po dobu 50ms bude zahrán tón
    break;
  case 2:
    playToneD();
    delay(50);
    break;
  case 3:
    playToneE();
    delay(50);
    break;
  case 4:
    playToneF();
    delay(50);
    break;
  case 5:
    playToneG();
    delay(50);
    break;
  case 6:
```

```
    playToneA();
    delay(50);
    break;
    case 7:
    playToneB();
    delay(50);
    break;
    case 8:
    playToneC1();
    delay(50);
    break;
    default:
    noTone(buzzerPin);
    break;
}
tlacitko=0;           //anulování proměnné "tlacitko" po vykonaném tónu
}

void playToneC()      //funkce, která zahraje příslušný tón určený frekvencí
{
    tone(buzzerPin, 1046); //tone(pin kde je reproduktor,frekvence)
}
void playToneD()
{
    tone(buzzerPin, 1175);
}
void playToneE()
{
    tone(buzzerPin, 1319);
}
void playToneF()
{
    tone(buzzerPin, 1397);
}
void playToneG()
{
    tone(buzzerPin, 1568);
}
void playToneA()
{
    tone(buzzerPin, 1760);
}
void playToneB()
{
    tone(buzzerPin, 1976);
}
void playToneC1()
{
    tone(buzzerPin, 2093);
}
```

//Tato část kódu byla vytvořena Mariem Beckerem a Alanem Chathamem a poskytnuta veřejnosti

//Funkce na vstupu měří kapacitanci a přiřadí jí hodnotu 0-17. V počátečním stavu má hodnotu 0-1

//a při stisku se hodnota zvětší. Stačí tedy kontrolovat, kdy bude proměnná větší než 1 a tím zjistíme, zda byla stisknuta klávesa

```
#include "pins_arduino.h"           //Arduino pre-1.0 potřebuje tuto knihovnu
uint8_t readCapacitivePin (int pinToMeasure) {
    //Proměnné použité pro překlad pinů Arduina na AVR

    volatile uint8_t* port;
    volatile uint8_t* ddr;
    volatile uint8_t* pin;

    //Zde se překládají piny vstupů z Arduina na AVR
    port a maskují se bity, které nás zajímají

    byte bitmask;
    port = portOutputRegister(digitalPinToPort(pinToMeasure));
    ddr = portModeRegister(digitalPinToPort(pinToMeasure));
    bitmask = digitalPinToBitMask(pinToMeasure);
    pin = portInputRegister(digitalPinToPort(pinToMeasure));
    //Vybijeme pin tím, že nastavíme hodnotu "low"

    *port &= ~(bitmask);
    *ddr |= bitmask;
    delay(1);

    //Uděláme z pinu vstup s interním "pull-upem"

    *ddr &= ~(bitmask);
    *port |= bitmask;

    //Toto ruční "odvíjení" smyčky snižuje počet cyklů hardwaru mezi každým čtením pinu,
    čímž se zvyšuje citlivost.
    uint8_t cycles = 17;
    if (*pin & bitmask) { cycles = 0;}
    else if (*pin & bitmask) { cycles = 1;}
    else if (*pin & bitmask) { cycles = 2;}
    else if (*pin & bitmask) { cycles = 3;}
    else if (*pin & bitmask) { cycles = 4;}
    else if (*pin & bitmask) { cycles = 5;}
    else if (*pin & bitmask) { cycles = 6;}
    else if (*pin & bitmask) { cycles = 7;}
    else if (*pin & bitmask) { cycles = 8;}
    else if (*pin & bitmask) { cycles = 9;}
    else if (*pin & bitmask) { cycles = 10;}
    else if (*pin & bitmask) { cycles = 11;}
    else if (*pin & bitmask) { cycles = 12;}
    else if (*pin & bitmask) { cycles = 13;}
    else if (*pin & bitmask) { cycles = 14;}
    else if (*pin & bitmask) { cycles = 15;}
    else if (*pin & bitmask) { cycles = 16;}
```

```
// Discharge the pin again by setting it low and setting
//Znovu vybití pinu a nastavení jako výstupu.
*port &= ~(bitmask);
*ddr |= bitmask;

return cycles;
}
```