

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra technologií a měření**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Ovládací prvky integrovatelné do textilií**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Stanislav Josef MAŠEK**  
Osobní číslo: **E17N0016P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Ovládací prvky integrovatelné do textilií**  
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Prostudujte problematiku smart textilií se zaměřením na integrované ovládací prvky.
2. Proveďte literární rešerši ovládacích prvků. Diskutujte jejich výhody a nevýhody z hlediska jejich integrace do textilií.
3. Vyberte ovládací prvky, které jsou vhodné z hlediska jejich integrace do textilních výrobků.
4. Navrhněte textilní ovládací prvky a realizujete demonstrátor s ohledem na jeho dlouhodobou spolehlivost a odolnost vůči pracovním cyklům.
5. Kriticky zhodnoťte navržené řešení.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Mattila, H.R.: Intelligent textiles and clothing, 2006
2. Schneegass, S.: Smart textiles - Fundamentals, Design and Interaction, 2017
3. elektronické informační zdroje

Vedoucí diplomové práce: Ing. Daniela Moravcová, Ph.D.

Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: 5. října 2018

Termín odevzdání diplomové práce: 30. května 2019

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



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

V Plzni dne 5. října 2018

## **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce poskytuje přehled současného stavu v oblasti smart textilií se zaměřením na ovládací prvky. V teoretické části jsou ovládací prvky rozděleny do kategorií podle principu jejich činnosti a následně jsou popsány možnosti jejich integrace. Součástí teoretické části práce je rovněž přehled na trhu dostupných sad ovládacích prvků uzpůsobených pro jejich integraci do textilií.

Praktická část práce se zabývá návrhem, výrobou, testováním a následnými úpravami demonstrátoru ovládacích prvků s ohledem na jeho dlouhodobou spolehlivost a odolnost vůči pracovním cyklům se snahou o co nejvyšší stupeň integrace.

## **Klíčová slova**

Chytré textilie, elektronické textilie, ovládací prvky, textilní tlačítka, kapacitní tlačítka, stupeň integrace, textilní senzory, textilní aktuátory

**Abstract**

This diploma thesis provides an overview of the current state in the field of smart textiles with focus on control elements. In the theoretical part, the controls are divided into several categories according to the principle of their activity and subsequently described the possibilities of their integration. The theoretical part of the work is also an overview of available sets of control elements on the market adapted for their integration into textiles.

The practical part of the thesis deals with the design, production, testing and subsequent modifications of the control elements demonstrator with regard to its long-term reliability and resistance to washing cycles with the aim of the highest degree of integration.

**Key words**

Smart textiles, electronic textiles, controls for textiles, capacitive buttons, level of integration, textile sensors, textile actuators and textile buttons

## **Prohlášení**

Předkládám k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma Ovládací prvky integrovatelné do textilií vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu použité literatury, jenž je součástí této diplomové práce.

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

V Plzni dne 27. 5. 2019

Bc. Stanislav Josef Mašek

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce Ing. Daniele Moravcové, Ph.D. za profesionální vedení práce, cenné rady, čas a ochotu, jež mi věnovala při řešení dané problematiky. Dále bych chtěl poděkovat Doc. Ing. Janu Řebounovi, Ph.D. za věcné připomínky a odborné rady a Ing. Jiřímu Čengerymu, Ph.D. za pomoc s návrhem DPS. Mé poděkování patří také mojí rodině a blízkým přátelům za jejich podporu během studia.

# Obsah

<b>Seznam symbolů a zkratek.....</b>	<b>11</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>12</b>
<b>1. Smart textilie.....</b>	<b>13</b>
1.1 Členění smart textilií.....	14
1.1.1 Pasivní smart textilie.....	15
1.1.2 Aktivní smart textilie.....	15
1.1.3 Velmi inteligentní textilie.....	15
1.2 E-textilie.....	16
1.3 Aplikace smart textilií.....	18
1.3.1 Zdravotnictví – telemedicína.....	18
1.3.2 Obrana a ochrana.....	19
1.3.3 Sport a zábava.....	20
1.3.4 Móda a mobilní technologie.....	22
<b>2. Ovládací prvky.....</b>	<b>24</b>
2.1 Senzory.....	25
2.1.1 Odporové senzory.....	26
2.1.2 Indukční senzory.....	28
2.1.3 Kapacitní senzory.....	29
2.1.4 Optické senzory.....	30
2.1.5 Piezoelektrické senzory.....	30
2.2 Řídící jednotky.....	31
2.2.1 Mikrokontroléry a integrované obvody.....	31
2.2.2 Komunikační jednotky.....	33
2.2.3 Antény.....	33
2.2.4 Zdroje energie.....	34
2.3 Akční členy.....	39
2.3.1 Vyhřívané textilie.....	39
2.3.2 LED integrované ve vláknech.....	40
2.3.3 Displeje.....	41
2.4 Základní parametry pro výběr vhodných ovládacích prvků.....	41
<b>3. Na trhu dostupné sady ovládacích prvků.....</b>	<b>42</b>
3.1 LilyPad.....	42



3.1.1	Základní deska LilyPad .....	42
3.1.2	LilyPad moduly s LED .....	44
3.1.3	LilyPad výstupní zařízení .....	45
3.1.4	LilyPad vstupní zařízení a senzory .....	45
3.1.5	LilyPad napájení .....	46
3.1.6	LilyPad speciální desky .....	47
3.2	FLORA .....	48
3.2.1	Základní deska FLORA .....	48
3.2.2	FLORA moduly s LED .....	48
3.2.3	FLORA senzory a další moduly .....	49
3.3	SquareWear .....	51
3.3.1	SquareWear RGB panel .....	52
3.4	Intel Edison .....	52
3.4.1	Intel Edison Kit .....	53
3.4.2	Rozšiřující kity .....	53
3.5	Xadow .....	54
3.5.1	Xadow rozšiřující moduly .....	55
3.6	BITaliano .....	56
3.6.1	Základní deska BITaliano .....	57
3.6.2	Rozšiřující moduly BITaliano .....	57
3.7	Igloo .....	58
3.7.1	Základní deska Igloo .....	58
3.7.2	Rozšiřující moduly Igloo .....	58
3.8	Zhodnocení obchodně dostupných modulů .....	59
<b>4.</b>	<b>Praktická část – demonstrátor ovládacích prvků .....</b>	<b>60</b>
4.1	Koncept LilyPad – tlačítka + LED .....	61
4.1.1	Integrace na textilií .....	61
4.1.2	Programování řídicí jednotky .....	62
4.1.3	Zhodnocení demonstrátoru LilyPad .....	62
4.2	Kapacitní tlačítka .....	63
4.2.1	Princip kapacitních tlačítek .....	63
4.3	Textilní kapacitní tlačítka .....	64
4.4	Textilní tlačítka – verze 1.1 .....	64
4.4.1	Vnější vrstva .....	64
4.4.2	Vnitřní vrstva .....	66

4.4.3	<i>Kontaktování</i> .....	67
4.4.4	<i>Zhodnocení verze 1.1</i> .....	67
4.5	Textilní tlačítka – verze 1.2 .....	68
4.5.1	<i>Zhodnocení verze 1.2</i> .....	69
4.6	Textilní tlačítka – verze 1.3 .....	69
4.6.1	<i>Zhodnocení verze 1.3</i> .....	70
4.7	Textilní tlačítka – verze 2.1 .....	70
4.7.1	<i>Návrh řídicí jednotky</i> .....	70
4.7.2	<i>Osazení a pájení řídicích jednotek</i> .....	72
4.7.3	<i>Úprava designu vyšívaného vzoru</i> .....	72
4.7.4	<i>Osazení a kontaktování</i> .....	73
4.7.5	<i>Zhodnocení verze 2.1</i> .....	73
4.7.6	<i>Demonstrátor textilních tlačítek</i> .....	74
4.8	Textilní tlačítka – verze 2.2 .....	75
4.8.1	<i>Zhodnocení verze 2.2</i> .....	76
4.8.2	<i>Porovnání kapacity dotykových ploch</i> .....	76
4.9	Textilní tlačítka – verze 3.1 .....	77
4.10	Textilní tlačítka – verze 4.1 .....	78
<b>5.</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>79</b>
	<b>Použitá literatura</b> .....	<b>81</b>
	<b>Přílohy</b> .....	<b>i</b>

## Seznam symbolů a zkratek

BERNINA SW	BERNINA Embroidery Software V7
BLE	Bluetooth s nízkou spotřebou (Bluetooth Low Energy)
C [F]	Kapacita
C <sub>1</sub> - C <sub>5</sub>	Označení kondenzátorů paralelní kapacity na řídicí jednotce
C <sub>F</sub> [F]	Přídavná kapacita
C <sub>P</sub> [F]	Parazitní kapacita nosné desky kapacitních tlačítek
d [m]	vzdálenost elektrod
DPS	Deska plošných spojů
EEG	Elektroencefalografie
EKG	Elektrokardiografie
EMG	Elektromyografie
GND	Potenciál země
I/O	Vstup/výstup (Input / Output)
I <sup>2</sup> C	Typ počítačové sériové sběrnice
IO	Integrovaný obvod
IoT	Internet věcí (Internet of Things)
LED	Elektroluminiscenční dioda (Light-Emitting Diode)
LFP	Označení flexibilní katody
Li-Pol	Lithium-polymer
LTO	Označení flexibilní anody
MCU	Jednočipový počítač (Mikrokontrolér)
MHD	Městská hromadná doprava
MRI	Magnetická rezonance
OUT <sub>1</sub> - OUT <sub>4</sub>	Označení výstupů pro dotykové plochy
PES	Polyester
PET	Polyethylentereftalát
PTFE	Polytetrafluorethylen
PU	Polyuretan
PVDF	Polyvinylidenfluorid
R <sub>1</sub> - R <sub>4</sub>	Označení odporů na řídicí jednotce
RICE	Regionální inovační centrum elektrotechniky
S [m <sup>2</sup> ]	Plocha kapacitní elektrody
SW	Software
TEG	Termoelektrický generátor
TENG	Triboelektrický nanogenerátor
U <sub>CC</sub> [V]	Napájecí napětí
USD [Š]	Americký dolar
ε <sub>0</sub> [Fm <sup>-1</sup> ]	Permitivita vakua (konstanta o hodnotě 8,854 x 10 <sup>-12</sup> Fm <sup>-1</sup> )
ε <sub>r</sub> [-]	Relativní permitivita materiálu

## Úvod

Integrace elektronických prvků do textilií zažívá v posledních letech velký rozmach. Textilie zasahují do širokého množství oborů lidské činnosti a s rozvojem smart technologií a nositelných technologií, je snahou do nich co nejvíce integrovat elektroniku tak, aby si i přesto zachovaly své základní vlastnosti. Syntézou elektroniky a textilií vznikají elektronické textilie (e-textilie), které jsou v posledních letech na vzestupu a mnoho institucí a společností se zabývá jejich dalším vývojem, aby se mohly stát každodenní součástí našeho života. Vznikají textilní systémy schopné snímat životní funkce lidí, okolní prostředí, světelné systémy pro zvýšení bezpečnosti a také například textilní systémy pro vyhřívání. Elektronické textilní systémy jsou též vytvářeny pro oblast módního designu, sportu případně hraní her.

Cílem této diplomové práce je seznámit se s problematikou smart textilií a jejich rozdělením a možnostmi jejich využití. Tím se zabývá první kapitola práce. Druhá kapitola se zaměřuje na ovládací prvky a jejich integraci do textilií se zaměřením především na třetí stupeň integrace. Třetí kapitola podává přehled na trhu dostupných ovládacích prvků, které jsou uzpůsobeny k integraci do textilií a jsou součástí komerčně nabízených sad.

Praktická část diplomové práce se zaměřuje na návrh, realizaci a optimalizaci funkčního demonstrátoru ovládacích prvků s ohledem na jeho dlouhodobou spolehlivost a odolnost. V prvním návrhu demonstrátoru je využito vybraných komerčně dostupných ovládacích prvků, v dalších verzích je navrženo vlastní řešení, aby bylo dosaženo vyššího stupně integrace a odolnosti. Tímto řešením jsou textilní kapacitní tlačítka, vyšitá především vodivou hybridní nití, která jsou schopna spolehlivě nahradit konvenční tlačítka.

## 1. Smart textilie

Smart textilie, česky inteligentní textilie, je souhrnný název pro textilní produkty a aplikace, které rozšiřují funkčnost a užitečnost konvenčních tkanin tak, aby zpříjemňovaly život lidem. To především na základě schopnosti reagovat předem stanoveným způsobem na vnější podněty (mechanické, chemické, elektrické apod.). Může se jednat například o vylepšení termoregulace, odvod vlhkosti, ale také o snímání EKG, dýchání či tělesnou teplotu. Díky tomu v sobě smart textilie spojují množství vědních oborů, jako fyzika, chemie, farmacie, informatika či elektrotechnika a pro vznik komplexního řešení je nutná synergie těchto oborů. [1] [2]

Tato práce se zabývá především integrací elektroniky do textilií. Toto spojení tvoří podskupinu inteligentních textilií, která se nazývá e-textil a je v poslední době na strmém vzestupu díky rychlému vývoji elektroniky a internetu věcí (IoT) a vznikají velmi zajímavé aplikace, které nejen zlepšují sociální blahobyt lidem, ale také jim mohou být nápomocny při výkonu povolání (obr. 1), hlídat životní funkce, případně zvyšovat bezpečnost uživatelů díky aktivnímu osvětlení (obr. 2). [3]



Obr. 1 – Hasičský oblek s různými senzory [4]

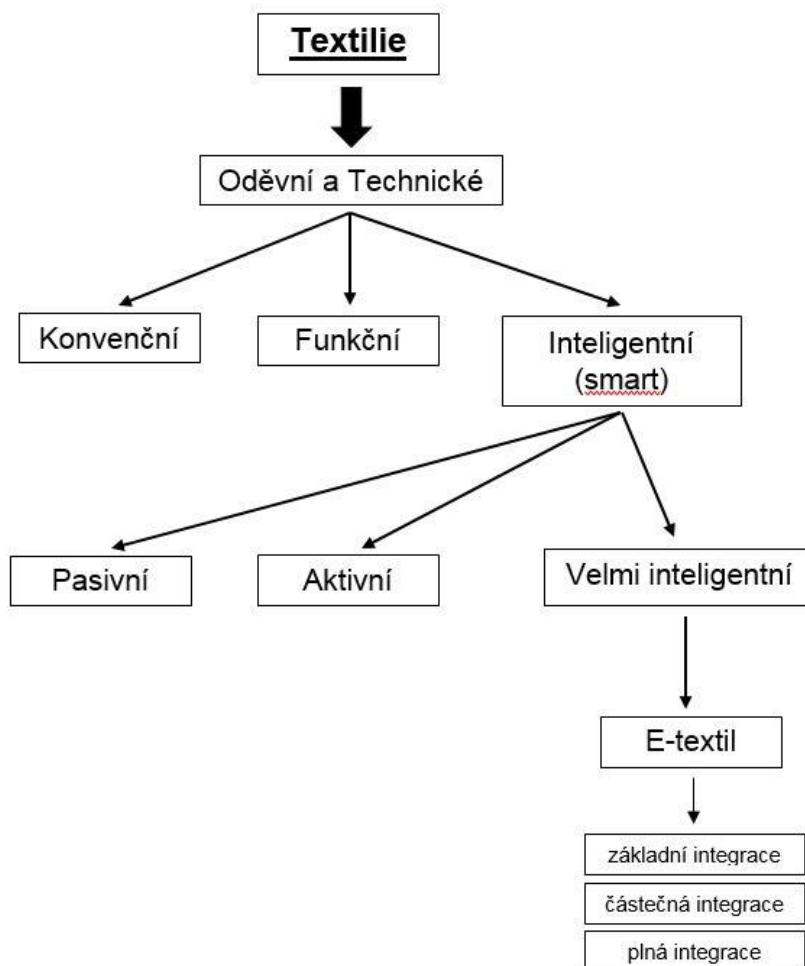


Obr. 2 – Cyklistická bunda s osvětlením [5]

## 1.1 Členění smart textilií

Vzhledem k tomu, že odvětví inteligentních textilií je relativně nové, není ustálena norma pro názvosloví a různé publikace definují pojem chytré textilie a jejich rozdělení do podkategorií s menšími rozdíly. Pro přehlednost je v této práci uvedeno rozdělení, na které bude dále odkazováno (obr. 3).

Textilie lze obecně rozdělit na oděvní a technické. Každá z těchto kategorií může být dále rozdělena do tří podkategorií, a to na konvenční, funkční a smart, neboli inteligentní. Smart textilie lze na základě reakce na vnější podněty rozdělit do tří skupin. Na pasivní, aktivní a velmi chytré. Do velmi chytrých textilií patří již zmíněné e-textilie, kterými se podrobně zabývá kapitola 1.2. [2] [6]



Obr. 3 – Rozdělení textilií (vytvořeno dle [2][6][7])

### 1.1.1 Pasivní smart textilie

Pasivní inteligentní textilie jsou pouhými senzory citlivými na vnější podněty. Nedokáží s nimi však pracovat nebo na ně reagovat. Jinými slovy nedokáží například sami měnit změřenou veličinu na jinou. Do této skupiny patří řada textilií, které fungují jako indikátory, ochranné oblečení proti UV záření, antistatické látky, balistická ochrana apod. [1] [8]

### 1.1.2 Aktivní smart textilie

Aktivní smart textilie obsahují jak senzory, tak i akční členy. Díky tomu jsou schopné poznat změnu vnějších podnětů a automaticky přizpůsobit svoji funkčnost změněnému prostředí. Reakce na změnu je vratná a vždy stejná. Do aktivních textilií patří mj. materiály, které mají tvarovou paměť, jsou chameleonické, vodotěsné nebo například látky schopné absorbovat vodní páru. [1] [6] [8]

### 1.1.3 Velmi inteligentní textilie

Ultra smart textilie, česky velmi chytré textilie umožňují snímat, reagovat a přizpůsobovat se okolnímu prostředí nebo podnětům. Oproti předchozím obsahují navíc prvek, který funguje jako mozek, jenž si osvojuje okolní podmínky a na základě tohoto poznání přizpůsobuje chování samotné textilie. [1] [6] [8]

Výroba velmi chytrých textilií vznikla díky úspěšnému spojení tradiční textilní výroby s dalšími vědními obory, jako materiálové inženýrství, technologie komunikací, elektrotechniky aj. Díky tomuto propojení spolu s miniaturními elektronickými součástkami mohou vznikat další velmi užitečné textilie. Ať už jsou to oděvy pro běžné nošení, oděvy pro kosmonauty, piloty nebo velmi chytré textilie pro technické účely například do automobilů. [6] [9] [10]

Avšak jiné rozdělení uvádí zpráva IPC-WP-024<sup>1</sup> vydaná organizací IPC (The Institute of Printed Circuit) v srpnu 2018. Ta dělí smart textilie pouze do dvou kategorií, a to na **pasivní** a **aktivní**. Podle tohoto standardu jsou pasivní inteligentní textilie takové, které mění vlastnosti podle změn okolního prostředí a neobsahují elektronická řídicí zařízení. Naproti tomu aktivní inteligentní textilie jsou opatřeny elektronikou. Mají čidla, pomocí nichž mohou detekovat signály z okolního prostředí (teplotu, intenzitu světla aj.) a tyto signály přenášet do centrální řídicí jednotky, která vykoná definované rozhodnutí a předá informaci do akčního členu. Tím mohou být textilní displeje, mikro-vibrační zařízení, LED apod. Centrální řídicí jednotka může být vestavěna v textilní struktuře, pak se jedná o lokální řízení, nebo může být textilní aplikace napojena například na IoT a data jsou pak odesílána ke zpracování bezdrátově mimo textilní aplikaci. [11]

## 1.2 E-textilie

Elektronické textilie jsou typ tkaniny či pleteniny, který obsahuje elektronické prvky. Jejich vývoj podporuje myšlenku integrace počítačů a elektronických zařízení do oděvů nebo látek pro technické účely. Tato myšlenka pochází z konce 20. století, kdy se jí zabývaly různé akademické týmy v čele s MIT (Massachusettský technologický institut), a to převážně v rámci vojenských projektů. [3]

V současné době zažívají e-textilie exponenciální růst a vývoj je v této oblasti velmi rychlý. Díky implementaci elektroniky a elektronických zařízení získávají textilie spoustu nových funkcí, jako je vyhřívání, snímání životních funkcí, monitorování plynů a vlhkosti, zvýšení bezpečnosti uživatele a mnoho dalších. [9] Tyto funkce jsou vždy navrženy pro specifické aplikace a pro konkrétní požadavky. Odhady tvrdí, že trh s inteligentními textiliemi dosahuje celosvětově 1,6 až 2,9 miliardy amerických dolarů. [12]

Hlavní složkou e-textilií jsou senzory pro snímání parametrů z měřeného prostředí. Jsou to mj. snímače kapacity, odporu, relativní vlhkosti, tlaku. Tyto senzory jsou pomocí vodivých cest, realizovaných například vodivými nitěmi, připojeny k řídicím jednotkám, které obsahují mikroprocesor zpracovávající získaný signál. Dále mohou obsahovat přijímač a vysílač pro komunikaci s dalším zařízením například přes rozhraní WiFi nebo Bluetooth.

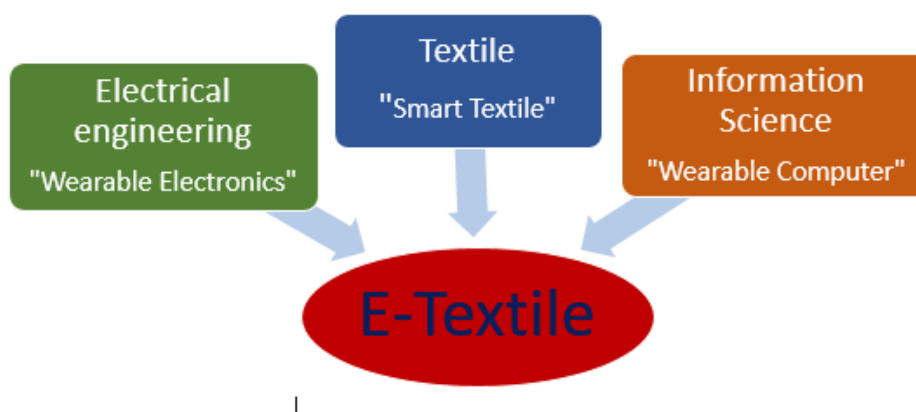
---

<sup>1</sup> Zkratka IPC-WP-024 je označení pro tzv. white paper, tedy autoritativní zprávu o spolehlivosti a omyvatelnosti inteligentních textilních struktur vydaný organizací IPC



Když řídicí jednotka signál zpracuje, buď odešle data k dalšímu externímu zpracování, nebo předá informaci nějakému akčnímu členu umístěnému na textilií (např. LED). Všechny e-textilie potřebují ke svému fungování nějaký zdroj energie. Tím mohou být jednak odpojitelné baterie, flexibilní fixní baterie, které jsou odolné vůči pracím cyklům, nebo lze jako zdroj energie využít princip energy harvesting<sup>2</sup>. [7]

Z výše zmíněného je zřejmé, že e-textilie v sobě spojují kromě klasického oboru textilií i obory elektrotechniky a informatiky (obr. 4). E-textilie jsou de facto látky, které mohou elektricky fungovat jako elektronika a fyzicky se chovají jako textilie. Snahou výzkumníků je vytvořit takové zařízení, které bude stejně měkké, pohodlné a flexibilní jako tradiční textil. [3] [12]



Obr. 4 – Vývoj e-textilií [12]

Samotnou integraci elektroniky lze realizovat v několika stupních. Prvním stupněm je vyrobit oděv nebo technický textil a k němu přichytit jednotlivé komponenty (například DPS) a propojit je pomocí drátků také přichycených na látku. Tento způsob se nazývá **základní integrace**. Druhý stupeň – **částečná integrace**, je vytváření vodivých struktur a cest pomocí vodivých nití, případně mohou být vodivé cesty v látce již z výroby. Zároveň však na látku umístíme elektronické součástky vyrobené klasickými cestami (LED, mikroprocesor, aj.). Třetím stupněm integrování elektroniky do textilu je **plná integrace**. V tomto stupni jsou již všechny součástky plně integrovány do látky. [7] [13]

<sup>2</sup> Energy harvesting = princip získávání energie z okolního prostředí (teplota, mechanické namáhání, aj.)

### 1.3 Aplikace smart textilií

Oblast aplikací smart textilií je mimořádně široká a rozmanitá. Rozvíjí se v oblasti biomedicíny, ochranného a sportovního oblečení a dostává se i do módních oděvů. Aplikace se neomezují pouze na oblečení, ale rozšiřují se i do dalších oborů lidské činnosti. Uplatnění najdou mj. ve stavebnictví, v automobilech, v letadlech či robotice. Vzhledem k mimořádné pestrosti aplikací, kde se lze se smart textiliemi setkat, není možné v krátkosti zmínit všechny možnosti. Níže je uvedeno pouze několik příkladů ze širokého portfolia inteligentních textilií.

#### 1.3.1 Zdravotnictví – telemedicína

Inteligentní textilie jsou hojně využívány v systémech „telemedicíny“. Již v 90. letech minulého století byla společností Georgia Institute of Technology vyvinuta **inteligentní košile**. Od té doby došlo k mnoha jejím inovacím a vylepšením. Různé obdoby této inteligentní košile umožňují průběžně monitorovat fyziologické ukazatele a tyto informace posílat například do mobilního telefonu. Výhodou je, že získané informace mají dlouhodobý charakter a lékař je schopen lépe zjistit zdravotní stav chronicky nemocného pacienta, než by tomu bylo z informací získaných z krátkého časového úseku během lékařské prohlídky. Mimo jiné lze sledovat EKG, dýchání, tep, EMG. Do inteligentní košile mohou být implementovány i další funkce například pro měření srdečního rytmu nebo sledování pohybu. [6] [14] [10]

Pro novorozence existuje speciální **dětské tílko** vybavené primárně senzorem dýchání a senzorem srdeční činnosti. Údaje z toho tílka jsou opět zpracovávány procesorem a jsou-li vyhodnoceny jako život ohrožující stav, je spuštěn alarm. Tato aplikace je vyvinuta primárně jako prevence proti syndromu náhlého úmrtí kojence. [7]

Na tomto základu přišlo několik společností s inovativními technologiemi a vylepšeními. Jedním z nich je **Smart Baby Hat** od společnosti Neopenda, což je čepice umožňující sledovat vitální funkce novorozenců. Čepice může sledovat teplotu, srdeční činnost, dýchání a saturaci kyslíku v krvi. Těchto čepice lze pomocí Bluetooth synchronizovat až 24, díky čemuž mohou lékaři a zdravotní sestry snadno sledovat životní údaje více dětí najednou. [15]

Na novorozence je zaměřena také americká společnost Owlet Baby Care. Ta vyvinula **inteligentní ponožku Owlet Smart Sock** (obr. 5), která umožňuje rodičům sledovat základní životní funkce dítěte a data v reálném čase přenášet pomocí Bluetooth do chytrých telefonů. Na rozdíl od výše zmíněné Smart Baby Hat jsou Owlet Smart Sock již nabízené na trhu za cenu 300 amerických dolarů. [16]



Obr. 5 – Inteligentní ponožka Owlet Smart Sock [16]

Jednou z dalších aplikací je **životní pás**, což je transabdominální (*skrz břicho, resp. břišní stěnu*) nosné zařízení pro dlouhodobé sledování zdraví těhotných žen a jejich plodu. Je podpůrným nástrojem lékaře, který může dálkově monitorovat a vyhodnocovat předběžnou diagnózu, nebo se později, nastanou-li komplikace během porodu, vrátit k uloženým záznamům. [6] [14]

### 1.3.2 Obrana a ochrana

Vývojová centra jednotlivých armád světa přinášejí vždy ty nejnovější inovace a díky nim dochází k velkému pokroku i ve vývoji smart textilií. Zkoumají a vyvíjejí nové materiály a technologie pro inteligentní oblečení s cílem zvýšit ochranu lidí pracujících v těchto podmínkách. Kromě senzorů pro sledování fyziologických ukazatelů jsou do vojenských uniform implementovány komunikační jednotky (GPS, WAN, Bluetooth, WiFi, 4G), signalizační prvky nebo senzory toxických plynů. Uniformy mohou zahrnovat také termoregulaci nebo mohou prostřednictvím automatické komprese svalů zmírnit bolest. Nemusí se jednat pouze o e-textilie. Samotná uniforma může být vyrobena z chromatických

materiálů, které mění barvu a této vlastnosti je využíváno při maskování případně z materiálů auxetických<sup>3</sup>, kterých je využíváno v balistické ochraně. [6] [14] [17]

Nemusí se jednat pouze o uniformy pro vojáky. Mnoho funkcí a vlastností smart textilií je využíváno také pro uniformy záchranných složek – například hasičů. Konsorcium složené z výzkumného týmu z RICE a dalších společností vyvinulo chytrý **hasičský zásahový oblek smartPRO** (obr. 1 na straně 12). Oblek sleduje nejen vlastnosti prostředí, tj. teplotu, vlhkost, přítomnost toxických plynů či lokalizaci hasiče uvnitř objektu, ale monitoruje i důležité tělesné funkce zasahujících osob. Oděv je vybaven také aktivním osvětlením LED, které může hasič ovládat prostřednictvím tlačítka přímo na oděvu. Veškeré údaje se jednak zaznamenávají do černé skříňky a zároveň jsou v reálném čase odesílána do velitelského tabletu. [18]

### 1.3.3 Sport a zábava

Inteligentní textilie se hojně využívají ve sportovním oblečení. Zde najdou uplatnění textilie se zvýšenou schopností odvodu tepla a potu, nebo naopak udržování tepla. Materiály zabraňující pronikání UV záření a materiály s tvarovou pamětí. [14] I do oblečení pro sport lze implementovat různá elektronická zařízení, která mohou opět zaznamenávat fyziologické informace o uživateli. Dále mohou měřit uživatelskou aktivitu a zaznamenávat specifické pohyby kloubů. Existuje také oblečení, pomocí něhož lze elektricky stimulovat svaly. [15]

Zajímavým příkladem je **inteligentní podprsenka** (Smart Bra), kterou vyvinuli vědci v Austrálii. Slouží pro zlepšení komfortu žen například při běhání. Podprsenka v závislosti na pohybu prsu mění své vlastnosti pružnosti. Jednotlivá vlákna jsou schopna se stáhnout a zmírnit tak pohyb prsu, a naopak zase povolit, aby uživatelku neomezovala, pokud v daný okamžik neběží. [6]

Například společnost Wearable X se zaměřila na oblast haptiky<sup>4</sup>. Ve spolupráci se společností Havas vyvinula **spodní prádlo Fundawear** (obr. 6) osazené speciálními vibračními motorky ovládanými přes mobilní aplikaci. Na displeji telefonu je vidět podoba

---

<sup>3</sup> Auxetický znamená, že látka má záporný Poissonův index, tedy že v místě, kde ji chce nějaký předmět propíchnout, se neztěňuje, ale právě naopak.

<sup>4</sup> Haptika – hmatové vnímání

ženského či mužského spodního prádla s vyznačenými vibračními body. Tahem prstu po displeji pak lze jednotlivé motorky aktivovat. [19]

Tato společnost má v nabídce také speciální **kalhoty na jógu Nadi X** (obr. 7), které pomocí haptických vibrací na boky, kolena, kotníky pomáhají s pohybem, resp. držení pozice těla. Kalhoty jsou synchronizovány s aplikací v mobilním telefonu pomocí Bluetooth technologie. [15]

Na trhu jsou dostupné plavky se zakomponovaným senzorem pro snímání UV záření a tělesné teploty. Data jsou odesílána do mobilní aplikace, která upozorní, kdy je vhodné odejít ze Slunce. Zajímavou aplikací je chladicí vesta **Thin Ice**, která stimuluje termoreceptory na hrudníku a zádech a pomáhá spalovat tzv. bílý tuk. Vesta je opět propojena s mobilní aplikací. [15] [20]



Obr. 6: Spodní prádlo Fundawear [20]



Obr. 7: Kalhoty na jógu Nadi X [15]

### 1.3.4 Móda a mobilní technologie

Ve sblížení internetu věcí (IoT), 3D tisku a nanotechnologií, spolu s obrovskými možnostmi e-textilií vidí nadnárodní společnosti, jako Google, Apple, Samsung aj., velký potenciál a investují do této oblasti nemalé peníze. Tyto společnosti spojují své technologie s e-textiliemi ve spolupráci se známými módními značkami a vznikají opět zajímavé produkty.

Samsung vyvinul ve spolupráci s firmou Rogatis oblek s NFC (Near field communication) čipem (obr. 8). Oblek umožňuje uživateli odemknout mobilní telefon, vyměňovat digitální vizitky či otevírat různé aplikace. V další verzi by mělo být možno, pomocí přiložení rukávu s NFC čipem k platební bráně, provádět bezkontaktní platby. NFC do své závodní kombinézy implementuje i společnost Adidas ve spolupráci s automobilovou federací (FIA). Kromě usnadnění administrativy a prokazování kompatibility kombinézy s předpisy FIA při technické převínce, je nespornou výhodou, že v NFC čipu mohou být uloženy zdravotní informace tzv. ICE kontakt (In Case of Emergency) o závodníkovi, které mohou být záchranářem načteny pomocí chytrého telefonu. [21] [22] [23]



Obr. 8 – Oblek s NFC čipem Smart Suit 4.0 od společnosti Samsung [22]

Před konkurencí nezaostává ani společnost Google, která spolupracuje s módní značkou Levi's v rámci projektu Jacquard experimentují s designem vodivých vláken, tak aby struktura vytvořená těmito vlákny fungovala obdobně jako dotykový displej mobilního telefonu. Tedy, aby dokázal motiv rozpoznat jednoduchá gesta. Díky tomu je možné mobilní telefon umístěný v kapse a propojený přes Bluetooth ovládat podobně, jako bychom se dotýkali jeho displeje. Funkci lze prezentovat například na přijetí telefonního hovoru. Jednoduchým přejetím po rukávu saka v určitém směru (obr. 9) lze hovor přijmout, aniž by bylo potřeba mobil vytahovat z kapsy. [23] [24]

E-textilie nabízí zajímavé možnosti módním návrhářům. Těch využívá módní dům CuteCircuit. Tamní návrháři vetkávají do šatů množství plochých mikro LED o rozměrech 1,8 mm x 1,8 mm propojených vodivými postříbřenými nitěmi. Takové šaty vytvářejí různé světelné animace. Šaty jsou ovládané pomocí mobilní aplikace, ke které se připojují prostřednictvím Bluetooth. Mají vestavěný akumulátor, který se nabije za 2 hodiny pomocí USB-C. Na obrázku 10 jsou vidět večerní šaty ušité pro Katy Perry<sup>5</sup> obsahující 3 000 těchto mikro LED. [25] [26]



Obr. 9: Textilní struktura pro ovládání telefonu  
– Projekt Jacquard [23]



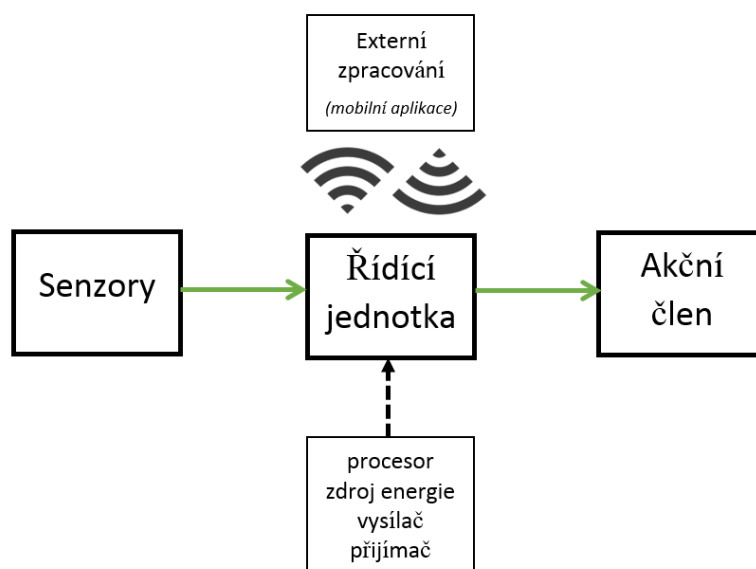
Obr. 10: Šaty s mikro LED [27]

<sup>5</sup> Americká zpěvačka, skladatelka a textařka

## 2. Ovládací prvky

Aplikací, kde se lze setkat s inteligentními textiliemi, resp. s e-textiliemi, je celá řada. Aby mohly všechny tyto elektronické textilní aplikace správně a účelně fungovat, potřebují k tomu ovládací prvky. Některé z ovládacích prvků byly nastíněny již v kapitole 1.3 v rámci představení ukázky jednotlivých aplikací. Podrobně o nich však pojednává tato a následující kapitola.

Nejdříve je důležité definovat, co vše je považováno za ovládací prvky e-textilií. Inteligentní systém obecně sestává ze tří hlavních částí – senzoru, řídicí jednotky a akčního členu (obr. 11). **Senzor** je vstupním blokem měřicího zařízení. Převádí čidlem snímanou veličinu na měřenou (nejčastěji elektrickou) veličinu. **Řídicí jednotka** zahrnuje procesor nebo obvod pro zpracování této měřené veličiny a zdroj energie, který může být umístěn i samostatně. V případě, že jsou informace předávány k dalšímu zpracování mimo textilii, například do mobilního zařízení, zahrnuje řídicí jednotka také vysílač a přijímač, pomocí nichž aplikace komunikuje s externím prostředím. Zpracovaná informace je následně řídicí jednotkou odeslána do **akčního členu**, který vykoná definovanou funkci. Všechny tyto tři části lze považovat za ovládací prvky. Za vedlejší ovládací prvky e-textilií lze pak považovat i vlastní vodivé cesty sloužící k propojení jednotlivých součástí funkčního systému.



Obr. 11 – Názorné schéma inteligentního systému e-textilií



Jak je zmíněno v kapitole 1.2, e-textilie lze rozdělit do tří kategorií podle stupně integrace elektroniky, tedy ovládacích prvků. Je zřejmé, že v rámci prvního, resp. druhého stupně integrace, lze do e-textilií integrovat velké množství různých komponent vyrobených klasickými cestami a upevněných, či jinak implementovaných do textilního materiálu. Jednotlivé komponenty mohou být následně propojovány například pomocí vodivých cest vyšitých vodivou nití. V současné době je snahou vytvořit takové textilie, které budou mít veškeré elektronické prvky integrované ve třetím stupni integrace. O pokroku tímto směrem informuje například web Fibre2fashion [28], který uvádí, že byl již testován první tranzistor založený na textilních vláknech, který neobsahuje žádné kovy a je plně kompatibilní s textilní výrobou.

Několik společností nabízí již hotové sady ovládacích prvků, které lze na textilie jednoduše přišít či jiným způsobem připevnit. Tyto prvky jsou nejčastěji umístěny na DPS s prokóvkami, kterými lze provléci vodivou nit', případně druk, a tím desku spojit s vodivou cestou. Takovým způsobem lze pospojovat více ovládacích prvků ze sady a vytvořit funkční aplikaci. O těchto, v současné době na trhu dostupných sadách ovládacích prvků podrobněji pojednává kapitola 3. Ukázka konceptu vytvořeného pomocí obchodně dostupné sady je pak k vidění v praktické části v kapitole 4.1. V profesionálních aplikacích, jako třeba e-textilie pro sledování biometrických údajů, jsou však ovládací prvky navrhovány pro konkrétní účel a jsou vyráběny „na míru“ definovaným požadavkům se snahou dosáhnout co nejvyššího stupně integrace a s ohledem na dlouhodobou spolehlivost.

## 2.1 Senzory

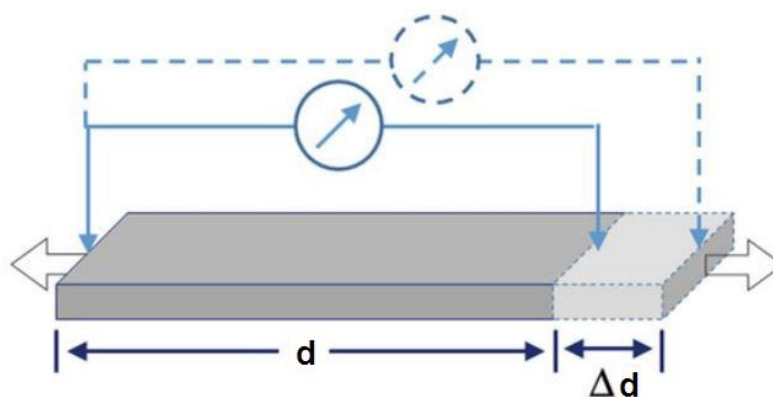
Tato kapitola se zaměřuje na představení senzorů, které mohou být umístěny do textilních aplikací ve třetím stupni integrace, tedy vyrobených pomocí vodivých nití, přízí, nebo polymerních vláken. To znamená, že všechny součásti senzorů jsou plně integrovány a jsou tak měkké, jako běžné oděvy.

Senzory obecně slouží pro snímání fyzikální, chemické nebo biologické veličiny. Lze je chápat jako převodník mezi podnětem vyjádřeným měřenou veličinou (snímanou) a výstupní veličinou (naměřenou). Výstupní veličinou bývá snadno zpracovatelný elektrický signál. Využívá se však i veličin optických (změna barvy nebo jasu), mechanických (posunutí ukazatele) apod. [29]

Jedním z možných rozdělení senzorů je dle chování výstupního signálu. Chová-li se výstup senzoru jako zátěž s definovanými parametry, jedná se o **pasivní senzory**. Působením měřené veličiny se mění některý z parametrů senzoru (indukčnost, kapacita, imitance nebo změna barvy). Pro další zpracování signálu pomocí elektronických obvodů je potřeba veličinu dále přetransformovat na analogový napěťový signál, přičemž měřicí veličinou je amplituda, kmitočet, fáze aj. U pasivních senzorů je nezbytné napájení sloužící pro tuto transformaci. Chovají-li se senzory jako zdroj signálu, jde o **aktivní senzory**. Působením měřené veličiny se takový senzor chová jako zdroj elektrické energie např. piezoelektrické senzory. [29]

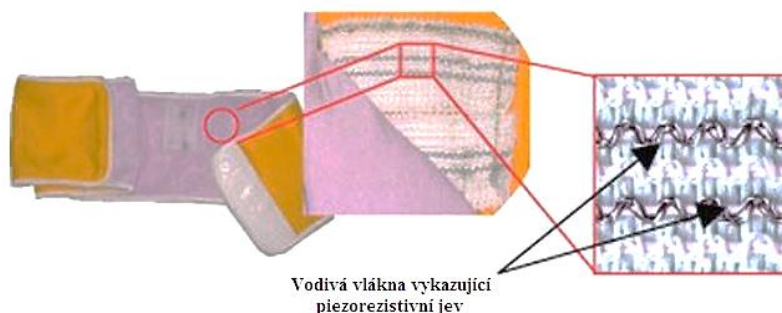
### 2.1.1 Odporové senzory

**Piezorezistivní senzory** využívají vztahu mezi mechanickým namáháním a velikostí elektrického odporu. Elektrický odpor se mění, je-li odporový materiál natahován, resp. stlačován. Je-li textilie s vodivou nití napínána, mění se její délka a dochází ke změně odporu (obr. 12). Pro piezorezistivní senzory se obecně používají kovové slitiny a polovodiče, jako germanium a křemík. V textilních aplikacích se využívá vodivých polymerů, elastomerních kompozitů, nebo vodivých přízí s obsahem uhlíkatých, případně kovových částic apod. [30]



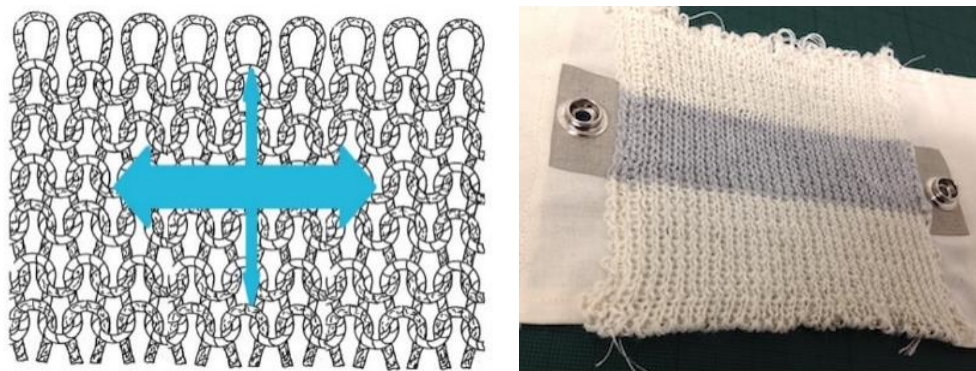
Obr. 12 – Princip piezorezistivního jevu (převzato z [30] a upraveno)

Piezorezistivní textilní senzory byly navrženy pro širokou škálu aplikací např. sledování napětí, tlaku, teploty, kmitů nebo monitorování životních funkcí pomocí nositelných struktur. Tyto senzory byly integrovány do rukavic, triček, podprsenek nebo textilního pásu pro monitorování dýchání (obr. 13), kde jsou vpletena vlákna vykazující piezorezistivní jev, která se díky dýchání jedince natahují a smršťují, přičemž dochází ke změně odporu. [30]



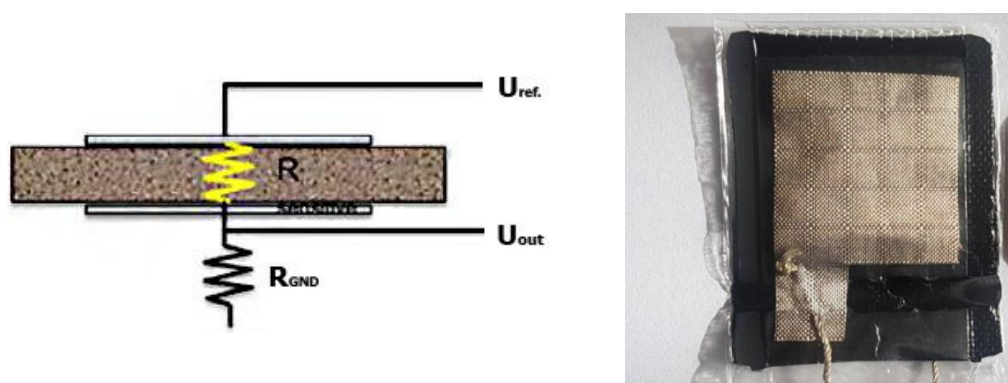
Obr. 13 – Textilní pás pro sledování dýchání (převzato z [30] a upraveno)

Mezi odporové senzory patří také tzv. **senzory napnutí** (obr. 14). Ty jsou vyrobeny z úpletu z vodivých nití nebo alternativně z nevodivé pleteniny potažené vodivým polymerem. Jak se úplet protahuje, mění svůj odpor, protože protahování vytváří více kontaktních bodů mezi smyčkami a tím se zvyšuje vodivost. Tyto pletené senzory napnutí se velmi dobře hodí pro snímání dýchání. [31]



Obr. 14 – Pletený senzor napnutí - princip a funkční vzorek [30] [31]

**Tlakový odporový senzor** vyráběný společností Sefar se skládá ze dvou tkanin s řadou kovových vodivých paralelních proužků jako elektrod a polovodivou mezivrstvou. Při stisknutí dojde k deformaci mezivrstvy a tím ke snížení odporu. Princip ukazuje obrázek 15 (*levá část*). Takový senzor nachází uplatnění v podlahách na detekci přítomnosti člověka, v sedadlech automobilů nebo třeba ve vložkách bot k analýze informací o chůzi. [32] Odporové senzory tlaku jsou méně běžné, protože, obecně, jsou výhodnější kapacitní snímače. [33]

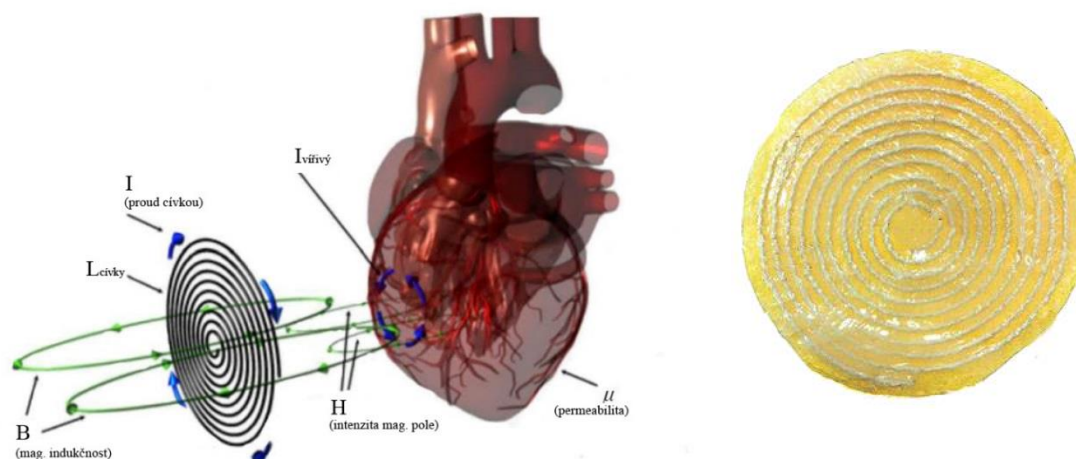


Obr. 15 – Tlakový odporový senzor - princip a funkční vzorek [32]

### 2.1.2 Indukční senzory

Ačkoli jsou **indukční senzory** široce používány v průmyslu, jejich textilní derivace jsou omezené. Používají se především v lékařských aplikacích pro monitorování srdeční činnosti, krevního tlaku nebo dýchání. Případně je lze využít pro sledování polohy a blízkosti určitého objektu, který ovlivňuje elektromagnetické pole vytvářené cívkou.

Hlavním prvkem indukčního senzoru pro sledování srdce je plochá spirála. [34] Důležitým konstrukčním parametrem je zde konfigurace cívky a odpor vodivé cesty. Jejich vhodná optimalizace je důležitá pro získání stabilních signálů srdeční aktivity. [30] Princip ilustruje obrázek 16 a lze ho stručně popsat následovně: Střídavý proud procházející cívkou vytváří magnetické pole, podél jehož osy je vytvářen magnetický tok. Ten se uvnitř živé tkáně v čase mění a dochází k vytváření vířivých proudů. Vířivé proudy vytvářejí sekundární tok, který ovlivňuje impedanci cívky. Sledováním změn impedance lze měřit srdeční frekvenci. [34] [35]



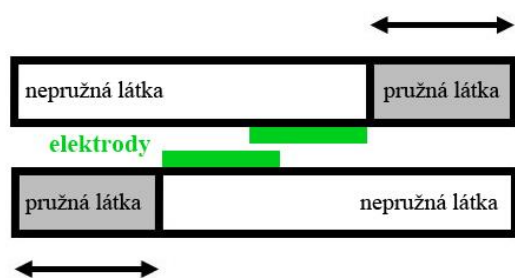
Obr. 16 – Princip sledování srdeční aktivity a senzor vyšitý na žluté látce [35]

### 2.1.3 Kapacitní senzory

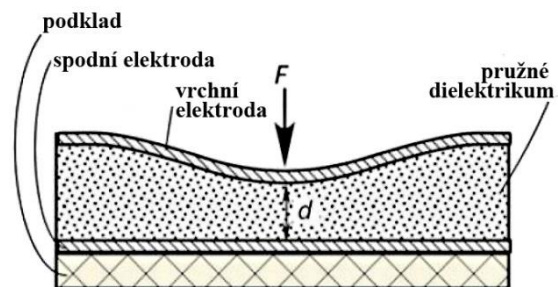
Kapacitní senzory jsou využívány v aplikacích pro detekci polohy, tloušťky, blízkosti, tlaku, svalové aktivity apod. Jejich fungování je založeno na principu deskového kondenzátoru se dvěma elektrodami, mezi nimiž je dielektrické médium. Kapacitní senzor převádí změnu některého ze tří parametrů kondenzátoru: vzdálenosti mezi elektrodami, plochy elektrod, nebo dielektrické konstanty na elektrický signál, který můžeme vyhodnocovat. Textilní elektrody mohou být vyrobeny mnoha způsoby, a to od vyšívání, tkaní až po sítotisk v různých tvarech a s různou strukturou. [30]

Například **kapacitní senzor dýchání** využívá principu změny plochy. Obě elektrody jsou umístěny na dvou pružných textilních pásech (složených z pružné a nepružné části) a oddělené dielektrikem. Pásky se v rytmu dýchání vzájemně pohybují a mění se vzájemná poloha elektrod. Tím se mění jejich účinná plocha, potažmo i kapacita. Princip je znázorněn na obr. 17. [36]

Principu změny vzdálenosti mezi elektrodami využívají **kapacitní senzory tlaku**. Stiskem vrchní elektrody dojde k deformaci měkkého dielektrického materiálu a tím k přiblížení elektrod. Změna vzdálenosti mezi elektrodami způsobí změnu kapacity, kterou senzor následně vyhodnotí. Princip je znázorněn na obrázku 18. [37]



Obr. 17 – Kapacitní senzor dýchání –  
[upraveno dle 35]



Obr. 18 – Kapacitní senzor tlaku – [36]

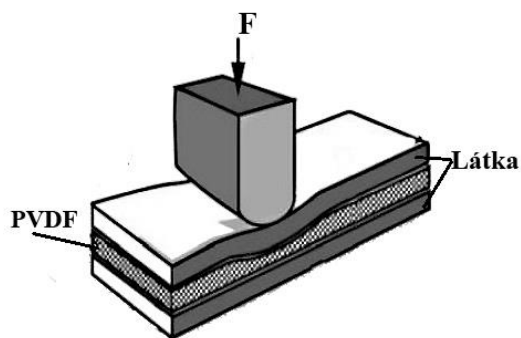
### 2.1.4 Optické senzory

Optické senzory mají v textilních aplikacích velký potenciál, protože jsou snadno dostupné ve formě polymerních pružných vláken a mohou být jednoduše včleňovány do textilií. Optické textilní senzory lze využít např. při monitorování tlaku, kdy působením tlaku na optické vlákno dojde ke změně intenzity světla procházejícího tímto vláknem v důsledku jeho mechanické deformace. Optické senzory lze také využít ke snímání respiračních pohybů pacientů během vyšetření magnetickou rezonancí (MRI). Použití optických vláken je výhodné, protože neobsahují kovy, které by mohly ovlivnit proces MRI. [30]

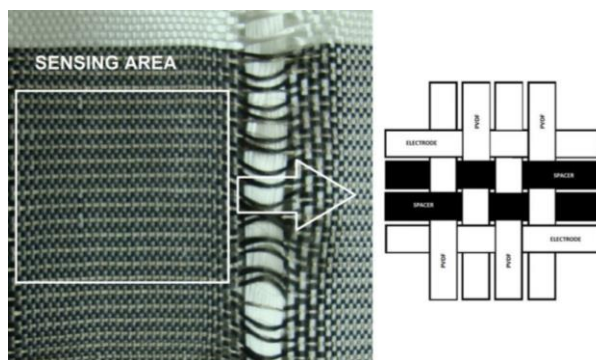
### 2.1.5 Piezoelektrické senzory

Piezoelektrické materiály vytvářejí při jejich mechanickém namáhání elektrické napětí (*k tomuto přímému piezoelektrickému jevu existuje jev opačný – nepřímý piezoelektrický jev, který způsobuje mechanickou deformaci materiálu v elektrickém poli*). [30][38] Tímto jevem se vyznačují především keramické materiály. Avšak již existují nové materiály snadno integrovatelné do textilií. Jedním z takových materiálů vykazující piezoelektrický jev srovnatelný s keramickými je polyvinylidenfluorid (PVDF). [39] Piezoelektrické senzory jsou pro textilní aplikace vhodné zejména pro svoji schopnost generovat elektrické signály již při velmi malém mechanickém namáhání, dále díky malé spotřebě energie a kvůli relativně nízkým nákladům na jejich výrobu. Piezoelektrické senzory ve formě pěny umístěné mezi dvěma vrstvami látky (obr. 19) se využívají například v sedačkách automobilů, kde slouží jako tlakové snímače indikující přítomnost osoby. Dále

je lze využít k analýze fyziologických signálů souvisejících se zdravotní péčí, včetně stability chůze, kardiorespirace apod. [30] Piezoelektrické senzory nemusí být tvořeny pouze filmem, ale existují také PVDF vlákna, která lze vetkat přímo do textilie a získat tak tkaný piezoelektrický senzor (obr. 20). [39]



Obr. 19 – Piezoelektrický senzor tlaku s PVDF  
pěnou – [převzato z 29]



Obr. 20 – Piezoelektrický senzor tlaku s PVDF  
vláken – [38]

## 2.2 Řídící jednotky

### 2.2.1 Mikrokontroléry a integrované obvody

Mikrokontroléry (jednočipový počítač, MCU) slouží pro zpracování, ukládání a předávání získaných dat ze senzorů. Zpracování dat zahrnuje použití softwaru a hardwaru. Software zpracovává logické instrukce a provádí operace zodpovědné za analýzu, zpracování a komunikaci signálů za pomoci speciálně vyvinutých algoritmů. Hardware je tvořen všemi fyzickými částmi nebo komponenty systému, včetně paměti, rozhraní a integrovaných obvodů. [30] Mikrokontroléry nejsou k dispozici v plně textilní formě a jsou v textilních aplikacích, často spolu s dalšími komponenty, umístovány na vhodně upravené DPS, umožňující snadnou implementaci do e-textilií. Existují již hotové plošné spoje s naprogramovaným MCU pro specifickou funkci, které lze po zakoupení snadno implementovat do e-textilie, nebo jsou navrhovány desky s programovatelným MCU pro konkrétní účel. Mikrokontrolérů je velké množství a jejich výrobou se zabývá nespočet společností, ze kterých lze jmenovat Atmel, ARM a Microchip Technology.

### ***Integrovaný obvod TTP224N***

Z širokého spektra integrovaných obvodů (IO) zmiňme **TTP224N** společnosti Tontek Design Technology, který je využíván v praktické části této diplomové práce. Jedná se o obvod umístěný v pouzdře SOP16 a určený speciálně pro snímání dotyku na základě vyhodnocení změny kapacity. Tento typ umožňuje sledovat čtyři připojené dotykové plochy. Lze ho tedy využít v aplikacích, které nahrazují klasická mechanická tlačítka nebo spínače dotykovými kapacitními. Obvod pracuje na napěťové úrovni 2,4 V – 5,5 V, díky čemuž ho lze využívat v aplikacích napájených prostřednictvím USB. Výhodou pro využití v textilních aplikacích je také jeho nízký odběr proudu. Ten činí v režimu nízkého výkonu pouze 2,5  $\mu\text{A}$ . V rychlém (výkonném) režimu pak 9,0  $\mu\text{A}$ . V režimu nízkého výkonu je však doba odezvy 160 ms, oproti 60 ms v rychlém režimu. TTP224N umožňuje několik režimů fungování. Jako tlačítko, spínač, nebo vypínač. (*Výchozím režimem je režim toggle – tlačítko*). Pomocí kondenzátorů připojených paralelně k pinům 1 až 4, lze nastavit citlivost snímače. Dle údajů výrobce je možno zvolit kapacitu kondenzátorů 0 pF až 50 pF. Přičemž, čím vyšší je hodnota kapacity, tím menší je citlivost dotykových ploch. Citlivost však mohou ovlivnit další faktory, jako je velikost a kapacita elektrody, kapacita spojovacího vedení na DPS apod. Vždy po připojení k napájení dochází ke kalibraci. Ta trvá cca 0,5 s, kdy je funkce snímače deaktivována a nesmí dojít k dotyku, aby byla kalibrace správná. Během připojeného napájení dochází vždy po 4 s k překalibrování v případě, že po tuto dobu není zaznamenán žádný signál. Společnost kromě tohoto čtyřkanálového MCU nabízí další verze: jednakanálový, dvoukanálový, 8kanálový a 16kanálový. Počet kanálů koresponduje s počtem dotykových ploch, které je obvod schopen snímat. [40] [41]

Tento integrovaný obvod využívá společnost Arduino ve své kapacitní dotykové klávesnici **TTP224 4-CHANNEL CAPACITIVE TOUCH**. Klávesnice obsahuje 4 dotykové plochy (touchpady), které slouží jako tlačítko. Na stisknutí této plochy zareaguje IC TTP224N a rozsvítí LED odpovídající danému touchpadu. Stejný signál, tj.  $U_{CCmax}$ , který rozsvítí LED je odeslán na odpovídající výstupní pin, ke kterému může být připojeno další zařízení. Každému touchpadu odpovídá jedna LED a jeden z výstupních pinů  $OUT_1 - OUT_4$ . Kromě zmíněných výstupních pinů obsahuje klávesnice vstupní piny pro napájení (GND a  $U_{CC}$ ) k nimž lze přivést stejnosměrné napětí 2 V, až 5,5 V. Vše je umístěno na DPS o rozměrech 35 mm x 29 mm. [42]



### 2.2.2 Komunikační jednotky

Nositelná elektronika, potažmo e-textilie potřebují často komunikovat se svým okolím. Toho lze dosáhnout pomocí drátových nebo bezdrátových systémů. Avšak drátová komunikace není pro nositelné projekty ze zřejmých důvodů vhodná a využívá se více komunikace bezdrátová.

Bezdrátová komunikace s krátkým dosahem, přijímá informace poskytované senzory, ukládá a připravuje je k přenosu prostřednictvím bezdrátové sítě (např. WiFi, RFID, Bluetooth, BLE aj.). Bezdrátová komunikace může pracovat i na velké vzdálenosti prostřednictvím služeb jako jsou například: GPRS, EDGE, 3G či 4G. [30] Pro každý projekt je potřeba zvážit, kterou technologii pro přenos informací zvolit. Pro krátké vzdálenosti a malý datový tok je vhodné využívat BLE, který má nízkou spotřebu. Pokud je potřeba přenášet větší objem dat na velké vzdálenosti, používají se technologie WiFi nebo 4G. Ty však mají velkou spotřebu energie a velké fyzické rozměry. [43]

### 2.2.3 Antény

Pro bezdrátovou komunikaci jsou potřeba antény. Mají-li být nositelné, musí být flexibilní, lehké, omyvatelné a robustní. Nošení antén může mít vliv na jejich vlastnosti, jakož i permitivita a tloušťka substrátu. [44] Nositelné antény fungují v blízkosti lidského těla, které absorbuje část vyzařované energie a dochází k degradaci vlastností antény (efektivita, směrovost, zisk či rezonanční frekvence). Ačkoli je tato skutečnost podle [45] u textilních materiálů zanedbatelná, je potřeba na ni při návrhu textilních nositelných antén brát zřetel, aby se dosáhlo všech požadovaných vlastností antény i v blízkosti lidského těla. [45] Také se musí uvažovat o samotném zakřivení plochy antény v případě, že je umístěna například na rukávu bundy. Jednou z nevýhod textilních antén je jejich velikost v porovnání s konvenčními. To je způsobeno výrazně menší dielektrickou konstantou tkanin oproti běžně používaným materiálům. [46]

Díky využití vodivých hybridních nití mohou být textilní antény plně integrovány do textilie. Mohou mít různé tvary (dipólové, fraktální, spirálové apod.), být robustnější, pružnější a pohodlné pro nošení. Mají větší prodyšnost a jsou omyvatelné. [47] [48] Testy ukázaly, že textilní anténa je schopna pracovat mj. také na frekvencích sítě GPS, satelitní telefonní sítě Iridium nebo je lze využít v RFID či NFC technologiích. [49]

#### 2.2.4 Zdroje energie

Nejběžnějším zdrojem pro napájení mobilních elektronických systémů jsou baterie. Avšak baterie není možné plně integrovat do textilií. Vyžadují připojení pomocí vodičů, je potřeba je před praním odpojovat, a navíc mají relativně velké rozměry. V rámci eliminace této nevýhody integrování baterií, probíhají výzkumy zabývající se získáváním elektrické energie pro e-textilie z okolního prostředí. Pro toto získávání energie se běžně používá pojem *energy harvesting* a využívá principů, resp. vlastností piezoelektrického jevu, triboelektrického jevu, fotoelektrického jevu, termoelektrického jevu, indukce nebo kapacity. Ne všechny materiály mající tyto vlastnosti lze kombinovat s textiliemi tak, aby mohly fungovat jako energetický sběrač. Existuje několik studií zabývajících se získáváním energie pomocí lidského těla, přičemž využívají moderní materiály vykazující některou z výše zmíněných vlastností. Materiály schopné vytvářet energii jsou v tomto případě na látku umístovány ve formě fólií nebo jsou vsívané do textilu pomocí vodivých vláken. [50] [51]

##### *Piezoelektrický jev*

Piezoelektrický efekt je jedinečná schopnost materiálů vytvářet elektrický náboj v odezvě na mechanické napětí, jako je stlačení, zkroucení nebo natažení. Tento princip je využíván pro převod lidského mechanického pohybu na elektrickou energii. Existuje například flexibilní nanogenerátor, vyrobený pomocí kompozitních piezoelektrických vláken BaTiO<sub>3</sub> a polyvinylchloridu. Ten po umístění na lidské rameno vytváří elektrické napětí díky jeho ohýbání. [51] Dalším piezoelektrickým materiálem vhodným pro výrobu piezoelektrických nití je PVDF. Z nich mohou být vytvořeny plně integrovatelné textilní struktury schopné při ohybu vytvářet proud 40 nA a napětí 1,5 V. [50]

##### *Triboelektrický jev*

Triboelektrický jev vzniká vzájemným třením dvou různých materiálů o sebe za vzniku elektrického náboje. Na základě experimentů byly materiály seřazeny podle toho, jak se nabíjejí statickou elektřinou, do tzv. "triboelektrické řady". Abychom získali co největší statický náboj, je potřeba o sebe třít předměty z opačných konců této řady. [52] Tohoto principu využívají triboelektrické nanogenerátory (TENG). Když jsou dva různé polymerní povrchy otřeny nebo stlačeny, jsou na každém povrchu vytvořeny elektrostatické

náboje opačné polarity. V důsledku tvorby dipólové vrstvy se generuje triboelektrický potenciál v TENG a pohání elektrické náboje přes vnější zátěž, což má za následek generování napětí a proudu. [51]

Textilní TENG mohou být vyrobeny pomocí dvou druhů upravených bavlněných nití, z nichž jedna je potažena vícevrstevnými uhlíkovými nanotrubičkami a druhá nanotrubičkami z polytetrafluorethylenu s obsahem uhlíku (obr. 21). Tato dvě vlákna jsou vzájemně zapletena. Když se zapletená vlákna natáhnou, mezera mezi nimi se zmenší a vrstva uhlíku na bavlněném vlákne se pozitivně nabije vlivem vzájemného tření, čímž se vytvoří volné elektrony a následně je generován elektrický proud. [51]



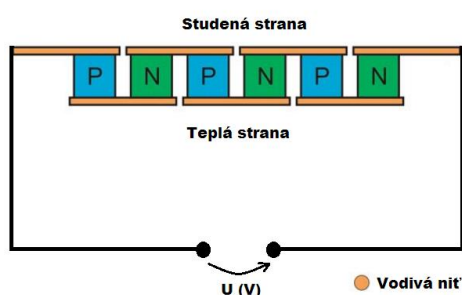
Obr. 21 – Struktura vláken pro TENG [51]

Podle studie [53] je výkon TENG závislý na vlhkosti vláken. Je zde uvedeno, že elektrický výkon se postupně snížil na 73,5 % svého původního výkonu, když se relativní vlhkost zvýšila z 10 % na 90 %. Tento proces je vratný. Pokud vlákna vyschnou, výkon se opět zvýší. [53]

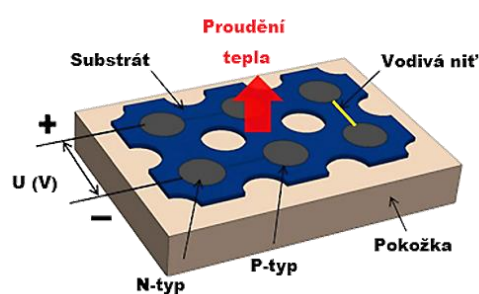
### **Termoelektrický jev**

Termoelektrický jev je schopnost dvou v sérii spojených vodičů, resp. polovodičů, generovat elektrické napětí vlivem teplotního gradientu na jejich opačných koncích. Získané napětí je přímo úměrné rozdílu teplot. [54] Tento jev využívá termoelektrický generátor (TEG) k získávání energie. V článku [55] je diskutován nositelný TEG vyrobený s využitím kombinace vodivých nití, polymerního substrátu a tištěných polovodičových termočlánků. Nositelný TEG je vyroben tak, že do otvorů připravených v polymerním substrátu je nanosen materiál – polovodič typu P, resp. typu N a vytvrzen. Vzniklé sloupce jsou pak

spojeny vodivou nití tak, aby vznikl P-N přechod. V tomto případě je v sérii spojeno více P-N přechodů. Jak demonstruje obrázek 22, vzniklá struktura má dvě strany, z nichž jedna je teplá strana a druhá chladná strana. Teplá strana TEG je ohřívána teplem z lidského těla a chladná strana ochlazována okolním prostředím. V závislosti na velikosti rozdílu teplot je pak mezi konci stran generováno napětí v řádech mV. TEG diskutovaný ve zmiňovaném článku generoval při rozdílu teplot 19,2 K napětí 14,1 mV. Elastická struktura TEG umožňuje jeho poměrně snadnou integraci to textilií. Pokud však nebude jeho teplá strana dostatečně přiléhat k pokožce, klesne významně účinnost přeměny.



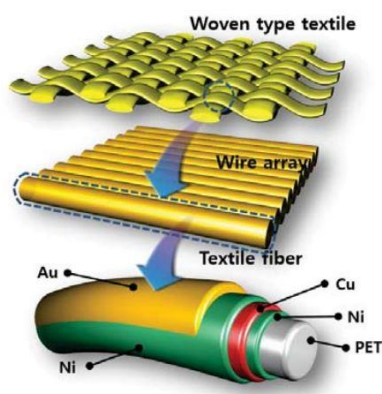
Obr. 22 – Spojení PN přechodů vodivou nití [56]



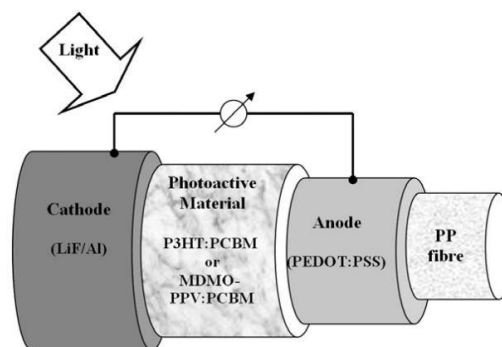
Obr. 23 – Struktura TEG [55]

### Fotovoltaický jev

Energii pro napájení nositelných aplikací lze získávat taktéž ze slunečního záření pomocí fotovoltaických článků. Přimo na textilií lze připevnit pružné články v rámci druhého stupně integrace, ale ty nemají stejné mechanické vlastnosti jako textilie. Proto je i u prvků pro získávání energie ze Slunce snaha o jejich plnou integraci do textilie, buď tkaním nebo vplétáním fotovoltaických nití do textilu. [57] Flexibilními organickými fotovoltaickými články se zabývá například studie [58]. V ní je diskutován fotovoltaický článek vyrobený pomocí vláken o průměru 10  $\mu\text{m}$  (obr. 24). Každé vlákno se skládá z několika vrstev. Nosnou složku tvoří PET vlákno, na kterém je nanesen nikl, následně měď a opět nikl. Celá struktura je ještě potažena zlatem. Studie uvádí, že při plném slunečním svitu lze získat z 1  $\text{cm}^2$  proud 13 mA. V článku [59] jsou popsány fotovoltaické vláknové články s polypropylenovým nosným vláknem, PEDOT:PSS anodou, fotocitlivým materiálem a LiF/Al katodou (obr. 25). Tato vlákna jsou schopna dodávat zkratovou proudovou hustotu 0,27  $\text{mA}/\text{cm}^2$ .



Obr. 24 – Vláknoový fotovoltaický článek s PET jádrem [58]



Obr. 25 – Vláknoový fotovoltaický článek s PP jádrem [59]

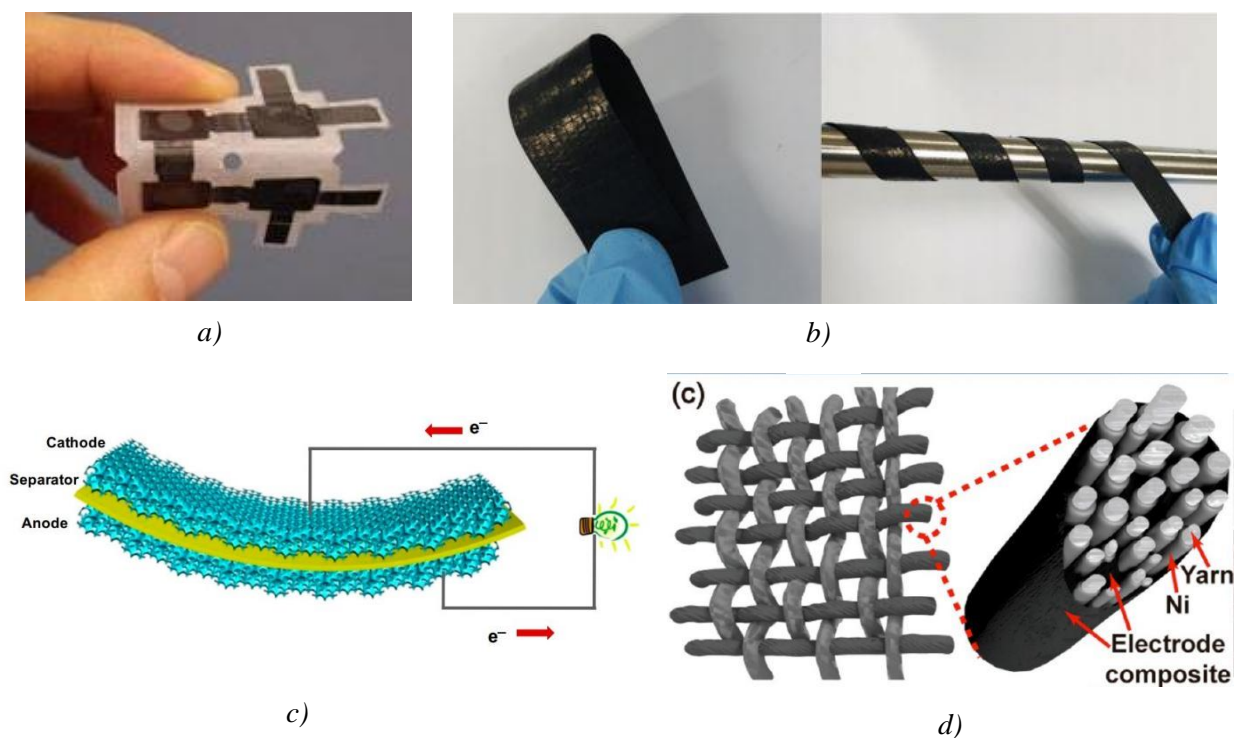
### Flexibilní baterie

Výše zmíněné zdroje získávání energie nejsou pro spolehlivost textilních aplikací příliš vhodné. Mají nízký výkon, a především jsou závislé na okolních podmínkách. Například, solární články fungují pouze za přítomnosti slunečního záření, piezoelektrické pouze v případě jejich mechanického namáhání, takže je potřeba, aby se uživatel pohyboval. Pro napájení jsou i přes zmíněné nevýhody nutně potřeba baterie. Už jen pro to, aby energie získaná nějakým z principů energy harvesting mohla být někde uložena. Některé nevýhody konvenčních baterií, jako integrovatelnost do textilií, flexibilita, hmotnost aj., eliminují flexibilní baterie. Přestože jejich vývoj stále zaostává za rozvojem jiných flexibilních zařízení, jsou již tyto pružné baterie dostupné na trhu. Využívají elektrody s vysokou pružností, které mohou vydržet dlouhodobé vystavení mechanickému namáhání a konstrukci různých struktur. [60]

Jednou z prvních společností dodávající na trh flexibilní baterie je společnost Power Paper Ltd. Flexibilní baterie této společnosti (obrázek 26 a) jsou složeny z katodových a anodových vrstev na bázi oxidu zinečnatého a manganičitého, tisknutých na pružný substrát. Jmenovitá hodnota napětí těchto baterií je 1,5 V s kapacitou 4,5 mAh/cm<sup>2</sup>. [61]

Výzkumem flexibilních lithium-iontových baterií se zabýval i tým ze Soulské univerzity [60], který vytvořil flexibilní elektrody ve tvaru tenkého listu smícháním granulí aktivního materiálu LiFePO<sub>4</sub> (zkratka LFP) pro katodu a Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (zkratka LTO) pro anodu s granulami PTFE pojiva. Tento tvarovaný list byl nalisován na vodivou uhlíkovou tkaninu,

kteřá vykazuje podobné vlastnosti, jako textilie. Připravené elektrody mohou být různě skládány, válcovány nebo krouceny bez mechanického poškození a vykazují vysokou míru pružnosti, jak je zřejmé z obrázku 26 b. Složením katody a anody vzájemně oddělenými separátorem byla připravena baterie s kapacitou  $1,2 \text{ mAh/cm}^2$ . [60] Flexibilními lithium-iontovými bateriemi se zabývá též práce [62]. Zde je diskutována baterie s vysokou rychlostí nabíjení, resp. vybíjení a vysokou kapacitou sestavená z elektrod vzniklých spojením materiálů LFP a LTO s grafenovou pěnou. Baterie je na obrázku 26 c. V článku [63] jsou diskutovány baterie, jejichž struktura sestává z niklem potažené polyesterové příze (obr. 26 d), která je překryta vrstvami aktivního materiálu, pojiva a vodivého uhlíku. Anodové a katodové elektrody jsou tvořeny LTO a LFP. Jako pojivo a separátor mezi anodou a katodou slouží polyuretan (PU).

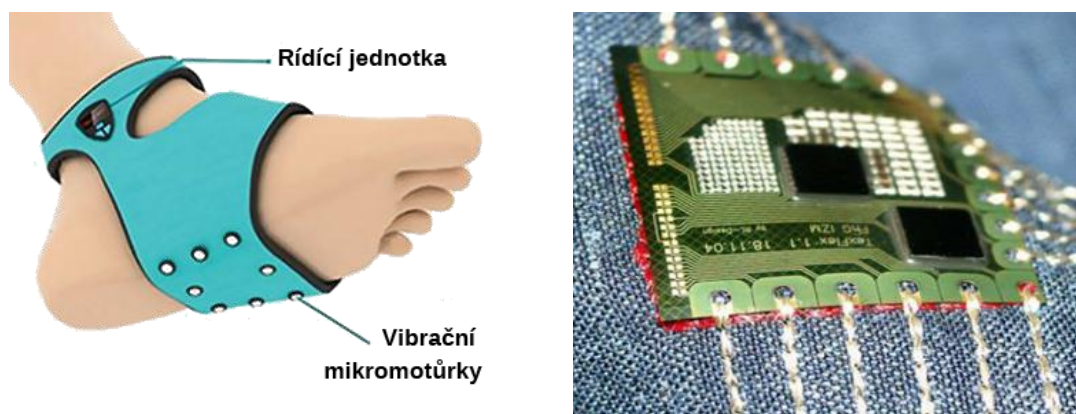


Obr. 26 – a) Baterie Power Paper [61], b) Flexibilní baterie vyvinutá na Soulské univerziě [60],  
c) Baterie s grafenovou pěnou [62], d) Flexibilní baterie vyrobená pomocí vláken [63]

## 2.3 Akční členy

Akční členy e-textilií jsou definovány jako elektronické systémy, které transformují elektrický signál na fyzický projev a reagují tak na impuls vyplývající z funkce snímače, resp. z řídicí jednotky. Tyto prvky zahrnují elektroaktivní materiály, které generují různé typy výstupů v reakci na elektrické pole a proud, jako je zvuk, teplota, pohyb nebo světlo. [44] Jsou to například elektrické topné odpory, kde je teplo generováno průchodem elektrického proudu vodičem. Dalšími příklady jsou elektrické svalové stimulatory a mechanické pohony používané v robotice, nebo LED. [30]

Stejně jako u senzorů, mohou být i akční členy umístěny například na DPS speciálně upravené pro integraci do e-textilií. To umožňuje integrovat na textilie v rámci 1., resp. 2. stupně integrace nespočetné množství akčních členů od LED, přes motůrky až po displeje (obr. 27). Vzhledem k této skutečnosti se následující část kapitoly omezí pouze na zmínění několika akčních členů, jenž mohou být implementovány do e-textilií ve 3. stupni integrace, tj. akční členy ve formě vláken.

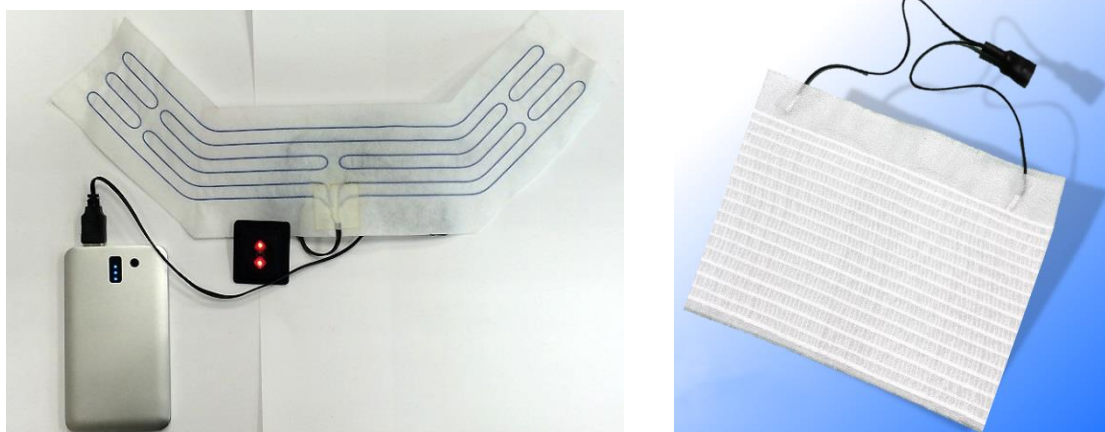


Obr. 27 – Ukázka aktuátorů ve II. stupni integrace [30] [64]

### 2.3.1 Vyhřívání textilie

Textilní topné systémy jsou k dispozici zejména v podobě topných ponožek, spodního prádla nebo sportovního oblečení pro zimní sporty. [44] Kromě těchto aplikací lze vyhřívání textilie použít v kobercích, v záclonách či autosedačkách. [65] Topný systém pracuje na principu Jouleova tepla, kdy elektrický proud procházející vodičem vytváří teplo v závislosti na velikosti odporu daného vodiče. [44]

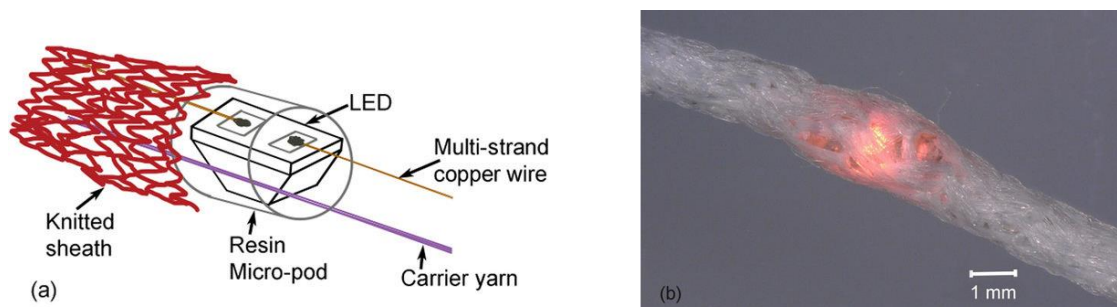
Vyhřívaná aplikace (obr. 28) vzniká vložením odporového mikrodrátku do textilie a následně jeho připojením k napájení. Jako materiál pro odporový vodič se používají hlavně slitiny mědi, niklu a chromu. Avšak existují vodivé materiály na bázi polymerů, které nahrazují kovové mikrodrátky. Jsou to např. silikonové příze s obsahem uhlíku. Výhodou oproti kovovým vláknům je jejich větší flexibilita, menší spotřeba elektrické energie a také to, že nehrozí přehřátí. [65]



Obr. 28 – Ukázka aplikací s vyhříványými textiliemi

### 2.3.2 LED integrované ve vlákne

V článku [66] jsou zmíněné tzv. elektronické příze (*angl. e-yarns*), které obsahují elektronické součástky plně zabudované ve vlákne, čímž je dosaženo 3. stupně integrace elektroniky do textilu. Pouzdro s mikro LED je zapouzdřeno v pryskyřicovém obalu a kontakty jsou připájeny na pružný měděný vodič tvořený více vlákny. Vše je obklopeno textilním vláknem. Struktura elektronické příze s LED a funkční vzorek je k vidění na obr. 29. Tato koncepce je omezena pouze na součástky se dvěma vývody. [66]

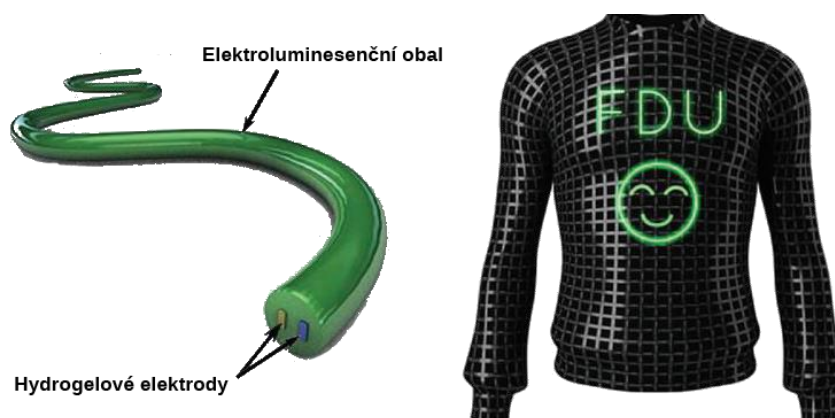


Obr. 29 – Vodivá příze s LED [66]



### 2.3.3 Displeje

V práci [67] jsou zmíněna super-roztažitelná elektroluminiscenční vlákna (obr. 30), ze kterých lze sestavit zobrazovací jednotku integrovanou do textilie. Vlákna jsou tvořena dvěma paralelními hydrogelovými elektrodami a vnější elektroluminiscenční vrstvou tvořící obal. [67]



Obr. 30 – Super-roztažitelná elektroluminiscenční vlákna [67]

## 2.4 Základní parametry pro výběr vhodných ovládacích prvků

Výběr ovládacích prvků pro elektronické textilie je velmi individuální a významně záleží na konkrétní aplikaci a jejím použití. Je potřeba zvážit, zda se jedná o oděvní aplikaci, kterou bude nosit uživatel na sobě, pak je potřeba snažit se volit měkké, ohebné a co nejvíce integrovatelné prvky tak, aby byla textilie s elektronikou pohodlná a nedocházelo k zadržování kvůli vyčnívání prvku z látky. Dále je potřeba brát v úvahu hledisko prátelnosti, tj. aby byl elektronický prvek buď z textilie odnímatelný, nebo vodotěsný a schopný projít pracím cyklem, aniž by došlo k jeho zničení. Dalším faktorem je mechanické namáhání. Zvláště v případě oblečení dochází k opakovanému namáhání vlivem odírání a skládání. V případě ovládacích prvků integrovaných do vojenských, hasičských aj, uniforem je potřeba brát ohled na jejich dlouhodobou spolehlivost, či žáruvzdornost. Pro nositelné aplikace je na rozdíl od nemobilních aplikací potřeba vyřešit jejich napájení z mobilního zdroje nebo využitím některého z principů energy harvesting. Významným faktorem ovlivňující výběr elektroniky jsou také výrobní postupy a možnosti. [9] [30]

### 3. Na trhu dostupné sady ovládacích prvků

Několik společností vyrábí sady nositelných ovládacích prvků sestávajících z modulů se specifickými funkcemi. Modulem je většinou DPS uzpůsobená k jednoduchému integrování do textilie za pomoci například vodivých nití nebo druků. Modul obsahuje jednu nebo více různých součástí (LED, spínač, bzučák, aj.) a podle toho plní jednotlivé funkce. Propojováním těchto modulů lze vytvářet mnoho rozmanitých nositelných projektů.

#### 3.1 LilyPad

LilyPad Arduino je sada modulů vyvinutá společnostmi Leah Buechley a SparkFun postavená na hardwaru Arduino. Základem je základní deska, která obsahuje programovatelný mikrokontrolér ATmega168 nebo ATmega328. Sada dále sestává z řady modulů představující snímače a akční členy. Jsou to moduly obsahující LED vč. RGB LED, bzučáky, vibrační motůrky, světelné senzory, teploměr, akcelerometr, držák baterie a další. Dále to mohou být speciální moduly s Bluetooth a MP3. [68]

Moduly jsou navrženy tak, aby mohly být našity na látku a jednoduše propojeny vodivými nitěmi. Na svém okraji mají perforované pájecí plochy. Nejčastěji jsou kruhového tvaru, v některých případech oválného, aby nedocházelo k poškození látky o ostré hrany. [68] [69]

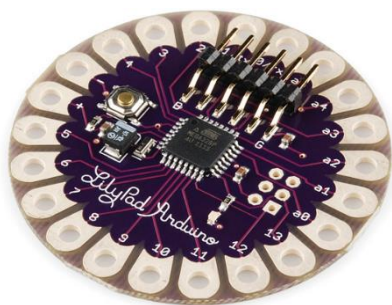
##### 3.1.1 Základní deska LilyPad

Základní deska (obr. 31) se stará o řízení aplikací vytvořených pomocí sady LilyPad Arduino. Na kulaté DPS je umístěn programovatelný osmibitový mikroprocesor ATmega168, resp. ATmega328. Čip pracuje na taktu 8 MHz, což je poloviční takt oproti běžným čipům Arduino. Napájecí napětí se pohybuje v rozmezí 2,7 V až 5,5 V. Díky tomu lze navržené systémy napájet jak 5 V z USB konektoru počítače, tak i pomocí 3V baterie CR2032. Základní verze má 14 digitálních, 6 analogových vývodů a vstupy pro napájení. Každý z I/O pinů s výjimkou napájecích může sloužit pro řízení vstupních nebo výstupních zařízení. Programování samotného čipu je u základní verze umožněno pomocí 6pinového

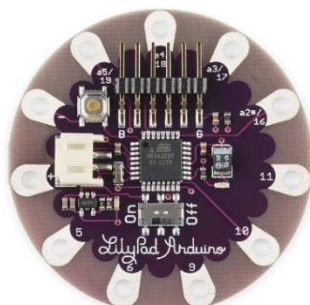
FTDI konektoru vyvedeného nad úroveň DPS. Deska dále obsahuje resetovací tlačítko a indikační LED. [68] [69]

Další varianta Main Boardu **LilyPad Arduino Simple** (obr. 32) vychází ze základní verze. Má však méně pinů, oproti předchozí obsahuje navíc spínač napájení, konektor JST pro připojení lithium polymerové baterie (Li-Pol) a speciální obvod pro řízení jejího nabíjení založený na MCP73831 IC. [68]

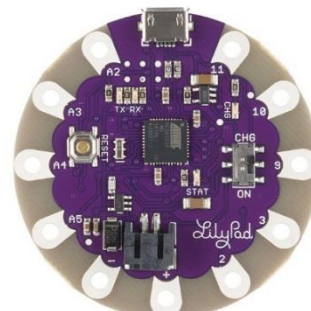
Třetí nabízená varianta Main Boardu výrobcem označována **LilyPad Arduino USB ATmega32U4 Board** (obr. 33) má přidanou hodnotu v podobě micro USB konektoru. Díky tomu není potřeba pro programování mikrokontroléru přes rozhraní FTDI využívat USB/UART převodník. Stačí tedy připojit USB kabel k počítači a jednoduše nahrát požadovaný program. [68] [70]



Obr. 31 – Základní  
varianta Main Boardu  
LilyPad [68]



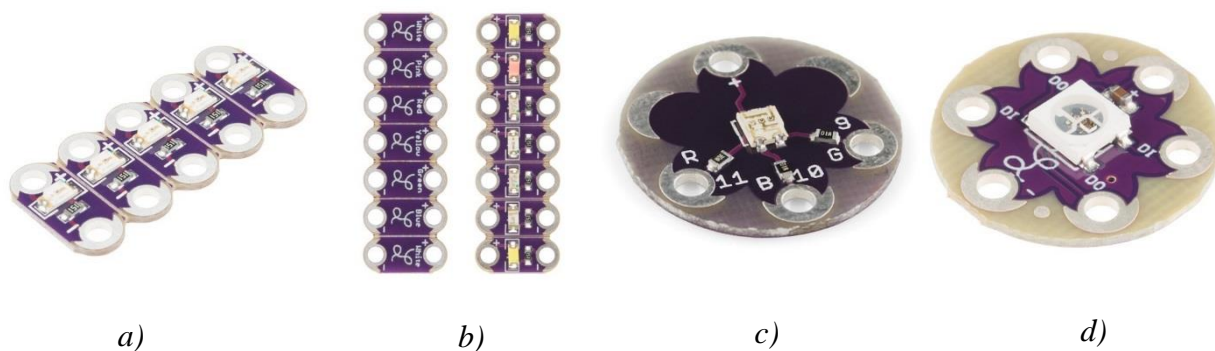
Obr. 32 – LilyPad  
Arduino Simple Board  
[70]



Obr. 33 – LilyPad  
Arduino USB [70]

### 3.1.2 LilyPad moduly s LED

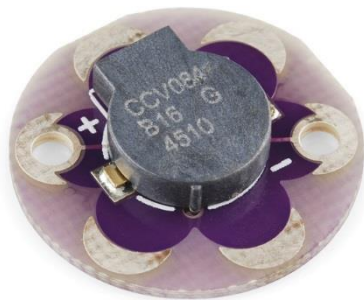
SparkFun nabízí v rámci řady LilyPad moduly s LED v různých barvách od standardních jednobarevných až po řízené RGB LED. Jednobarevné **LilyPad LED** (obr. 34 a) jsou dodávány po pěti spojených destičkách. Každá obsahuje jednu LED s předřadným odporem. Z celku lze jednotlivé destičky oddělit a využít libovolný počet samostatně. Destička s jednou LED a odporem je oválného tvaru o rozměrech 5,5 x 12,5 mm. V rámci nabídky jsou k dispozici tyto barvy: bílá, červená, růžová, modrá, zelená a žlutá. Lze pořídit obdobné **LilyPad Rainbow LED** (obr. 34 b) se sedmi LED s různými barvami (červenou, modrou, zelenou, žlutou, růžovou a dvěma bílými). Další variantou je **LilyPad Tri-Color LED**, což je kruhová DPS o průměru 20 mm s jedním LED čipem (obr. 34 c) zahrnujícím tři barvy v jednom – červenou, zelenou a modrou. Pro rozsvícení požadovaného kanálu je potřeba uzemnit jeden z odpovídajících vývodů. **LilyPad Pixel Board** (obr. 34 d) obsahuje řízenou RGB LED s integrovaným řídicím obvodem WS2812B. Vše je umístěno na kulaté DPS s průměrem 20 mm. Deska obsahuje 6 pinů. Dva napájecí a 4 datové – vstupní a výstupní. Každá barva čipu lze zapnout samostatně a lze tak rozsvítit libovolnou barvu. [70]



Obr. 34 – a) LilyPad LED, b) LilyPad Rainbow LED, c) LilyPad Tri-Color LED, d) LilyPad Pixel Board [70]

### 3.1.3 LilyPad výstupní zařízení

Další akční členy v rámci nabídky LilyPad Arduino jsou **LilyPad Buzzer** a **LilyPad Vibe Board**. LilyPad Buzzer je malý bzučák umístěný na kruhové desce o průměru 20 mm (obr. 35 a). LilyPad Vibe Board (obr. 35 b) je DPS o průměru 20 mm osazena malým vibračním motůrkem. [70]



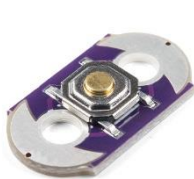
Obr. 35 – a) LilyPad Buzzer



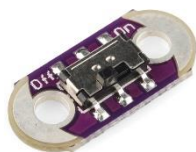
b) LilyPad Vibe Board [70]

### 3.1.4 LilyPad vstupní zařízení a senzory

Pro získávání informací z okolí jsou v sadě LilyPad k dispozici tyto moduly: modul s tlačítkem, modul s přepínačem, senzor světla, teplotní senzor a akcelerometr. Jednotlivé moduly jsou k vidění na obrázcích 36 a - e. [70]



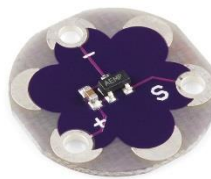
a)



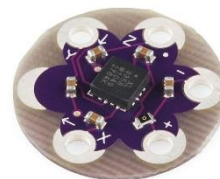
b)



c)



d)

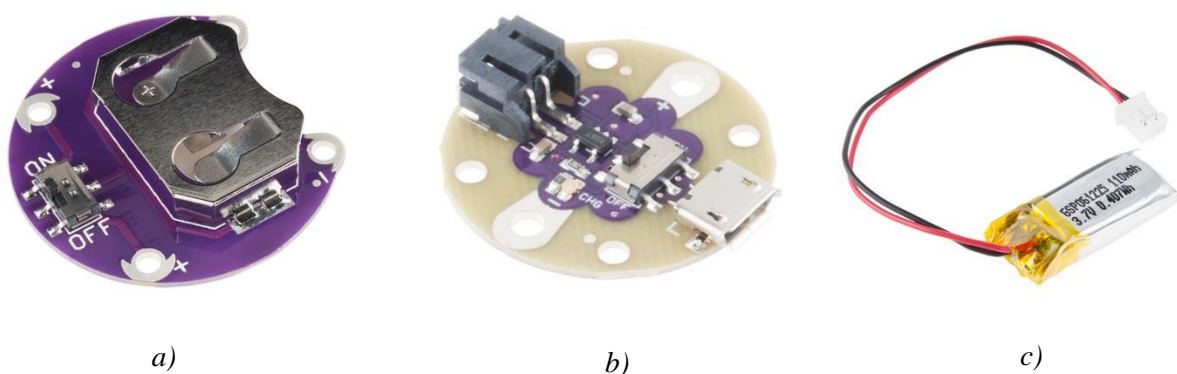


e)

Obr. 36 – a) tlačítko, b) přepínač, c) senzor světla, d) teplotní čidlo, e) akcelerometr [70]

### 3.1.5 LilyPad napájení

Pro LilyPad moduly, je k dispozici modul **LilyPad Coin Cell Battery Holder** pro vložení 3V knoflíkové baterie CR2032 (obr. 37 a) nebo modul **LilyPad Simple Power** pro připojení a nabíjení LiPol akumulátoru pomocí JST konektoru. (obr. 37 b). Akumulátor **E-Textiles Battery – 110 mAh** je také součástí sady LilyPad (obr 37 c). [70]



Obr. 37 – a) Držák baterie, b) Nabíječka, c) Akumulátor LiPol [70]

Držák baterie CR2032 je vybaven spínačem pro možnost zapnutí, resp. vypnutí napájení. Má čtyři vývody (2 pro kladný a 2 pro záporný pól) a průměr DPS je 20 mm. Nabíječka pro LiPol akumulátory je kromě konektoru JST osazena mikro USB konektorem a napájecím přepínačem. Akumulátor může nabíjet proudem až 500 mA. Akumulátor o rozměrech 5,7 mm x 12 mm x 28 mm má kapacitu 110 mAh, napětí 3,7 V a má ochranu proti zkratování, Výrobce nabízí akumulátory i v dalších kapacitách (400 mAh a 850 mAh). [70]

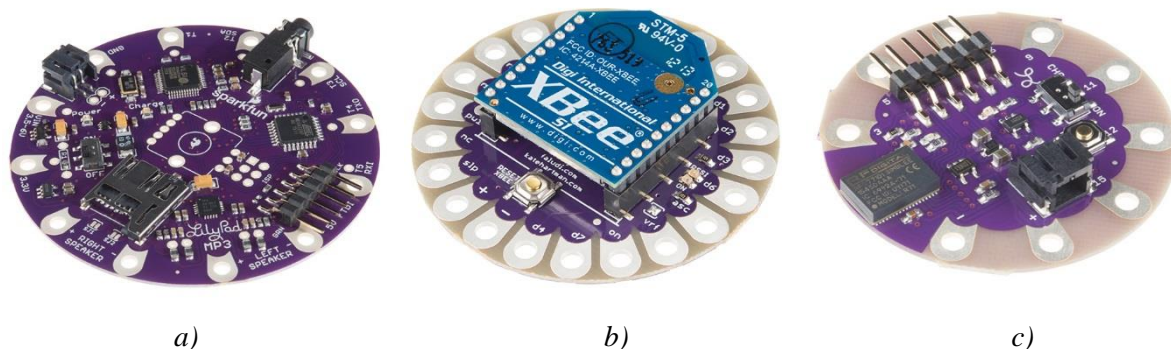
### 3.1.6 LilyPad speciální desky

Kromě výše zmíněných jednoduchých modulů, nabízí společnost SparkFun také složitější moduly, které dají aplikacím ještě větší potenciál.

Jedním z nich je modul **LilyPad MP3** (obr. 38 a), který umožňuje díky mikroprocesoru ATmega 328p s bootloaderem Arduino a dekódovacím čipem VS1053B MP3 dekódovat a přehrát soubory MP3 (i další zvukové formáty) načtené z mikro-SD karty, pro niž je na DPS osazen slot. Modul je vybaven stereo audio zesilovačem, JACK konektorem pro připojení sluchátek a umožňuje nahrát vlastní firmware. [70]

Modul **LilyPad XBee** (obr. 38 b) je osazený konektory kompatibilními s moduly XBee. To je rodina různých bezdrátových zařízení kompatibilních s Arduino. Díky této možnosti rozšíření lze vytvářet rozsáhlé sítě bezdrátově propojených zařízení. [70]

**LilyPad Simblee BLE Board – RFD77101** (obr. 38c) je modul umožňující komunikaci pomocí Bluetooth Low Energy (BLE, resp. Bluetooth 4.0). Díky tomu je možné snadno komunikovat s mobilními aplikacemi a jednoduše propojovat textilní projekty s IoT. Veškeré potřebné kódování se provádí v Arduino IDE a poté se nahraje do mobilního zařízení. Modul je vybaven procesorem ARM Cortex M0, 128kB FLASH pamětí, 24kB RAM pamětí a dvěma krystaly s taktem 16 MHz, resp. 32 kHz. Také má konektor pro připojení baterie a tlačítko pro vypnutí. [70]



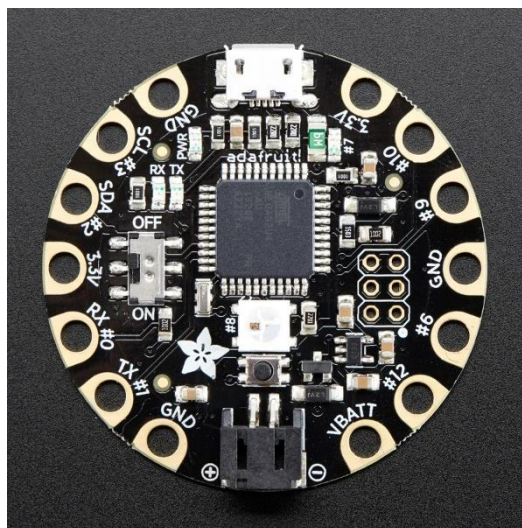
Obr. 38 – a) LilyPad MP3, b) LilyPad XBee, c) LilyPad Simblee BLE Board [70]

## 3.2 FLORA

Obdobnou platformou, jako předchozí LilyPad, je sada modulů Flora od společnosti Adafruit Industries. Moduly Flora mají rovněž kruhový tvar a jsou kompatibilní s Arduino mikrokontroléry. Společnost Adafruit nabízí k sadě modulů v rámci systému Adafruit Learning System množství výukových programů pro snadné vytváření textilních aplikací. [71]

### 3.2.1 Základní deska FLORA

Základní deska Flora (obr. 39) je hlavní řídicí jednotkou pro aplikace postavené z modulů sady Flora. Destička má tvar kruhu s průměrem 45 mm. Výška DPS vč. komponent je 7 mm a váží 4,7 g. Obsahuje mikroprocesor ATmega32U4, mikro USB konektor, konektor JST pro napájení s ochranou Schottkyho diodou, vypínač napájení, resetovací tlačítko a konektor ICSP pro možnost přeprogramování. Součástí desky jsou 4 indikační LED a 1 barevná LED Flora RGB NeoPixel. Pro napájení lze využít baterie typu Lion/LiPoly, LiFe, NiMh/NiCad s napětím od 3,5 V do 16 V. Deska nemá vestavěnou nabíječku baterií. Dle výrobce je to z bezpečnostních důvodů, aby bylo sníženo riziko vzniku požáru. [71][72]



Obr. 39 – FLORA – základní deska [71]

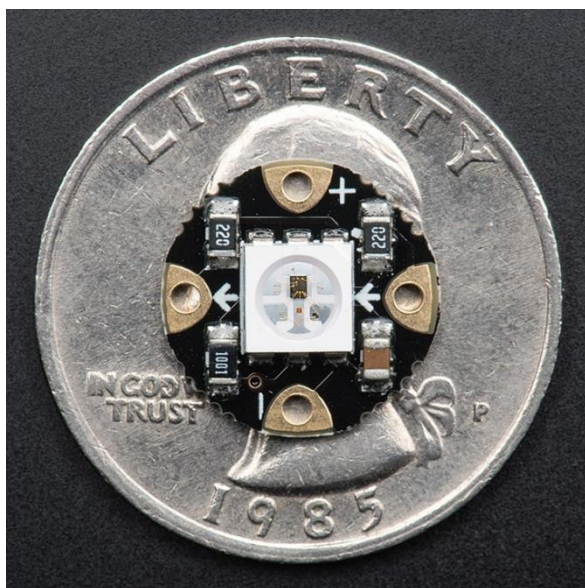
### 3.2.2 FLORA moduly s LED

**Flora RGB Smart NeoPixel** (obr. 40) je RGB čip WS2812B umístěný na DPS. Deska má čtyři vývody. Dva pro napájení a k tomu jeden vstupní a druhý výstupní pro možnost řazení jednotlivých modulů do řetězce. Pro ovládání až 50 těchto modulů stačí pouze jeden výstupní pin ze základní desky. V případě, že budou moduly napájeny samostatně z externího zdroje, může jich řídit až 500. Jako napájecí napětí pro tento modul

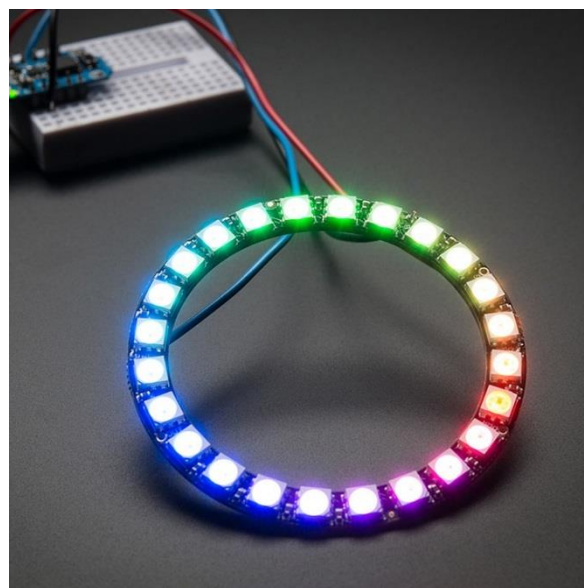


je doporučeno 5 - 9 V. Modul může fungovat i s napětím 3,5 V, ale intenzita LED bude výrazně menší. Při rozsvícení všech tří čipů (bílá barva) odebírá modul 60 mA. [72] [71]

Modul s LED je **NeoPixel Ring** (obr. 41) je prstenec složený z různého počtu individuálně adresovatelných RGB LED WS2812B podle varianty s počtem 12 až 60 RGB čipů. Rozměry i cena se pak odvíjí od počtu diod na prstenci. Pro řízení tohoto modulu stačí pouze využít pouze jeden pin základní desky. Každý čip díky řízení odebírá konstantní proud 18 mA i v případě nestálého napětí. Nedochozí tak ke kolísání intenzity barev. [71]



Obr. 40 – Flora RGB Smart NeoPixel [71]



Obr. 41 – Flora NeoPixel Ring [71]

### 3.2.3 FLORA senzory a další moduly

Všechny rozšiřující moduly komunikují na rozhraní I<sup>2</sup>C a jsou napájeny stejnosměrným napětím 3 V. Modul s názvem **FLORA Accelerometer/Compass Sensor** (obr. 42 a) slouží pro snímání směru pohybu objektu, na kterém je umístěn. Je založen na snímači LSM303DLHC, který obsahuje dva senzory: tříosý akcelerometr a senzor magnetického pole. [71]

Podobným modulem jako předcházející je modul s označením **FLORA 9-DOF Accelerometer/Gyroscope/Magnetometer** (obr. 42 b). Oproti předchozímu má o jeden senzor navíc a tím je tříosý gyroskop, který měří směr natočení. Tímto vylepšením je dosaženo lepší orientace. [71]

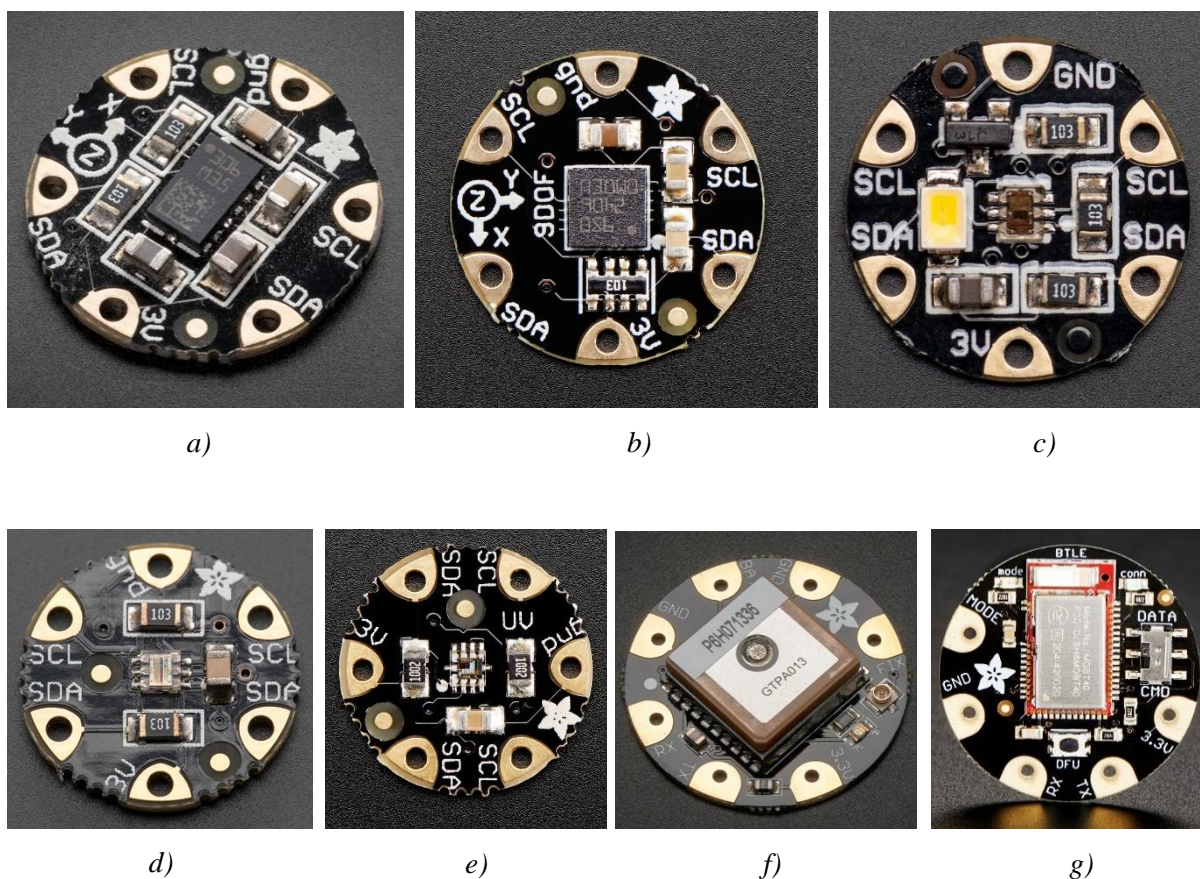
Modul **Flora Color Sensor** (obr. 42 c) dokáže pomocí snímače TCS34725 rozlišovat barvy na základě snímání jejich barevné teploty. Aby bylo snímání barev co nejpřesnější, je v čipu integrován filtr infračerveného záření. [71]

Se světlem pracuje i senzor **Flora Lux Sensor** (obr. 42 d). Pro snímání využívá digitální snímač TSL2561, jehož výhodou je, že umožňuje snímání infračerveného (IR) i viditelného spektra. Dynamický rozsah se pohybuje od 0,1 do 40 000 lx. V režimu snímání odebírá proud cca 0,5 mA a v klidovém režimu jen 15  $\mu$ A. Napětí může být v rozmezí 2,7 V až 3,6 V. [71]

Pro snímání UV záření existuje v sadě modul **Flora UV Index Sensor** (obr. 42 e) osazený snímačem SI1145, který dokáže vypočítat index UV. Tento senzor nesnímá skutečné UV záření, ale vypočítává jej na základě změřeného IR a viditelného záření. [71]

Pro složitější textilní aplikace obsahuje sada GPS modul **Flora Wearable Ultimate GPS Module** (obr. 42 f). Čip dokáže sledovat až 22 satelitů na 66 kanálech s vysokou citlivostí. Má velmi nízký odběr proudu při přijímání signálu, a to 20 mA. Výhodou modulu je integrovaná FLASH paměť. Modul si na tuto paměť ukládá získaná data a odešle je řídicí jednotce až podle potřeby. Díky tomu je šetřena energie. [71]

Modul **Flora Wearable Bluefruit LE Module** (obr. 42 g) umožňuje propojit textilní aplikaci osazenou tímto modulem přes Bluetooth s mobilním zařízením a zapojit ji tak do IoT. Tento modul výrazně rozšiřuje možnosti ovládání textilních aplikací. Jednoduchou aplikací je možnost ovládání změn barev LED v modulu Flora RGB Smart NeoPixel přes mobilní aplikaci. [71]



Obr. 42 – a) FLORA Accelerometer/Compass Sensor, b) FLORA 9-DOF, c) Flora Color Sensor, d) Flora Lux Sensor, e) Flora UV Index Sensor f) Flora GPS module, g) Flora Bluetooth module [71]

### 3.3 SquareWear

SquareWear verze 2.0 (obr. 43) je čtvercová deska o rozměrech 4,3 cm x 4,3 cm využívající rovněž Arduino a upravená pro nositelné projekty. Jako moduly předchozích řad má namísto pinů na obvodu prokovené otvory vhodné pro přišití vodivou nití, nebo nasazení na kovové drůtky pro snadnější odebrání desky z textilie. Dle [73] lze tyto otvory využít také pro dotykové snímání. Základem je mikroprocesor ATmega328 pracující na úrovni 3,3 V a 12 MHz. Kromě něho jsou na DPS: Konektor JST pro připojení externí lithiové baterie, mini-USB pro sériovou komunikaci, nabíjení lithiové baterie, a programování, napájecí spínač a držák s dobíjecí baterií LIR2032 o kapacitě 45 mAh. Dále obsahuje univerzální tlačítko, RGB LED, bzučák, světelný senzor, snímač teploty a tři MOSFET tranzistory typu N pro řízení vysokého proudu. Od této verze se odvíjí verze SquareWear Mini. [73] [74]



Obr. 43 – SquareWear 2.0 [73] Obr. 44 – SquareWear mini [75] Obr. 45 – RGB matice ze SW [75]

### SquareWear Mini

Tato o 25 % zmenšená verze (obr. 44) vychází z výše zmíněné desky SquareWear 2.0. Má stejné vybavení s výjimkou RGB LED a držáku s baterií LIR2032. Navíc má však EEPROM paměť o velikosti 16 kB a místo tří MOSFET tranzistorů obsahuje pouze dva. [75]

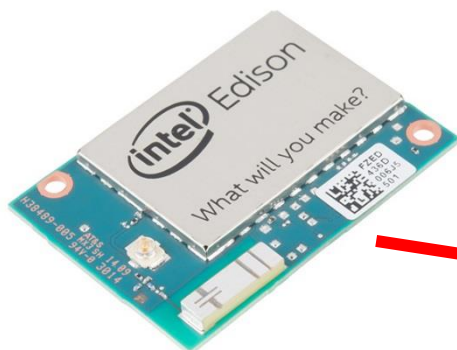
#### 3.3.1 SquareWear RGB panel

SquareWear nemá sadu doplňujících modulů jako tomu je například u sady Flora či Lilypad. Jediným nalezeným rozšiřujícím modulem je speciálně navržená DPS s maticí RGB LED (obr. 45), kterou lze snadno připojit pomocí druků z druhé strany destičky SquareWear. Pro tuto možnost poskytuje společnost software umožňující interaktivní návrh obrazových animací. [75] Nicméně SquareWear lze připojit díky kompatibilitě k dalším produktům z rodiny Arduino a tím její funkcionalitu značně rozšířit.

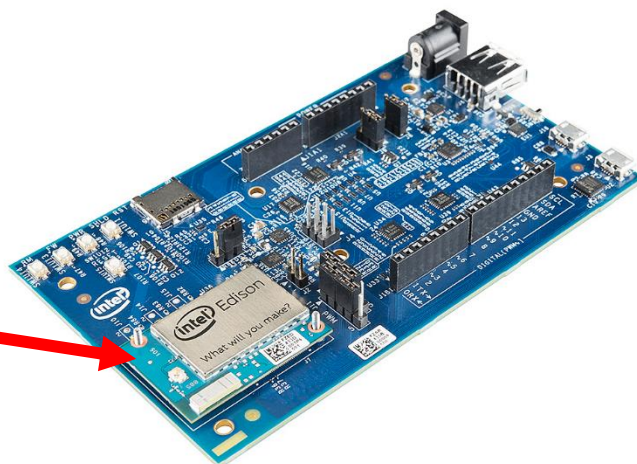
### 3.4 Intel Edison

Intel Edison (obr. 46) je jednočipový počítač vyvinutý společností Intel pro nositelnou elektroniku o rozměrech přibližně (25 x 35,5 x 3,9) mm. Základem je dvoujádrový procesor Intel Quark vyráběný 22nm technologií a pracující na frekvenci 500 MHz. K dispozici má paměť RAM o velikosti 1 GB. Počítač s okolím komunikuje pomocí Bluetooth a WiFi. Samotný mikropočítač zvládne ovládat díky integrovaným

komunikačním rozhraním spoustu aplikací. Nicméně pro složitější aplikace je vhodné k němu koupit Intel Edison Kit (obr. 47). [76] [77] Díky nízkému výkonu a malým rozměrům je ideální pro projekty, které potřebují spoustu výpočetní síly, ale nemají možnost, aby byly napájeny vyšším výkonem. [78]



Obr. 46 – Intel Edison [78]



Obr. 47 – Intel Edison Kit [76]

### 3.4.1 Intel Edison Kit

Samotnému SoC (jednočipový počítač) Intel Edison chybí klasické konektory umožňující jednoduchou komunikaci s uživatelem a dalšími zařízeními. Z tohoto důvodu je k dispozici základní prototypovací deska **Intel Edison Kit** od společnosti Intel. Deska obsahuje například USB porty, čtečku micro SD, piny pro analogovou i digitální komunikaci. Díky tomu může Intel Edison komunikovat se spoustou různých periférií, kterými mohou být například senzory. [76] [77]

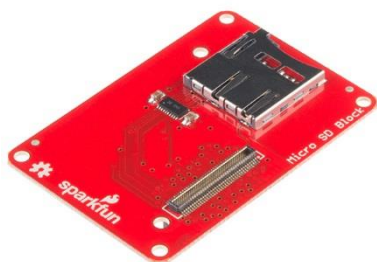
### 3.4.2 Rozšiřující kity

V rámci řady Sparkfun Block jsou k dispozici rozšiřující moduly pro SoC Intel Edison, které lze umístit na textilií. Na trhu jsou k dispozici tři moduly s různými rozšířeními. Prvním z nich je **SparkFun Block pro Intel Edison – UART**. Tento modul umožňuje Intel Edison rozšířit o rozhraní UART. Druhým je **SparkFun Block pro Intel Edison – PWM**. Díky tomuto rozšíření lze získat osm kanálů k ovládní PWM na sériové sběrnici I<sup>2</sup>C a ovládat například až osm servomotorů. Poslední kitem je **SparkFun Block**

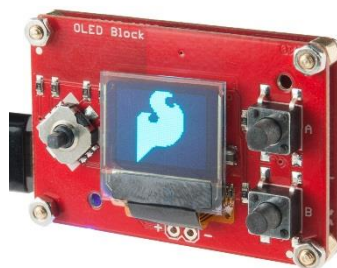
**pro Intel Edison – Console.** Toto rozšíření slouží pro zajištění napájení v případě složitějších aplikací, které by výkonově nezvládl samotný Intel Edison. Tento blok dokáže zajistit napětí až 4 V a proud 1,5 A proudy k tomu, aby mohl Intel Edison napájet další rozšiřující desky. [79]

SparkFun nabízí celou řadu rozšiřujících modulů s různými doplňujícími funkcemi. Obdobně jako je tomu u řady LilyPad a Flora. Za zmínku stojí například modul se slotem pro micro SD (obr. 48) vhodný pro použití v aplikacích, kde je potřeba ukládat velké množství dat, modul s OLED displejem s čtyřcestným joystickem (obr. 49), modul s lithium-polymerovou baterií nebo modul s GPIO porty. [78]

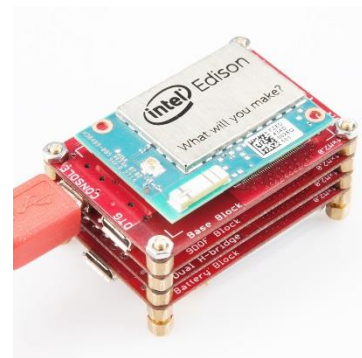
Rozšiřující moduly od společnosti SparkFun lze skládat na sebe do tzv. Stacků (obr. 50) a snadno tak rozšiřovat funkčnost mikropočítače Intel Edison. [78] Z obrázků 48 až 50 je však patrné, že jednotlivé moduly nejsou uzpůsobeny pro propojování pomocí vodivých nití a nejsou tak vhodné k integraci do textilií.



Obr. 48 – modul se slotem pro SD [78]



Obr. 49 – modul s OLED [78]



Obr. 50 – systém skládání modulů do „Stacků“ [78]

### 3.5 Xadow

**Základní deska Xadow** (obr. 51) od společnosti Seeed o rozměrech 25,43 mm x 20,35 mm je založena na řadiči ATmega32U4 s taktem 16 MHz stejně jako základní deska Flora. Je kompatibilní s řadou Arduino a její malé rozměry, nízká spotřeba energie a vysoký výkon jsou v souladu s principy nositelných technologií. Vestavený řadič má 32 kB FLASH paměť, 2,5 kB SRAM paměť a 1 kB EEPROM paměť. Deska pracuje na napěťové úrovni 3,3 V a může být napájena přes USB nebo z lithiové baterie připojené

do JST konektoru. USB lze samozřejmě využít také pro nahrání programu do mikroprocesoru. Proudová zatížitelnost I/O pinů je 40 mA. Deska obsahuje 20 digitálních I/O pinů z nichž 7 podporuje PWM a 12 analogových vstupních pinů. [80]

K základní desce existuje mnoho rozšiřujících modulů s rozdílnými funkcemi, jako tomu bylo u výše zmíněných nabízených sad. Ty se k základní desce jednoduše připojí pomocí flexibilních plochých kabelů. Spektrum rozšiřujících modulů je rozsáhlé a dále bude popsáno jen několik z nich vybraných.



Obr. 51 – Základní deska Xadow [81]



Obr. 52 – modul s dotykovou klávesnicí [81]



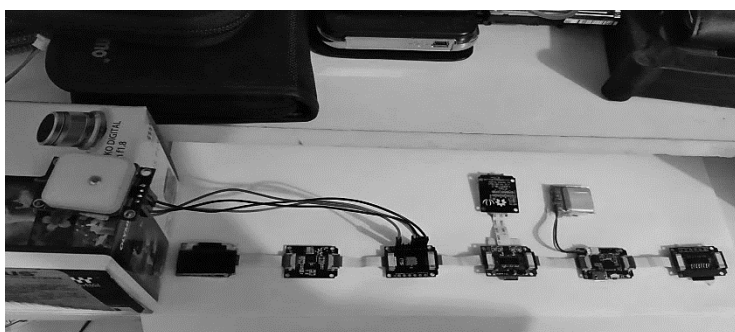
Obr. 53 – modul s TFT displejem [81]

### 3.5.1 Xadow rozšiřující moduly

**Xadow-Q Touch Sensor** (obr. 52) je dotyková klávesnice se třemi integrovanými klávesami na spodní straně DPS a čtyřmi prokovenými otvory umožňující připojit externí kapacitní plošky. Tyto plošky mohou být vytvořené čistě textilní formou. Cena takového modulu vyjde na 4 USD. Při napětí 3,3 V odebírá proud 1 mA. V nabídce je také modul **Xadow - Barometer BMP180** umožňující snímat tlak vzduchu v rozmezí 300 – 1100 hPa, teplotu okolí a vypočítávat informaci o nadmořské výšce s přesností 0,17 m. Pro IoT aplikace je v nabídce modul **Xadow GSM + BLE**, který má integrovaný slot pro nano SIM kartu a podporuje pásma 850, 900, 1800 a 1900 MHz. Zkratka „BLE“ v názvu produktu pak odpovídá podpoře protokolu Bluetooth 4. generace. Za zmínku stojí modul **Xadow 1.54 inch Touchscreen** (obr. 53), což je dotykový TFT displej s rozlišením 240 × 240 pixelů, které lze individuálně ovládat a zobrazit tak až 262 tisíc barev. Pro komunikaci s displejem slouží čtyřbitové sériové rozhraní. Data jsou přenášena dvoubitově a ke komunikaci s kapacitním dotykovým panelem je využíváno rozhraní I<sup>2</sup>C. [81]

V sadě rozšiřujících modulů lze mj. najít i panel s maticí 5 x 7 LED. Dále pak moduly s GPS, NFC, kompasem, UV senzorem, vibračním motorem, akcelerometrem či modul se dvěma EEPROM pamětmi o velikosti 32 kB. [81]

V článku [82] je uvedeno, že Xadow jsou nejvhodnější pro oblast nositelných technologií z hlediska jejich prátelnosti, obsahu digitálních a analogových pinů a možnosti bezdrátové komunikace. Pro oblast textilních aplikací, kde chceme jednotlivé součásti propojovat vodivými vyšívacími cestami, abychom dosáhli druhé úrovně integrace elektroniky do textilu, však již vhodné nejsou. Ačkoli lze například k dotykovému senzoru připojit kapacitní plošky pomocí vodivých nití, samotný modul se základní deskou lze propojit pouze pomocí flexibilních plochých kabelů typu FFC (obr. 54 a 55). [82] [83]



Obr. 54 – Spojování rozšiřujících modulů Xadow [83]



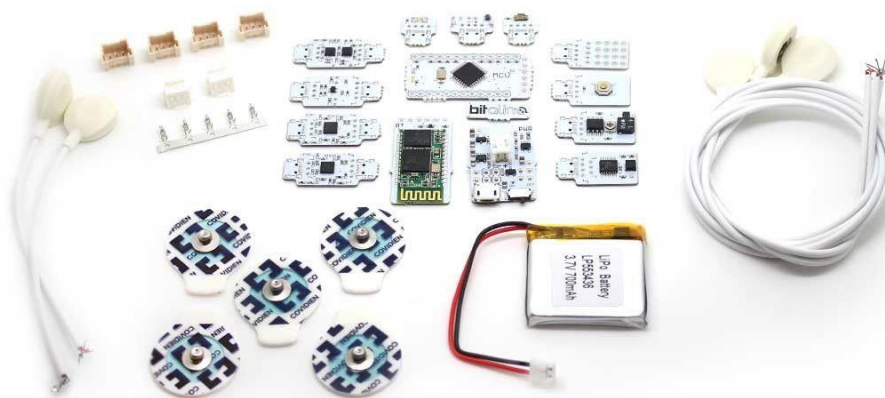
Obr. 55 – Aplikace Xadow [83]

### 3.6 BITaliano

BITaliano je sada elektronických komponent od portugalské společnosti PLUX wireless biosignals S. A. Sada slouží především pro získávání a zpracování biometrických dat. Společnost nabízí celkem 6 typů sad rozdělených po třech do dvou kategorií. Jedna kategorie podporuje klasické Bluetooth rozhraní a druhá kategorie BLE rozhraní. V každé kategorii jsou tedy 3 sady rozdělené na Board Kit BT, Freestyle Kit BL a Plugged Kit BL. Toto rozdělení respektuje možnosti připojování jednotlivých bloků k základní desce a mezi sebou. Sada Board Kit je tvořena jedním celkem. Základní deska je s ostatními moduly propojena již z výroby. Freestyle Kit sada (obr. 56) má jednotlivé bloky oddělené a lze je libovolně propojovat například vodivými nitěmi. Poslední typ – sada Plugged Kit



je dodávána s připravenými konektory. Jednotlivé moduly lze libovolně propojovat pomocí dodávaného kabelu a není potřeba vytvářet vodivá propojení. Každá sada obsahuje základní řídicí jednotku a různé druhy rozšiřujících modulů. [84] [85]



Obr. 56 – Sada BITalio Freestyle Kit BL [84]

### 3.6.1 Základní deska BITalio

Řídicí jednotku tvoří 8bitový mikrokontrolér AVR TMega328P od společnosti Atmel. Ten převádí analogové signály získané ze senzorů rozšiřujících modulů na digitální. Ke zpracování dat (i v reálném čase) lze využít volně a zadarmo dostupný SW OpenSignals software nebo využít API pro platformy jako OS Android, iOS, či webové rozhraní. [85] Mikrokontrolér může být nakonfigurován na frekvenci až 1, 10, 100 nebo 1000 Hz, podporuje 6 analogových vstupů, 2 digitální vstupy a 2 digitální výstupy. Pro řídicí jednotky komunikaci s počítačem lze využít pouze Bluetooth rozhraní. [84]

### 3.6.2 Rozšiřující moduly BITalio

Každá sada obsahuje kromě základní desky BITalio také množství senzorů, aktuátorů a dalších funkčních prvků např. senzor pro měření EKG a EEG, senzor intenzity osvětlení, akcelerometr nebo teploměr. Z akčních prvků jsou to: LED, bzučák, D/A převodník a vibrační motůrek. Dalšími jsou Bluetooth, resp, BLE (podle varianty), napájecí blok, WiFi. V každé sadě je také Li-Po akumulátor o kapacitě 500 mAh a elektrody pro získávání biometrických údajů z lidského těla. [84]

### 3.7 Igloo

Pro částečnou integraci elektroniky do e-textilií je vhodná řada Igloo Fashion Electronics. Jednotlivé DPS této řady jsou primárně uzpůsobeny pro propojování vodivými nitěmi pomocí prokovených otvorů o průměru 5 mm, nebo za pomoci druků. [85]

#### 3.7.1 Základní deska Igloo

Řídicí programovatelná jednotka Igloo (obr. 57) je založena na mikroprocesoru PICAXE 14M2 vyráběném společností Microchip Technology. Mikroprocesor disponuje operační pamětí o velikosti 2048 B a RAM pamětí o velikosti 512 B. Pracuje na frekvenci 32 MHz. [86] Kromě mikroprocesoru obsahuje deska stmívatelnou bílou LED, tlačítko, 3,5mm stereo konektor a konektor JST pro připojení akumulátoru. K dispozici je 6 I/O pinů a 4 piny pro napájení. Napájecí napětí může být v rozmezí od 3 V do 5,5 V. Rozměry čtvercové desky jsou: 40 mm x 40 mm x 7 mm. [87]



Obr. 57 – Základní deska Igloo [87]



Obr. 58 – modul pro osazení vývodové LED [88]



Obr. 59 – modul se senzorem světla [88]

#### 3.7.2 Rozšiřující moduly Igloo

Sadu Igloo doplňuje několik modulů, z nichž lze spíše vytvářet jednoduché aplikace s LED osvětlením nebo zvukovou signalizací. Z rozšiřujících modulů jmenujme: držák baterie CR2032, bzučák, posuvný přepínač, modul připravený pro osazení klasické vývodové LED (obr. 58) nebo senzor intenzity světla (obr. 59). [88]

### 3.8 Zhodnocení obchodně dostupných modulů

Na základě výše zmíněného je zřejmé, že sada ovládacích prvků LilyPad má v porovnání s ostatními nejrozšířenější portfolio prvků. V cenovém srovnání (viz tab. p1 v příloze) podle ceny základní desky vychází nejvýhodněji sada Igloo, naopak nejdražší sadou je sada BitAliano společnosti PLUX. Podle srovnání vybraných parametrů (tab. 1) je výhodné zaměřit se na sadu LilyPad, která jako jediná spolu s Intel Edison sadou je snadno dostupná v ČR. Avšak sada Intel Edison není uzpůsobena k integraci na textil pomocí vodivých nití. Další výhodou, proč zvolit LilyPad je napěťová úroveň napájení, která se pohybuje v rozmezí 2,7 až 5,5 V a díky tomu lze modul napájet z USB. Ačkoliv článek [82] uvádí, že všechny zmíněné moduly jsou pratelné, výrobci vyjma LilyPad tuto informaci neuvádějí.

Tab. 1 – Srovnání vybraných parametrů sad obchodně dostupných modulů<sup>6</sup>

Sada	Otvory pro přišití	Pratelnost	Piny		Bezdrátová komunikace	Napájecí napětí (V)	Program. základní deska	Dostupnost
			Digitální	Analogové				
LilyPad	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	2,7 - 5,5	ANO	v ČR dostupné (GME), zahraničí (TME aj.)
Flora	ANO	ANO	ANO	NE	NE	3,5 - 16	ANO	jen zahraniční e-shopy
SquareWear	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	3,7	ANO	jen zahraniční e-shopy
IntelEdison	NE	NE	ANO	ANO	ANO	3,3 - 4,5	ANO	v ČR dostupné (Alza), zahraničí
Xadow	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	3,3	ANO	jen zahraniční e-shopy
BITaliano	NE	ANO	ANO	ANO	NE	3,7	ANO	jen zahraniční e-shopy
Igloo	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	3 - 5,5	ANO	jen zahraniční e-shopy

<sup>6</sup> Podle článku [82] jsou všechny sady obchodně dostupných prvků pratelné

## 4. Praktická část – demonstrátor ovládacích prvků

Praktická část diplomové práce se zabývá návrhem a realizací demonstrátoru s ohledem na jeho dlouhodobou spolehlivost a odolnost vůči pracovním cyklům. Na základě rešerše na trhu dostupných ovládacích prvků jsem pro prvotní návrh vybral sadu LilyPad. Důvodem byla možnost snadného integrování jednotlivých modulů na podkladovou textilii přišitím přes prokovené otvory v DPS. Dále pak možnost prateľnosti, programovatelnosti, rozmanitosti modulů, ceny, a především snadné dostupnosti.

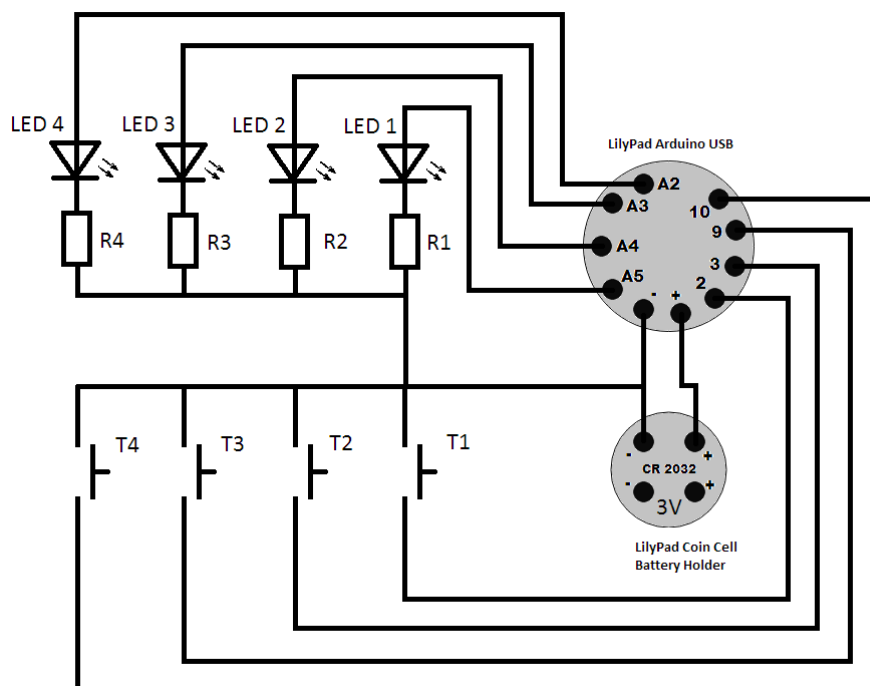
Jedním z možných využití takové aplikace je interiér autobusu. Zde by mohla být tlačítka integrována pod krycí textilní vrstvou na zadních stranách sedadel. Například nad odkládacím stolem, aby byla dobře viditelná a přístupná (obr. 60). Na krycí látku lze pak vyšít libovolný motiv představující funkci daného tlačítka skrytého pod ním. Informace o jeho stisknutí je předávána prostřednictvím vodivých cest do vyhodnocovací jednotky umístěné v prostoru pod sedadlem. Jednotka se následně postará o vykonání požadované funkce stejně, jako by byl stisknut konvenční spínač.



Obr. 60 – Koncept demonstrátoru

## 4.1 Koncept LilyPad – tlačítka + LED

Pro prvotní otestování a případnou snadno proveditelnou optimalizaci jsem navrhl jednoduchý koncept demonstrátoru, kde byly na textilii integrovány vybrané moduly ze sady LilyPad s tlačítky, moduly s LED, modul s držákem baterie a programovatelná základní deska pro ovládání celé aplikace. Layout aplikace je k vidění na obrázku 61.

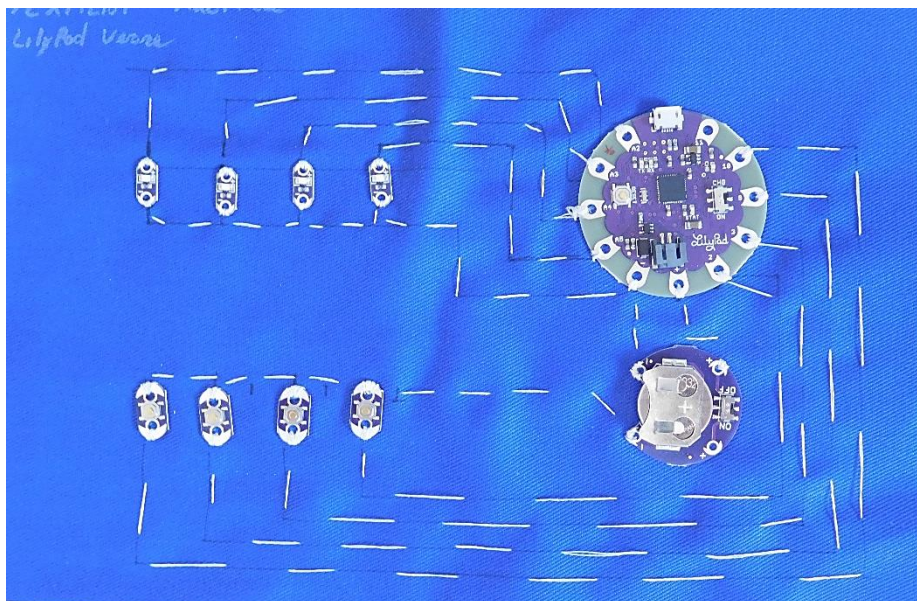


Obr. 61 – Ilustrativní schéma demonstrátoru s prvky ze sady LilyPad

### 4.1.1 Integrace na textilii

Moduly LilyPad jsou uzpůsobené k integraci na podkladovou textilii přišitím. K tomu mají na okrajích DPS prokovené otvory, přes které lze jednoduše provléci vodivou nit' a vytvořit tak vodivá spojení mezi jednotlivými moduly ze sady.

Výrobce na svých webových stránkách uvádí, že moduly se na textilii mají přišívát ručním šitím tak, že přes jednotlivé otvory v DPS představující I/O piny je provlečena vodivá nit. Hotový vzorek dle konceptu je k vidění na obrázku 62.



Obr. 62 – Hotový demonstrátor s moduly LilyPad integrovanými na textilii

#### 4.1.2 Programování řídicí jednotky

Základní deska LilyPad je vybavena programovatelným MCU ATmega32U, který byl naprogramován pomocí programovacího jazyka C++ ve vývojovém prostředí Arduino IDE (viz příložené DVD). Po stisknutí jednoho z tlačítek vyhodnotí tuto skutečnost řídicí jednotka dle naprogramovaného skriptu a odešle signál k rozsvícení příslušné LED.

#### 4.1.3 Zhodnocení demonstrátoru LilyPad

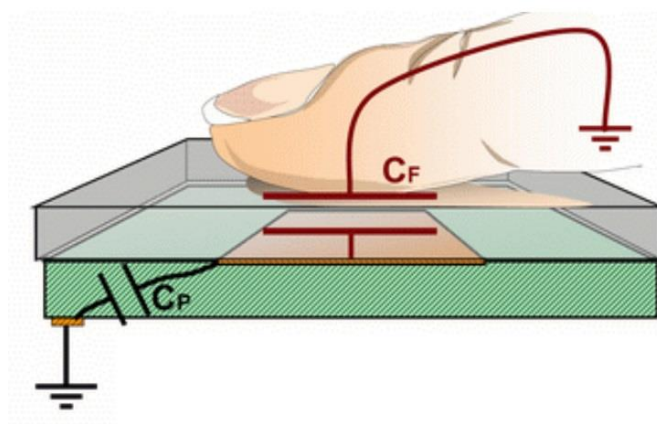
Již z principu je zřejmé, že moduly z komerčně dostupných sad se dají integrovat do e-textilií maximálně ve druhém stupni integrace. Ne jinak je tomu u sady LilyPad a tato skutečnost činí každou takto vzniklou aplikaci nevhodnou k běžnému dennímu nošení, mj. s ohledem na jeho dlouhodobou spolehlivost a odolnost. Prvky vyčnívají vysoko nad povrch textilie, což při využití ve zmiňovaných sedadlech autobusu nečiní velký problém, neboť tam je dostatek prostoru pro jejich překrytí, avšak při využití v oblecích, již to problém být může. Dále je problém s mechanickým namáháním, kdy po nějaké době používání došlo k povolení stehů a nedostatečnému kontaktu a následné nefunkčnosti celé aplikace. Velký problém je baterie CR2032, která nemá dostatečnou kapacitu pro dlouhodobé fungování této aplikace. Další faktor je cena. Tento konkrétní demonstrátor vyšel přibližně na 850 Kč.

## 4.2 Kapacitní tlačítka

Vzhledem k výše zmíněným negativním vlastnostem demonstrátoru vyrobeného pomocí komerčně dostupné sady jsem hledal jiné řešení, které by alespoň některé nedostatky odstranilo. Hledal jsem takové řešení, které by umožňovalo aplikaci dostatečně zjednodušit, aby jednotlivé prvky mohly být co nejvíce integrovány do textilie – nejlépe ve třetím stupni integrace, bylo pratelné, odolné proti mechanickému namáhání a pro vyšití vodivých drah mohlo být využito automatického vyšití. Při hledání řešení vyššího stupně integrace tlačítek do textilie se mi jako vhodné jevílo využití jednoduchého principu kapacitních tlačítek.

### 4.2.1 Princip kapacitních tlačítek

Konvenční kapacitní tlačítka fungují na principu detekce změny kapacity snímací elektrody. Přechod z jednoho stavu do druhého je u nich ovládán nesilovým dotykem či případně jen přiblížením ke snímací ploše. Přiblížením prstu, resp. libovolného vodivého či nevodivého předmětu dojde ke změně kapacity  $C$  mezi elektrodou umístěnou na nevodivé desce a zemí (obr. 63), která je v klidovém případě tvořena pouze parazitní kapacitou  $C_P$  samotné nosné desky. Přiblížením, či dotykem k dotykové ploše se lidský prst chová jako druhá uzemněná elektroda a k původní kapacitě  $C_P$  se přičte kapacita  $C_F$ . Výsledkem je tak celková kapacita  $C$  tvořená paralelním zapojením kapacit  $C_P$  a  $C_F$ . Tato změna celkové hodnoty kapacity je následně snímána příslušným vyhodnocovacím obvodem a je tak detekován stisk. [89] [90]



Obr. 63 – Princip kapacitního snímání [90]

### 4.3 Textilní kapacitní tlačítka

Na základě zjištění poznatků o kapacitních tlačítkách jsem se rozhodl využít tento princip v demonstrátoru textilních kapacitních tlačítek. Snímací plochu vyšít vodivou hybridní nití a tím tak dosáhnout jejich integrace do textilie. Tím by tlačítka téměř splýnula s povrchem textilie a kontakt s vodivou cestou by byl spolehlivý. Jako vyhodnocovací obvod změny kapacity jsem vybral obvod TTP224N popisovaný v kapitole 2.2.1. Díky použití vodivé hybridní nitě by mohly být samotné LED připájeny přímo na vodivé pájecí plošky a nebyla by pro ně potřeba žádná nosná DPS.

Pro techniku automatického vyšívání motivu elektrického obvodu s kapacitními tlačítky jsem využil vyšívací stroj Bernina 750 QE, do kterého jsem přes USB rozhraní přenesl předem navržený motiv z programu CorelDRAW. Ten jsem dále upravil v BERNINA Embroidery Software V7 (dále *BERNINA SW*). Tento SW umožňuje vytvářet samostatné objekty nebo pouze vodivé cesty. Nabízí rovněž možnost nastavit délku stehů a rozestup jednotlivých vpichů jehly, což určuje hustotu výšivky nebo umožňuje zvolit, zda má být plocha plně vyšita, či má být vyšit pouze obrys. Stejně tak je možné v BERNINA SW nastavit velikost a vzdálenost jednotlivých objektů a mnoho dalšího.

### 4.4 Textilní tlačítka – verze 1.1

Navržený demonstrátor textilních tlačítek se skládá ze dvou částí – vnitřní (funkční) a vnější. Vnitřní textilie je koncipována jako funkční a jsou na ni vyšity vodivou nití textilní dotykové plochy představující tlačítka. Dotykové plochy jsou vodivými nitěmi spojeny s řídicí jednotkou umístěnou na DPS, která vyhodnotí příchozí informace a odešle signál k rozsvícení LED osazených nad textilními plochami. Tato vnitřní vrstva je následně překryta vnější vrstvou, na níž jsou vyšité motivy představující funkce jednotlivých tlačítek.

#### 4.4.1 Vnější vrstva

Nejdříve jsem se zabýval návrhem velikosti motivů na vnější textilií, a to především z praktického důvodu, neboť plocha se symbolem ohraničená kruhem představuje velikost plochy, které se uživatel dotýká, chce-li aktivovat příslušnou funkci. Na základě této



skutečnosti jsem zvolil optimální velikost dotykových ploch a jejich vzdálenost mezi sebou tak, aby uživatel snadno stiskl chtěné tlačítko. Pokud by velikost byla příliš malá a plochy blízko sebe, docházelo by k nechtěnému stisknutí tlačítek současně. Naopak větší plocha by zbytečně zabírala prostor a zvyšovala cenu demonstrátoru. Po zvážení všech aspektů jsem parametry stanovil následovně: průměr symbolu 20 mm a vzdálenost mezi středy jednotlivých symbolů 35 mm.

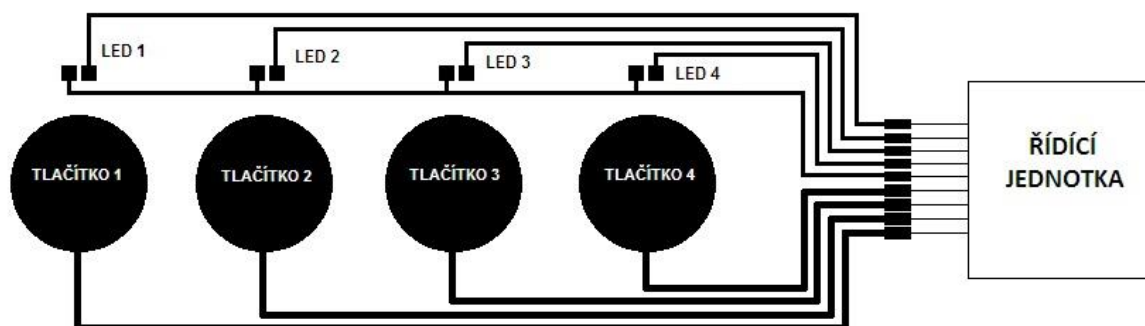
Dle ilustrativního návrhu (obr. 60) jsem v programu CorelDRAW nakreslil jednotlivé symboly pro „stop tlačítko“, „kontaktování řidiče“, „sepnutí osvětlení“ a „sepnutí klimatizace“ (obr. 64 a). Grafické symboly jsem následně upravil v programu BERNINA SW, kde jsem nastavil velikost ploch a vzdálenost mezi nimi podle stanovených parametrů. Dále jsem zvolil vhodný typ stehu a nastavil parametry vyšívání podle daného typu látky a zvolené nitě. Vytvořenou výšivku jsem importoval do vyšívacího stroje. Takto jsem získal vrchní textilní vrstvu textilních tlačítek. (obr. 64 b)



Obr. 64 – a) Návrh symbolů, b) Konvertovaný a upravený motiv v BERNINA SW

#### 4.4.2 Vnitřní vrstva

V dalším kroku jsem navrhl motiv pro vnitřní – funkční vrstvu (obr. 65). S ohledem k velikosti symbolů na vrchní vrstvě, byly vodivé plochy sloužící pro snímání stisku, navrženy tak, aby s ní po překrytí korespondovaly. Tedy 4 dotykové plochy ve tvaru kruhu s průměrem 20 mm a s mezerou 35mm mezi jejich středy. Z nich byly vyvedeny vodivé cesty zakončené rozšířenou plochou sloužící ke spojení s řídicí jednotkou. Jako řídicí člen byl zvolen již zmíněný obvod TTP224 4-CHANNEL CAPACITIVE TOUCH od společnosti Arduino, který dokáže zpracovávat signál změny kapacity ze 4 senzorů a umožňuje přímé řízení LED. Není tedy potřeba nic programovat. Koncept byl navržen tak, aby LED byly integrovány přímo na textilií. Proto jsem navrhl nad textilními tlačítky plošky o velikosti 2 mm x 2,5 mm s mezerou o velikosti 0,9 mm, na které byly po vyšítí osazeny vybrané LED. Z těchto plošek byly opět vyvedeny vodivé cesty zakončené rozšířenou plochou. Pro vyšítí vodivých cest jsem využil vodivou hybridní nit, aby k ní mohly být připájeny propojovací vodiče a LED.



Obr. 65 – Grafický návrh motivu pro textilní tlačítka verze 1.1

Grafický návrh motivu pro vnitřní vrstvu jsem stejně jako motiv pro vnější vrstvu vytvořil v programu CoreIDRAW a exportoval do programu BERNINA SW. Zde jsem nastavil rozměry, optimalizoval styl stehu a pořadí vyšívání jednotlivých součástí.

Motiv (obr. 66) jsem vyšil na bavlněnou látku vodivou nití, která ve své struktuře obsahuje kromě polyesterových (PES) vláken i 4 měděné drátky potažené stříbrem.



Obr. 66 – Vnitřní vrstva textilních tlačítek – verze 1.1

#### 4.4.3 Kontaktování

Jako rychlou metodu kontaktování řídicí jednotky a LED jsem zvolil pájení mikropájkou. Bylo však potřeba optimalizovat teplotu pájení. Při nízké teplotě se dostatečně netavil cín a nedocházelo k dokonalému propojení s vodivou nití. Naopak při vyšší teplotě docházelo k velmi rychlému přetavení stříbrných mikrodrátků v textilní vodivé nitě. Jako optimální teplota se ukázala teplota 320 °C.

#### 4.4.4 Zhodnocení verze 1.1

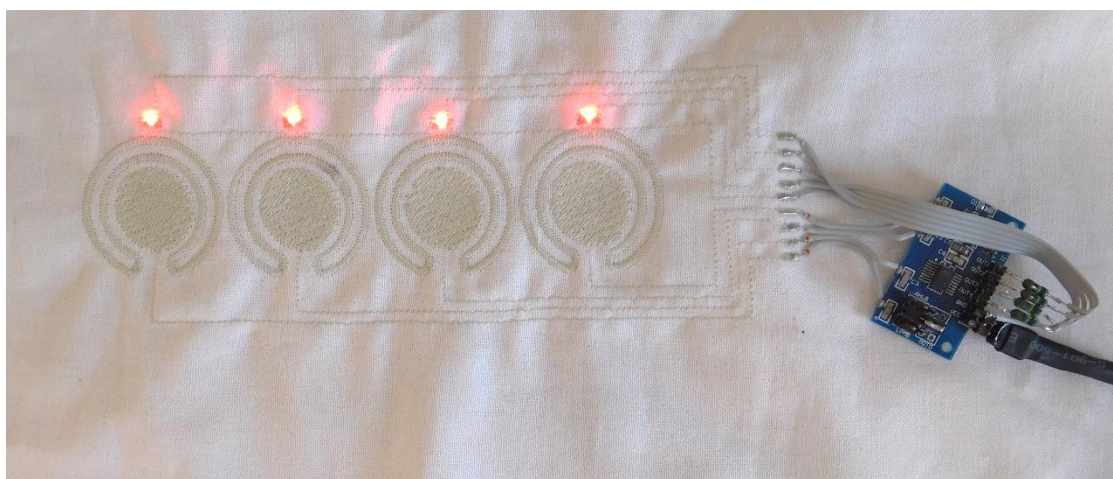
Fungování varianty demonstrátoru 1.1 nebylo zpočátku příliš spolehlivé a po několika minutách testování již dvě tlačítka na dotyk vůbec nereagovala. V jiném případě, zase tlačítko indikovalo stisk přesto, že se jej nikdo nedotýkal. Jako jedna z možných příčin by mohla být parazitní kapacita a také skutečnost, že díky zvětšení snímací plochy klávesnice o vodivé cesty mezi ní a vyšitou dotykovou plochou došlo ke změně kapacity vodivých cest. Omezením této parazitní kapacity jsem se zabýval ve verzi 2.1 (viz následující kapitola).

Také jsem zaregistroval problém se vzájemnou vzdáleností textilních pájecích plošek určených pro připájení LED a nakontaktování vodičů. Vzdálenost 0,9 mm v návrhu motivu nebyla optimální, kvůli otřepům vodivé nitě na kontaktních ploškách a díky jisté míře

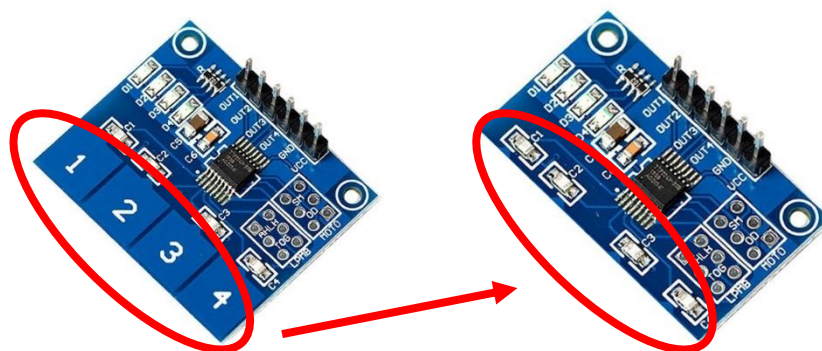
deformace samotné látky docházelo v těchto místech po vyšití ke zkratu. Při vyšívání další verze motivu jsem proto mezery mezi jednotlivými ploškami zvětšil.

#### 4.5 Textilní tlačítka – verze 1.2

U této verze textilních tlačítek jsem se zaměřil na zkoumání vlivu parazitní kapacity a možnosti jejího omezení. Okolo vyšitých dotykových ploch bylo navrženo odstínění spojené se zemí (*GND*), které je vidět na fotografii hotového demonstrátoru (obr. 67). Dále byly z řídicí jednotky TTP224 4-CHANNEL CAPACITIVE TOUCH odříznuty měděné dotykové plochy (obr. 68), aby se co nejvíce snížila kapacita vedení. Na základě předchozí zkušenosti jsem v *BERNINA SW* zvětšil i rozestupy mezi ploškami pro LED z 0,9 mm na 1,2 mm.



Obr. 67 – Verze 1.2 textilních tlačítek <sup>7</sup>



Obr. 68 – Odstranění dotykových ploch

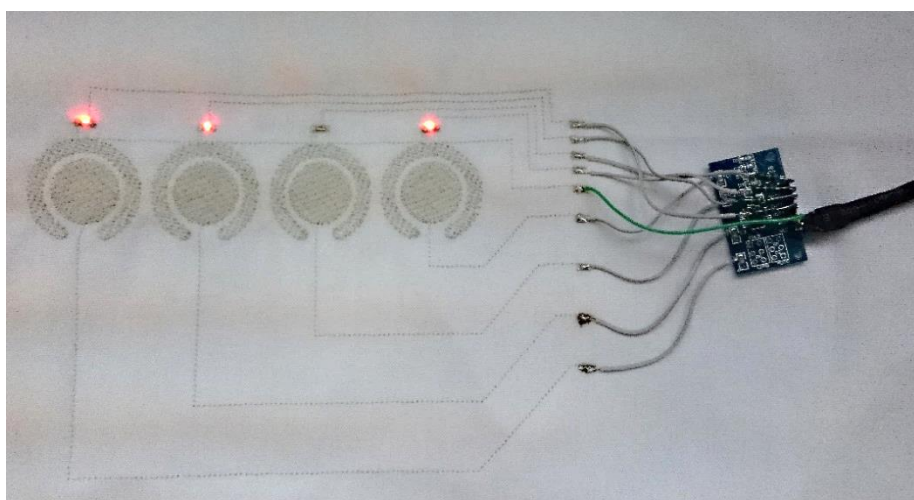
<sup>7</sup> LED na fotografii svítí i přesto, že není stisknuta odpovídající dotyková plocha. To je způsobeno tím, že obvod TTP224 je v režimu spínače a nikoli v režimu tlačítek

#### 4.5.1 Zhodnocení verze 1.2

I přes zmíněné úpravy nefungovala tato verze zprvu zcela spolehlivě. Opět zůstávaly LED rozsvícené i přesto, že tlačítka už nebyla stisknuta. Při dalším testování funkčnosti po 4 dnech ale demonstrátor ve verzi 1.2 fungoval podle předpokladů a velice spolehlivě. Pravděpodobná příčina tohoto chování by mohla být způsobena použitím pájecí kapaliny pro snazší připájení vodičů k textilním ploškám. Po aplikování způsobila pájecí kapalina vyšší vlhkost a ta způsobila nahodilé chování. Když pak kapalina vyschla, textilní tlačítka fungovala již spolehlivě. Avšak LED se rozsvítily i v případě dotyku na vodivou cestu mezi touchpadem a řídicí jednotkou. Tato vlastnost není žádoucí a její eliminaci jsem se zabýval ve verzi 1.3.

#### 4.6 Textilní tlačítka – verze 1.3

V této verzi jsem se snažil omezit schopnost reagovat na dotyk na vodivé cestě mezi dotykovou plochou a řídicí jednotkou. Podle údajů výrobce dodávaných k obvodu TTP224N lze snížit citlivost tím, že se zvýší kapacita kondenzátorů připojených paralelně k dotykovým plochám. Na řídicí jednotce jsem nahradil původní kondenzátory s kapacitou 30 pF kondenzátory o kapacitě 47 pF. Z důvodu snížení vzájemné kapacity mezi vodivými cestami vedoucími od dotykových ploch a zároveň z důvodu jednoduššího ověření reakce na dotyk na této vodivé cestě jsem zvětšil vzájemné rozestupy vodivých cest (obr. 69).



Obr. 69 – Verze 1.3 textilních tlačítek <sup>8</sup>

<sup>8</sup> Některé LED na fotografii svítí i přesto, že není stisknuta odpovídající dotyková plocha. To je způsobeno tím, že obvod TTP224 je v režimu spínače a nikoli v režimu tlačítek.

#### 4.6.1 Zhodnocení verze 1.3

Ani přes zvýšení kapacity paralelních kondenzátorů nebyla snížena citlivost na stisk na vodivé cestě natolik, aby nedošlo k vyhodnocení stisknutí a následnému rozsvícení LED. Větší rozestup vodivých cest byl výhodný pouze z hlediska obtížnějšího vícenásobného stisku více vodivých cest a tím pádem vícenásobnému rozsvícení LED.

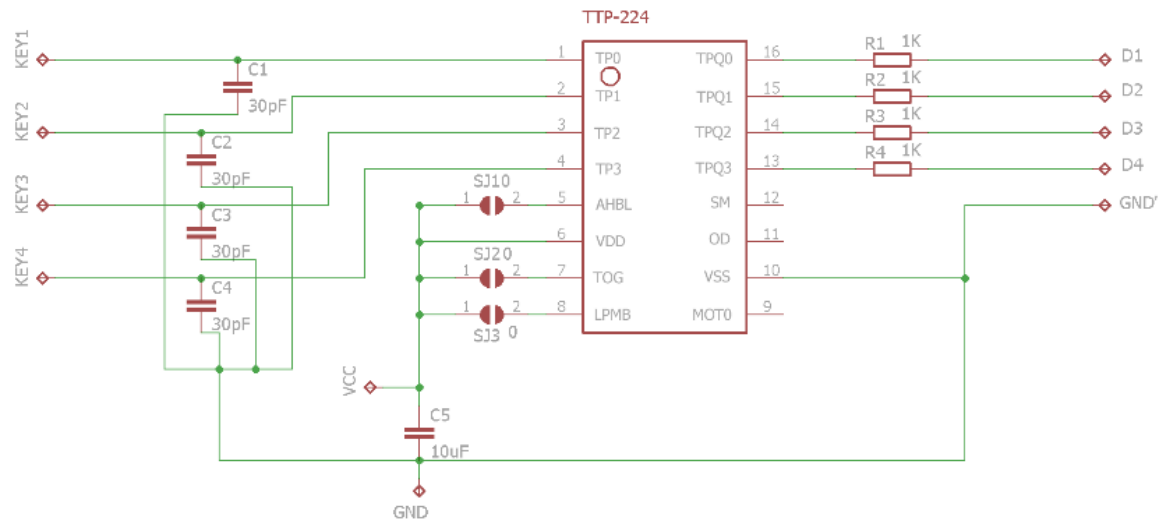
#### 4.7 Textilní tlačítka – verze 2.1

Kromě hledání řešení, jak snížit citlivost dotykových ploch, a především vodivých cest, jsem se také zabýval otázkou, jak lépe integrovat řídicí jednotku do textilie, aby mohla být propojena vodivou nití a DPS nebyla nevzhledně připojena pomocí vodičů. Navíc, u vodičů připájených na vyšité plošky by mohlo dojít k jejich odtrhnutí mechanickým namáháním, především pak během praní. Vzhledem k tomu, že řídicí jednotka TTP224 4-CHANNEL CAPACITIVE TOUCH využívaná v předchozích verzích není uzpůsobena pro textilní aplikace, bylo potřeba navrhnout vlastní DPS s ohledem na její integraci. Zároveň jsem se snažil také zmenšit rozměry DPS.

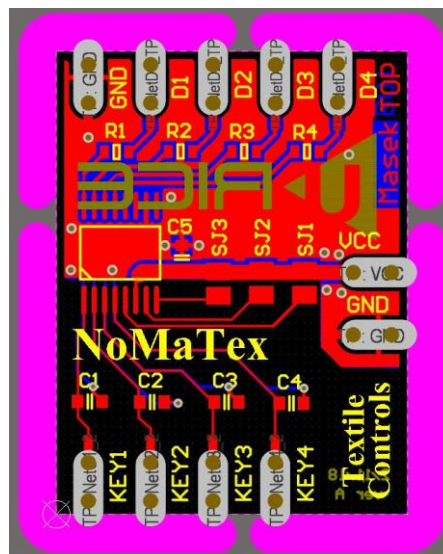
##### 4.7.1 Návrh řídicí jednotky

V návrhu řídicí jednotky pro variantu 2.1 jsem vycházel z řídicí jednotky TTP224 4-CHANNEL CAPACITIVE TOUCH. Využil jsem stejný IO TTP224 a navrhl prokovené otvory, přes které by byla DPS deska mechanicky spojena s textilií a zároveň vodivě spojena s vyšívanými vodivými cestami.

Návrh jsem vytvořil v SW Eagle a konečné úpravy jsem provedl v SW Altium Designer. Schéma pro navrhovanou DPS (obr. 70) vychází ze schématu komerčního produktu, který jsem použil v předchozích verzích demonstrátoru jako řídicí jednotku. Design DPS je pak na obr. 71.



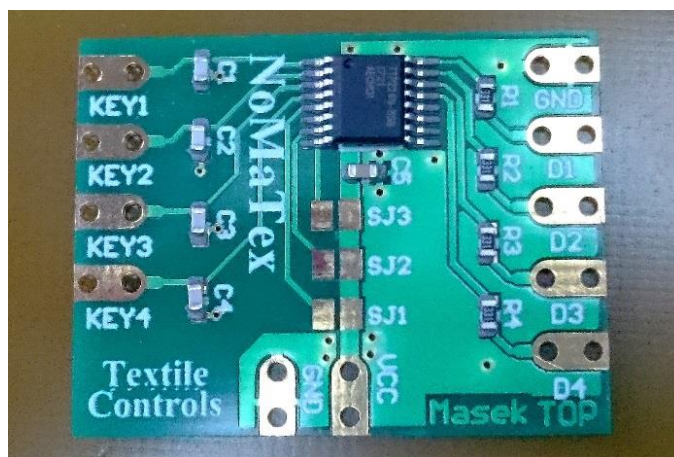
Obr. 70 – Schéma řídicí jednotky



Obr. 71 – Design DPS řídicí jednotky v programu Altium Designer

### 4.7.2 Osazení a pájení řídicích jednotek

Na základě vytvořeného návrhu bylo vyrobeno několik kusů řídicích jednotek. Na ně jsem nanesl vodivou pájecí pastu a jednotlivé DPS jsem osadil IO TTP224N, předřadnými odpory pro LED  $R_1 - R_4$  o velikosti  $330 \Omega$ , blokovacím kondenzátorem  $C_5$  o velikosti  $100 \text{ nF}$  a kondenzátory  $C_1 - C_4$  o velikostech  $27 \text{ pF}$ ,  $47 \text{ pF}$ , resp.  $88 \text{ pF}$ . Dvě DPS zůstaly bez osazených kondenzátorů  $C_1 - C_4$ , které simulovaly kapacitu o velikosti  $0 \text{ F}$ . Různé hodnoty kapacit paralelních kondenzátorů jsem zvolil z důvodu následného testování citlivosti dotykových ploch v závislosti na velikosti této kapacity. Jedna z připravených variant řídicí jednotky je na obrázku 72.



Obr. 72 – Osazená řídicí jednotka

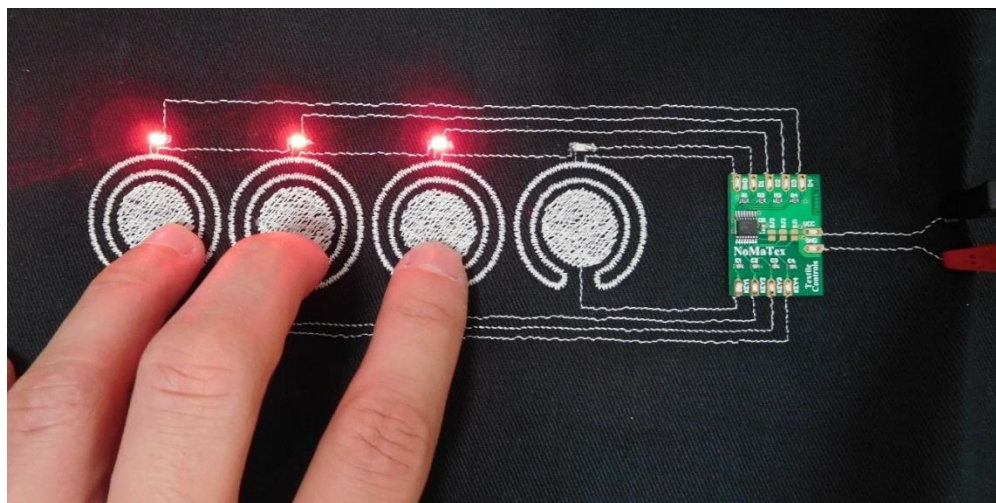
### 4.7.3 Úprava designu vyšívaného vzoru

Design textilních tlačítek pro verzi 2.1 vycházel z verze 1.2. Rozmístění dotykových ploch a LED zůstalo zachováno. Pouze vyšívané plošky určené k propojení s řídicí jednotkou jsem upravil tak, aby odpovídaly rozmístění otvorů v DPS řídicí jednotky. Dále jsem přidal vodivé cesty určené pro samotné napájení řídicí jednotky s rozšířenými ploškami pro kontaktování USB konektoru. USB pro napájení textilních tlačítek jsem zvolil proto, aby mohla být aplikace napájena z PC, případně power banky, odkud lze získat potřebných  $5 \text{ V}$  stejnosměrného napájecího napětí



#### 4.7.4 Osazení a kontaktování

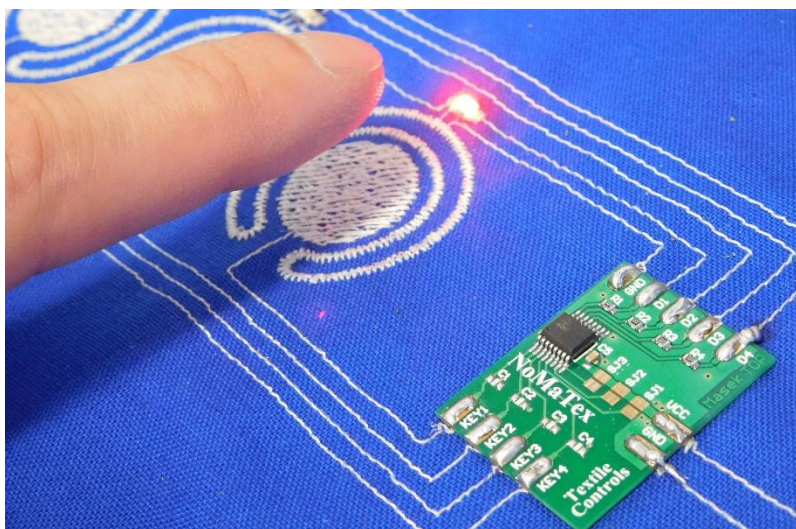
Před osazením LED a řídicí jednotky jsem provedl kontrolu, zda někde mezi vodivými cestami na motivu nedochází ke zkratu vlivem roztřepených konců vodivých nití. Na kontaktní plošky jsem nanesl UV tvrditelné lepidlo a osadil LED. Následně jsem ještě LED zaenkapsuloval UV tvrditelným lepidlem kvůli zvýšení odolnosti. Řídicí jednotku jsem přišil ručně vodivou hybridní nití (obr. 73).



Obr. 73 – Verze 2.1 textilních tlačítek

#### 4.7.5 Zhodnocení verze 2.1

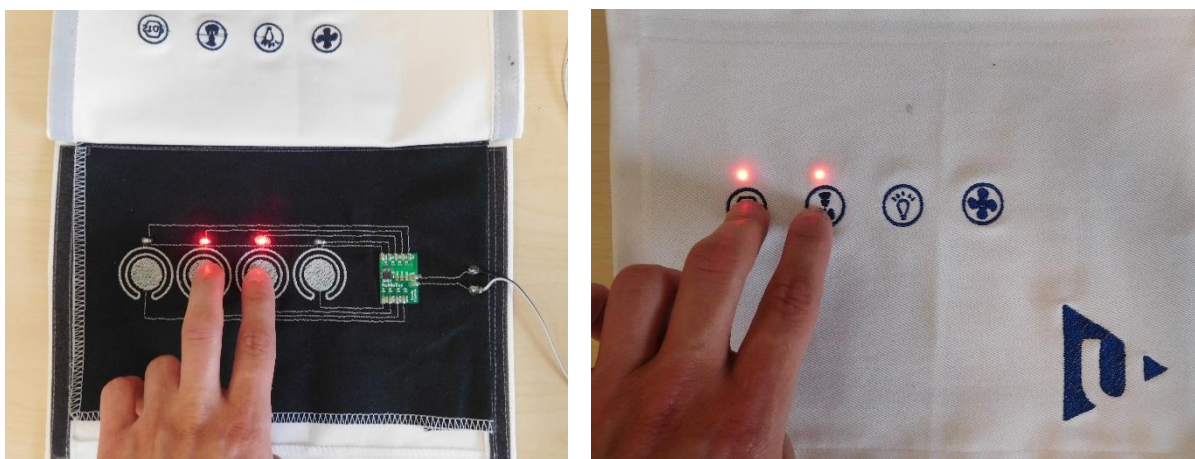
V této verzi textilních tlačítek jsem testoval citlivost dotykových ploch a také vodivých cest v závislosti na velikosti kapacity kondenzátorů  $C_1 - C_4$  umístěných na řídicí jednotce. Připravil jsem 4 ks stejných motivů osazené různými řídicími jednotkami s kapacitami 0 F, 27 pF, 47 pF a 82 pF a porovnával citlivost dotykových ploch. Při kapacitě kondenzátorů 0 F byla citlivost nejvyšší a řídicí jednotka detekovala stisk již při přiblížení se k dotykové ploše (obr. 74 na další straně). Se zvyšující kapacitou kondenzátorů tato citlivost klesla, avšak rozdíl mezi 27 pF a 47 pF nebyl rozeznatelný. Při kapacitě 82 pF pak bylo potřeba vyvinout větší sílu stisknutí, aby jednotka zareagovala. Nicméně při dotyku na vodivou cestu mezi řídicí jednotkou a dotykovou plochou došlo k sepnutí vždy bez ohledu na velikost kapacity. Až po přiložení izolačního materiálu na vodivé cesty, přestala jednotka jejich stisknutí detekovat. (viz videoukázky v příloze na DVD). Také byl zaznamenán problém s povolováním stehů spojujících řídicí desku s vodivými cestami vlivem dlouhodobého mechanického namáhání. Tento problém byl odstraněn jejich zapájením.



Obr. 74 – Verze 2.1 – ukázka citlivosti při  $C_{1-4} = 0\text{ F}$

#### 4.7.6 Demonstrátor textilních tlačítek

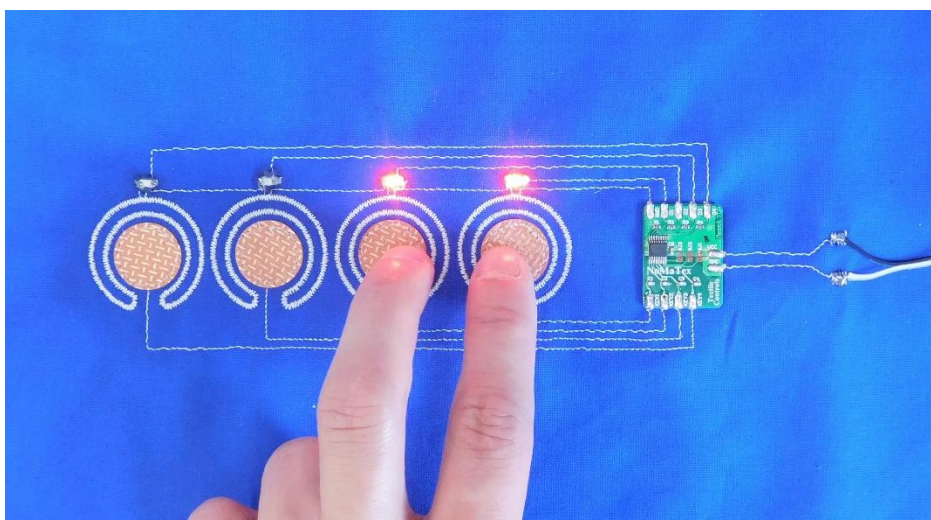
Variantu s kapacitou 27 pF jsem kvůli její spolehlivosti a funkčnosti vybral pro výrobu kompletního demonstrátoru (obr. 75). Ten je tvořen vnitřní vrstvou verze 2.1, která je vložena do otevírací kapsičky se suchými zipy, na jejíž vrchní straně je vyšit motiv vnější vrstvy (viz kap. 4.4.1)



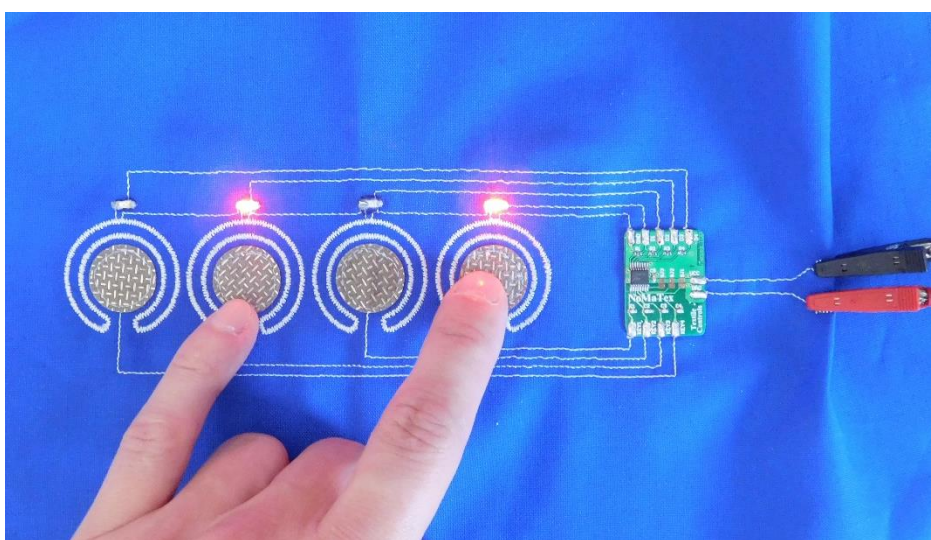
Obr. 75 – Demonstrátor textilních tlačítek

#### 4.8 Textilní tlačítka – verze 2.2

V této verzi jsem se zabýval nahrazením vyšívané textilní dotykové plochy netkanou textilií. Při použití netkané textilie namísto výšivky není spotřebováno tolik metrů vodivé nitě a také samotné vyšití tohoto typu demonstrátoru je časově méně náročné. Jen na samotné vyšití textilních ploch je totiž potřeba 7,65 m vodivé hybridní nitě a doba jejich vyšívání je 7 minut. O tuto dobu je vyšívání verze 2.2 kratší, avšak je potřeba brát v úvahu čas na vystřížení a našití dotykových ploch z netkané textilie. Na obrázcích 76 a 77 jsou vidět textilní tlačítka s dotykovými plochami vytvořenými pomocí měděné (Cu), resp. stříbrné (Ag) netkané textilie.



Obr. 76 – Verze 2.2 – s dotykovými plochami z Cu netkané textilie



Obr. 77 – Verze 2.2 – s dotykovými plochami z Ag netkané textilie

#### 4.8.1 Zhodnocení verze 2.2

Obě verze demonstrátorů typu 2.2 s dotykovými plochami vyrobenými pomocí stříbrné, resp. měděné netkané textilie fungovaly stejně spolehlivě jako předchozí verze 2.1. Výhoda zhotovení těchto verzí spočívá v tom, že díky použití vodivé textilie namísto hybridní vodivé nitě lze spotřebovat o 7,65 m vodivé nitě méně a tím nepatrně aplikaci zlevnit. Nicméně ve výsledném výrobním čase k úspoře nedošlo. Vyšití dotykových ploch hybridní nití trvalo 7 minut; vystřížení a našití netkaných plošek zabralo téměř 9 minut.

#### 4.8.2 Porovnání kapacity dotykových ploch

V rámci verze 2.2 jsem provedl porovnání kapacity dotykové plochy vyrobené z netkané textilie a dotykové plochy vyšité vodivou hybridní nití (verze 2.1). Výsledky by mohly pomoci s nastavením citlivosti snímacího obvodu.

Nejdříve jsem zjišťoval relativní permitivitu PET fólie, kterou jsem v dalších měřeních používal jako dielektrikum. Z každé strany PET fólie jsem nalepil Cu elektrodu o průměru 20 mm, resp. ploše 3,14 cm<sup>2</sup>. Vznikl tak deskový kondenzátor, jehož kapacita při frekvenci 10,20 kHz činila 63,50 pF. Ze zjištěné kapacity jsem pomocí vztahu (1) vypočetl relativní permitivitu PET dielektrika o hodnotě 3,995.

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d} \quad (1)$$

kde  $C$  je kapacita ve faradech,  $\varepsilon_0$  je permitivita vakua,  $\varepsilon_r$  je relativní permitivita materiálu,  $S$  je plocha elektrod v m<sup>2</sup> a  $d$  je vzdálenost elektrod v m.

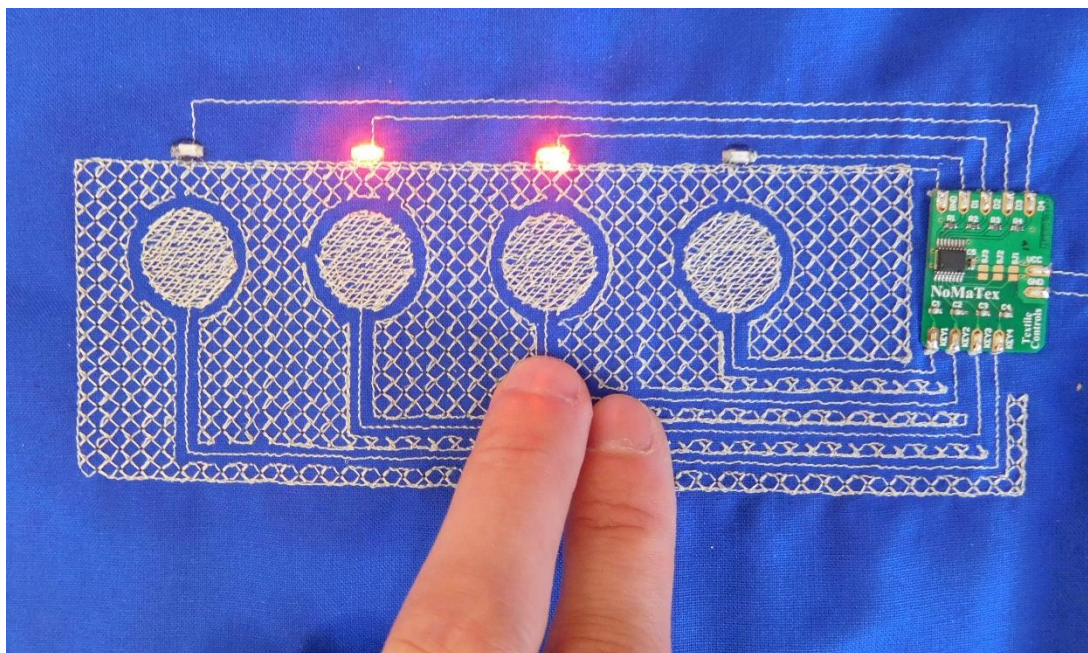
Při měření kapacity, resp. efektivní plochy textilních vyšívaných elektrod jsem na vyšitou dotykovou plochu položil PET folii a na ni z vrchu nalepil druhou elektrodu z Cu folie a zatížil závažím o hmotnosti 0,6 kg. Vznikl opět deskový kondenzátor s kapacitou o velikosti 26,35 pF při frekvenci 10,20 kHz. Dle vztahu (1) jsem dopočtl efektivní plochu elektrody 1,30 cm<sup>2</sup>, což je téměř 2,5 krát méně, než skutečná plocha elektrody činící 3,14 cm<sup>2</sup>. Stejný postup jsem opakoval při zjišťování efektivní plochy dotykové plochy vytvořené pomocí netkané textilie. Zde jsem změřil kapacitu kondenzátoru 35,40 pF a dopočtl efektivní plochu elektrody 1,75 cm<sup>2</sup>. Skutečná plocha elektrody je opět 3,14 cm<sup>2</sup>.

Menší efektivní plocha vyšité elektrody oproti elektrodě netkané je způsobena mezerami mezi stehy vodivé hybridní nitě a nerovnostmi. Lze očekávat, že s větší hustotou stehu, bude i efektivní plocha vyšívané elektrody vyšší. Rozdíl lze očekávat také při použití vodivé hybridní nitě se čtyřmi, nebo osmi mikrodrátky.

Překvapivý je velký rozdíl mezi efektivní plochou dotykové plochy z netkané textilie a plochou planární elektrody z měděné fólie. Vzhledem k tomu, že jsou obě elektrody rovinné, předpokládal bych výsledné hodnoty vzájemně blízké. Rozdíl je způsoben pravděpodobně strukturou netkané textilie a drobnými nerovnostmi na jejím povrchu.

#### 4.9 Textilní tlačítka – verze 3.1

V této verzi jsem se zaměřil na otestování vlivu velikosti odstínění dotykových ploch a vodivých cest. Snažil jsem se vyšívat co největší plochu spojenou s GND, díky čemuž by se snížila citlivost při dotyku na vodivou cestu mezi dotykovou plochou a řídicí jednotkou. Tuto verzi jsem osadil řídicí jednotkou s kapacitou kondenzátorů  $C_1 - C_4$  27 pF. Avšak, jak je vidět na obrázku 78, i přes zvětšenou zemní plochu, byl detekován impuls k rozsvícení i při dotyku na vodivou cestu, a nejen na dotykovou plochu.

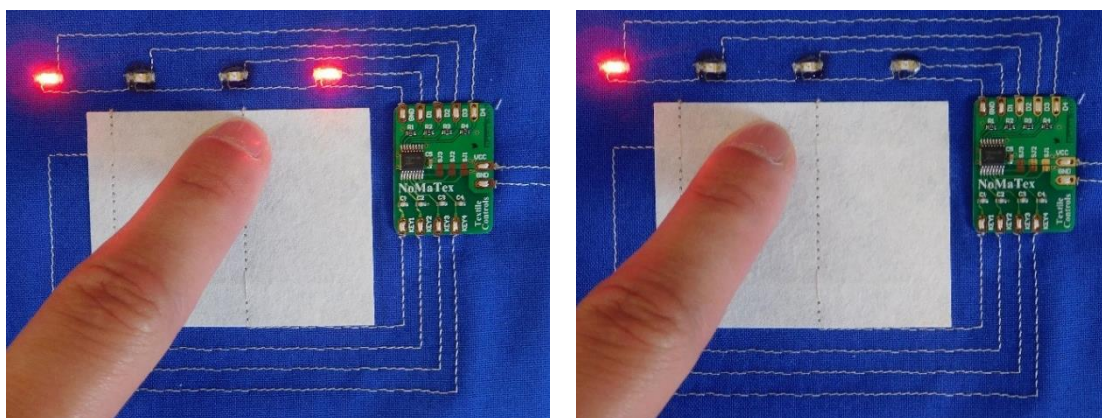


Obr. 78 – Verze 3.1 – Zvětšena stínící plocha

#### 4.10 Textilní tlačítka – verze 4.1

V této verzi jsem se zabýval možností vytvořit maticový systém snímání dotyku. Vzhledem k tomu, že řídicí jednotka s vyhodnocovacím obvodem TTP224N je omezena pouze na 4 kanály, jsou možnosti výsledné aplikace omezeny. Výhodnější by byl vícekanálový vyhodnocovací obvod – například obvod TTP229.

Jako jedno stisknutí je vyhodnocen takový stisk, kdy se rozsvítí současně dvě konkrétní LED. Toho lze dosáhnout pouze v případě, kdy se dotkeme na „křížení“ dvou vodivých cest (obr 79 a). Dojde-li k dotyku kdekoli jinde, buď se pochopitelně nerozsvítí žádná LED, nebo pouze jedna, dojde-li k dotyku jinde na vodivé cestě (obr. 79 b). Taková situace je pak vyhodnocena jako „falešný“ stisk a nedojde k sepnutí požadované funkce. Aby byla zajištěna správná funkčnost, je potřeba při vyšívání tohoto motivu vodivou hybridní nití mezi křížení vodivých cest vložit izolační vložku, aby nedošlo k vzájemnému vyzkratování vodivých cest. Při vyšívání jsem tedy nejprve vyšil horizontální vodivé cesty představující řádky, následně položil distanční látku a přes ní jsem vyšil vertikální vodivé cesty představující sloupce. Vznikl tak maticový systém tlačítek. V BERNINA SW bylo potřeba nastavit rozstup stehů tak, aby nedošlo při vyšívání vertikální vodivé cesty ke vpichu zrovna v místě, kde je pod distanční látkou horizontální vodivá cesta, což by opět způsobilo zkrat a nefunkčnost návrhu.



Obr. 79 – a) vyhodnocení jako správný stisk, b) vyhodnocení jako „falešný“ stisk

Tato verze fungovala dle předpokladů a velmi spolehlivě. Do budoucna by bylo určitě vhodné vyzkoušet vícekanálový systém, který by umožnil vytvořit víceřádkový, resp. vícesloupcový maticový systém.

## 5. Závěr

Cílem předkládané diplomové práce bylo seznámit se s elektronickými chytrými textiliemi a ovládacími prvky se zaměřením na jejich možnou integraci do textilu.

**První kapitola** této práce je zaměřena na rozdělení a stručné představení smart textilií. Také jsou zde zmíněny některé aplikace využívající integrovaných ovládacích prvků, kde se s nimi lze setkat a jak je využít. **Druhá kapitola** rozděluje ovládací prvky podle jejich funkce na senzory, řídicí (ovládací) jednotky a akční členy. Podkapitola senzorů je zaměřena především na senzory, které je možné vyrábět v plně textilní podobě a tedy ve třetím stupni integrace do textilií. Podkapitola o řídicích jednotkách zmiňuje možnosti integrace mikroprocesorů a IO obvodů s ohledem na skutečnost, že je nelze vyrábět v plně textilní formě. Avšak do kategorie řídicích jednotek patří i zdroje energie využívající principu energy harvesting, a ty lze již díky moderním materiálům vyrábět plně integrované v textiliích. Poslední část druhé kapitoly je zaměřena na akční členy, a to pouze na ty, které lze integrovat ve třetím stupni integrace. **Třetí kapitola** diplomové práce obsahuje přehled na trhu dostupných sad ovládacích prvků.

**Čtvrtou kapitolu** tvoří praktická část diplomové práce popisující výrobu několika variant demonstrátoru ovládacích prvků. Pro demonstraci ovládacích prvků byl zvolen koncept spojení tlačítek spouštějící určitou funkci - v tomto případě rozsvícení LED. Na základě poznatků o dostupných sadách, byla vybrána sada LilyPad, která je snadno dostupná, nabízí širokou škálu rozšiřujících modulů a je uzpůsobena k našití na látku vodivou nití. Použití modulů umožňuje zhotovit v krátké době demonstrátor, na kterém jsem si mohl ověřit koncept kapacitních tlačítek. Mým úkolem však bylo nalézt optimálnější řešení z hlediska vyššího stupně integrace, dlouhodobé spolehlivosti a odolnosti i proti pracím cyklům.

Vznikl tak koncept využívající principů kapacitních dotykových tlačítek, která jsou známa například z moderního otevírání dveří dopravních prostředků MHD. Mechanická tlačítka přišitá na látku byla v tomto případě nahrazena dotykovými kapacitními elektrodami vyšitými vodivou hybridní nití. Tím bylo dosaženo třetího stupně integrace tlačítek. Stejně tak veškeré vodivé cesty a pájecí plochy byly vytvořeny vodivou hybridní nití. Jako detektor změny kapacity dotykové plochy byla zvolena dotyková klávesnice od společnosti Arduino

s obvodem TTP224N, která v první verzi byla připojena běžnými vodiči. Díky pájitelnosti hybridní nitě mohly být i LED umístěny přímo na látku bez využití DPS, čímž byl opět zvýšen stupeň integrace. V dalších dvou verzích textilních tlačítek byl zkoumán vliv parazitní kapacity, kapacity dotykové plochy a možnosti odstínění v případě dotyku na jinou vodivou část, než na dotykovou elektrodu. Uzemněné odstínění okolo dotykových ploch, větší rozestupy vodivých cest a ani zvýšení paralelní kapacity vyhodnocovacího obvodu nesnížilo citlivost obvodu natolik, aby nedocházelo k detekci stisku na vodivé cestě.

Rovněž byly zkoumány i možnosti nastavení citlivosti snímání. V souvislosti s tím jsem navrhl vlastní DPS s obvodem TTP224N s ohledem na optimalizaci pro vyšší stupeň integrování do textilie přišitím. Pro tuto verzi bylo vyrobeno několik destiček s různými hodnotami paralelních kapacit pro testování citlivosti snímače. Potvrdilo se, že čím vyšší je paralelní kapacita, tím nižší je citlivost na stisk. Nicméně i při kapacitě 82 pF byl stále detekován stisk na vodivé cestě, avšak stačilo vodivou cestu překrýt tenkou vrstvou izolačního materiálu a tato skutečnost byla eliminována. Což dokazuje demonstrátor textilních tlačítek (viz kap. 4.7.6). V rámci verze 2.1 byly LED zaenkapsulovány UV tvrditelným lepidlem a motiv bez řídicí jednotky byl vyprán a vysušen. Následně byla osazena řídicí jednotka a ověřena funkčnost po vyprání. Demonstrátor fungoval nadále spolehlivě. V dalším stupni vývoje by mohla být například navržena odnímatelná řídicí jednotka, která může být nakontaktována pomocí mikro-druků a před praním by šla z aplikace jednoduše vyjmout.

V rámci praktické části byla dále vytvořena verze 2.2, kdy kapacitní dotykové plochy nebyly vyšívány, ale byly vyrobeny z netkané textilie a našité na látku, dále pak verze 3.1 s velkou plochou odstínění a verze 4.1 představující maticový systém snímání stisku.

Některé z verzí kapacitních textilních tlačítek byly vybrány k prezentaci na akcích jako veletrh Ampér v Brně nebo Techtextil ve Frankfurtu nad Mohanem. Byla tak otestována jejich dlouhodobá spolehlivost a odolnost vůči mechanickému namáhání.



## Použitá literatura

- [1] STOPPA, Matteo a Alessandro CHIOLERIO. Wearable Electronics and Smart Textiles: A Critical Review. *Sensors* [online]. 2014, **14**(7), 11957–11992 [cit. 2018-10-29]. DOI: 10.3390/s140711957. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/14/7/11957>
- [2] Co to jsou smart textilie?. *Enviweb* [online]. 2008, 18.3.2008 [cit. 2018-10-29]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/68946>
- [3] STOLTZFUS, Justin. E-Textiles: Will Your Clothes Be Smarter Than You?. *Techopedia* [online]. 2013, 13.8.2013 [cit. 2018-11-01]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/2/29489/personal-tech/gadgets/e-textiles-will-your-clothes-be-smarter-than-you>
- [4] TRLICA, David. Češi tvoří chytrý oblek budoucnosti: Má obrovské množství senzorů i propojení s Androidem. *Svět Androida* [online]. 2018, 23.12.2018 [cit. 2018-11-01]. Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/CHYTRY-OBLEK-BUDOUCNOSTI-SENZORY-HASICI/>
- [5] Cyklistická bunda s blinkry a brzdovými světly. *Vývoj HW: Profesionální elektronika* [online]. 2014, 27.6.2012 [cit. 2018-11-08]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/trendy/cyklisticka-bunda-s-blinkry-a-brzdovymi-svetly.html>
- [6] SARIF ULLAH PATWARY, Md Syduzzaman. Smart Textiles and Nano-Technology: A General Overview. *Journal of Textile Science & Engineering* [online]. 2015, 15.2.2015, **05**(01), 7 [cit. 2018-11-08]. DOI: 10.4172/2165-8064.1000181. ISSN 21658064. Dostupné z: <http://omicsgroup.org/journals/smart-textiles-and-nanotechnology-a-general-overview-2165-8064.1000181.php?aid=40254>
- [7] KONCAR, Vladan, ed. *Smart Textiles and Their Applications*. 1. Cambridge, United Kingdom: Woodhead Publishing, 2016, 746 s. ISBN 978-0-08-100574-3.
- [8] MIKHALCHUK, Dimitri. Smart Clothing Classification. *Teslasuit* [online]. 2018, 2.8.2017 [cit. 2018-11-10]. Dostupné z: <https://teslasuit.io/blog/wearables/smart-clothing-classification/>
- [9] JACOB, Vagott a Parachuru RADHAKRISHNAIAH. An Overview of Recent Developments in the Field of Wearable smart textiles. *Journal of Textile Science & Engineering* [online]. Atlanta, GA 30332, USA: Georgia Institute of Technology, 2018, 8.8.2018, **08**(04) [cit. 2018-11-10]. DOI: 10.4172/2165-8064.1000368. ISSN 21658064. Dostupné z: <https://www.omicsonline.org/open-access/an-overview-of-recent-developments-in-the-field-of-wearable-smart-textiles-2165-8064-1000368-103397.html>
- [10] CARPI, Federico a Danilo DEROSI. Electroactive Polymer-Based Devices for e-Textiles in Biomedicine. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine* [online]. IEEE, 2005, 6.9.2005, **9**(3), 295-318 [cit. 2018-11-10]. DOI: 10.1109/TITB.2005.854514. ISSN 1089-7771. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1504800/>
- [11] IPC-WP-024. *IPC White Paper on Reliability and Washability of Smart Textile Structures – Readiness for the Market*. 1. IPC, 2018. [cit. 2018-11-11]
- [12] SARKER, Jahid, Monjurul HAQUE a Rahman RAHMAN. E-textile: A New Sensation in Textiles. *Textile Focus* [online]. 9.11.2016 [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: <http://textilefocus.com/e-textile-new-sensation-textiles/>
- [13] *Smart Textiles and Wearables: Markets, Applications and Technologies* [online]. United Kingdom: Cientifica, **2016** [cit. 2018-12-20]. ISSN 3844987. Dostupné z: <https://www.textilemedia.com/assets/Smart-Textiles-Wearables-June-2017.pdf>
- [14] *Techniques and application of smart textiles* [online]. Karaikudi, India: Alagappa University, 2017, **5**(2) [cit. 2018-12-20]. ISSN 2348-6600. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/324976396\\_Techniques\\_and\\_Application\\_of\\_Smart\\_Textiles](https://www.researchgate.net/publication/324976396_Techniques_and_Application_of_Smart_Textiles)
- [15] SAWH, Michael. The best smart clothing: From biometric shirts to contactless payment jackets. In: *Wearable* [online]. Wearable, 2018, 16.4.2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: <https://www.wearable.com/smart-clothing/best-smart-clothing>
- [16] *Owlet: Owlet Smart Sock* [online]. United Kingdom: Owlet Baby Care, 2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: <https://owletbabycare.co.uk/products/owlet-smart-sock>
- [17] NAYAK, R., L. WANG a R. PADHYE. Electronic textiles for military personnel. *Electronic Textiles* [online]. Elsevier, 2015, 1.5.2015, , 239-256 [cit. 2018-12-20]. DOI: 10.1016/B978-0-08-100201-8.00012-6. ISBN 9780081002018. ISSN 9780081002018. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081002018000126>

- [18] Chytrý zásahový oblek z RICE zvítězil v mezinárodním tendru. In: *Info ZČU* [online]. Plzeň: Západočeská univerzita, 2015, 19. 12. 2016 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: <https://info.zcu.cz/clanek.jsp?id=717>
- [19] Wearable X: FUNDAWEAR - Vibrating Touch Underwear. In: *WearableX* [online]. NYC: Wearable X, 2019 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: <https://www.wearablex.com/pages/fundawear>
- [20] DOLEJŠ, Jan. Durex Fundawear – využijte Android k milostným hrátkám. In: *Svět androida* [online]. 2019, 20.4.2013 [cit. 2018-12-21]. Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/durex-fundawear-vyuzijte-android-k-milostnym-hratkam/>
- [21] BODEN, Rian. Adidas builds NFC into racing suits for FIA authentication. In: *NFC world* [online]. 2019, 27.4.2016 [cit. 2018-12-21]. Dostupné z: <https://www.nfcworld.com/2016/04/27/344286/adidas-builds-nfc-racing-suits-fia-authentication/>
- [22] HARDAWAR, Devindra. Samsung's weird wearables include a smart suit and solar purse. In: *Engadget* [online]. 2019, 1.10.2016 [cit. 2018-12-21]. Dostupné z: <https://www.engadget.com/2016/01/10/samsung-smart-wearables/?guccounter=2>
- [23] HOWARTH, Dan. Google weaves smartphone interfaces into clothes for Project Jacquard. In: *Dezeen* [online]. 2015, 3.6.2015 [cit. 2018-12-21]. Dostupné z: <https://www.dezeen.com/2015/06/03/google-smartphone-interfaces-conductive-threads-clothes-textiles-project-jacquard/>
- [24] PEREZ, Sarah. Google and Levi's 'connected' jacket will let you know when your Uber is here. In: *Tech Crunch* [online]. 2018 [cit. 2018-12-21]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/2018/05/14/google-and-levis-connected-jacket-will-let-you-know-when-your-uber-is-here/?guccounter=1>
- [25] HOBSON, Ben. With smart textiles we can "download new colours or patterns" to our clothes. In: *Dezeen* [online]. 29.8.2019 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: <https://www.dezeen.com/2014/08/29/movie-francesca-rosella-cutecircuit-digital-fashion-smart-textiles/>
- [26] K-Dress. In: *Cute circuit* [online]. 2019 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: <https://shop.cutecircuit.com/collections/womenswear/products/k-dress-1>
- [27] Katy-perry-met-gala-red-carpet. In: *Wordpress* [online]. [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: <https://pmcfootwearnews.files.wordpress.com/2017/04/katy-perry-met-gala-red-carpet-6.jpg?w=1170>
- [28] ANWAR, Sikander. Manufacturing of Electronic Textile. *Fibre 2 fashion* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/7124/manufacturing-of-electronic-textile>
- [29] Obecné rozdělení senzorů. *Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT Brno* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: [http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s\\_1\\_2.htm](http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_1_2.htm)
- [30] TAO, Xiaoming, ed. *Handbook of Smart Textiles*. 1. Hong Kong: Springer Singapore, 2015, 1063 s. ISBN 978-981-4451-44-4.
- [31] E-Textiles, Wearable Sensors, and Sonic Interaction Design: E-Textiles: Future Sensing. *Bela.io* [online]. 26.1.2019 [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://blog.bela.io/2019/01/26/e-textiles-embodied-interaction-bela/>
- [32] CHENG, Jingyuan, Mathias SUNDHOLM, Bo ZHOU, Marco HIRSCH a Paul LUKOWICZ. Smart-surface: Large scale textile pressure sensors arrays for activity recognition. *Pervasive and Mobile Computing* [online]. 2016, **30**, 97-112 [cit. 2019-03-26]. DOI: 10.1016/j.pmcj.2016.01.007. ISSN 15741192. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1574119216000092>
- [33] CAPINERI, L., Mathias SUNDHOLM, Bo ZHOU, Marco HIRSCH a Paul LUKOWICZ. Resistive Sensors with Smart Textiles for Wearable Technology: From Fabrication Processes to Integration with Electronics. *Procedia Engineering* [online]. Firenze, Italy: University of Florence, 2014, 31.12.2014, **87**(1), 724-727 [cit. 2019-03-27]. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.11.748. ISSN 18777058. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705814028707>
- [34] I, Sun Ok, Young Jae LEE, Hye Ran KOO, Seonah KHANG, Kyung-Nam KIM, Seung-Jin KANG, Joo Hyeon LEE a Jeong-Whan LEE. Application of a Textile-based Inductive Sensor for the Vital Sign Monitoring: From Fabrication Processes to Integration with Electronics. *Journal of Electrical Engineering and Technology* [online]. Firenze, Italy: University of Florence, 2015, 31.12.2014, **10**(1), 364-371 [cit. 2019-03-27]. DOI: 10.5370/JEET.2015.10.1.364. ISSN 1975-0102. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705814028707>
- [35] KOO, Hye Ran, Young-Jae LEE, Sunok GI, Seonah KHANG, Joo Hyeon LEE a Jae-Ho LEE. The Effect of Textile-Based Inductive Coil Sensor Positions for Heart Rate Monitoring. *Journal of Medical Systems* [online]. 2014, **38**(2) [cit. 2019-03-27]. DOI: 10.1007/s10916-013-0002-0. ISSN 0148-5598. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10916-013-0002-0>

- [36] MERRITT, C., B. KARAGUZEL, J. WILSON, P. FRANZON, B. POURDEYHIMI a . Sensors on Textile Substrates for Home-Based Healthcare Monitoring. *1st Transdisciplinary Conference on Distributed Diagnosis and Home Healthcare, 2006. D2H2* [online]. Arlington, VA, USA: IEEE, 2006, 1.5.2006, , 5-7 [cit. 2019-03-27]. DOI: 10.1109/DDHH.2006.1624783. ISBN 1-4244-0058-9. ISSN 1-4244-0058-9. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1624783/>
- [37] AL-AUBIDY, Prof. Kasim. *Force, Pressure, and Tactile Sensors* [online]. Jordan [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <https://www.philadelphia.edu.jo/academics/kaubaidy/uploads/Sensor-Lect9.pdf>. Philadelphia University.
- [38] Pyroelektrický a piezoelektrický jev. *Techmania Science Center: Eduportál* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/elektrostatika/pyroelektricky-piezoelektricky-jev>
- [39] MAGNIEZ, Kevin, Andrew KRAJEWSKI a Martin NEUENHOFER. Effect of drawing on the molecular orientation and polymorphism of melt-spun polyvinylidene fluoride fibers: Toward the development of piezoelectric force sensors. *Journal of Applied Polymer Science* [online]. 2013, **129**(5), 2699-2706 [cit. 2019-03-21]. DOI: 10.1002/app.39001. ISSN 00218995. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/app.39001>
- [40] *Tontek* [online]. [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://www.tontek.com.tw/product/category?lv1=4&lv2=8&lang=en>
- [41] *Tapit* [online]. [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://tapit.vn/dieu-khien-thiet-bi-dien-bang-cam-bien-dien-dung/>
- [42] *Arduino-shop.cz* [online]. [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/1149-arduino-dotykove-tlacitko-senzor-ttp224.html>
- [43] SØDERHOLM, Thomas. 6 wireless technologies for wearables. *Nordic semiconductor* [online]. 24.5.2016 [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: <https://blog.nordicsemi.com/getconnected/wireless-technologies-for-wearables>
- [44] BONALDI, R.R. Electronics used in high-performance apparel—Part 2/2. *High-Performance Apparel* [online]. Elsevier, 2017, 29.10.2017, , 504 [cit. 2019-02-12]. DOI: 10.1016/B978-0-08-100904-8.00023-7. ISBN 9780081009048. ISSN 9780081009048. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081009048000237>
- [45] AHMAD, Abid, Muhammad FAROOQ, Gulzar AHMAD a Muhammad AMIR. A Review on Properties Amelioration of Wearable Antennas. *International Journal of Engineering Works*[online]. KWP Journals, 2018, **5**(5), 111-115 [cit. 2019-03-12]. DOI: 10.5281/zenodo.1256339. ISSN 2409-2770. Dostupné z: <https://www.kwpublisher.com/uploads/journals/papers/a-review-on-properties-amelioration-of-wearable-antennas.pdf>
- [46] HERŠÁLEK, Pavel. *Kruhově polarizovaná anténa pro systém Galileo* [online]. Praha, 2015 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/61569/F3-DP-2015-Hersalek-Pavel-%5BKruhove-polarizovana-antena-pro-system-Galileo%5D.pdf?sequence=1>. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Milan Polívka, Ph.D.
- [47] PAVEC, Martin, Radek SOUKUP a Aleš HAMÁČEK. Fraktální anténa vyrobená technologií vyšívání a Aerosol Jet. *Elektrotechnika a informatika ...: ročník přehledky doktorských prací, Zámek Nečtiny ..* [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2018, s. 105-108 [cit. 2019-02-15]. ISBN 978-80-261-0785-9. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/30724/3/Pavec.pdf>
- [48] PAVEC, Martin, Radek SOUKUP a Aleš HAMÁČEK. Návrh a realizace vyšíváných antén s využitím hybridní šicí nitě. *Elektrotechnika a informatika ...: Ročník přehledky doktorských prací, Zámek Nečtiny ..* [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2017 [cit. 2019-02-15]. ISBN 978-80-261-0712-5. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/26489/1/Pavec.pdf>
- [49] KUČERA, Josef. Anténa budoucnosti bude z textilu. Na těle tak přijmete třeba signál GPS. *Technet.cz* [online]. 16.11.2009 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/technet/technika/antena-budoucnosti-bude-z-textilu-na-tele-tak-prijmete-treba-signal-gps.A091113\\_095333\\_tec\\_technika\\_mbo/tisk](https://www.idnes.cz/technet/technika/antena-budoucnosti-bude-z-textilu-na-tele-tak-prijmete-treba-signal-gps.A091113_095333_tec_technika_mbo/tisk)
- [50] TORAH, Russel, Jake LAWRIE-ASHTON, Yi LI a Sasikumar ARUMUGAM. Energy-harvesting materials for smart fabrics and textiles. *MRS Bulletin* [online]. 2018, 9.3.2018, **43**(3), 214-219 [cit. 2019-02-26]. DOI: 10.1557/mrs.2018.9. ISSN 0883-7694. Dostupné z: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S088376941800009X/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S088376941800009X/type/journal_article)
- [51] KAUSHIK, Vishakha, Jaehong LEE, Juree HONG, Seulah LEE a Sanggeun LEE. Textile-Based Electronic Components for Energy Applications: Principles, Problems, and Perspective. *Nanomaterials* [online]. 2015, **5**(3), 1493-1531 [cit. 2019-02-23]. DOI: 10.3390/nano5031493. ISSN 2079-4991. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2079-4991/5/3/1493>

- [52] Triboelektrická řada. *Fyzmatik píše* [online]. 13.9.2010 [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/411-triboelektricka-rada.html>
- [53] GENT, Edd. 'Smart Textile' Turns Body Movements Into Power Source. *Live science* [online]. 19.9.2016 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/56139-textile-harvests-energy-from-body-movements.html>
- [54] Termoelektrický jev. *Fyzikální ústav AV ČR* [online]. Fyzikální ústav AV ČR [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.fzu.cz/oddeleni/oddeleni-magnetik-a-supravodivu/vyzkumna-temata/termoelektricky-jev>
- [55] KIM, Min-Ki, Myoung-Soo KIM a Seok LEE. Wearable thermoelectric generator for harvesting human body heat energy. *Smart Materials and Structures* [online]. IOP Publishing, 2014, 9.9.2014, **23**(10), 1-7 [cit. 2019-03-12]. DOI: 10.1088/0964-1726/23/10/105002. ISSN 0964-1726. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/0964-1726/23/i=10/a=105002?key=crossref.12dff88ef262f98fe1ffbb0e5d98bd4b>
- [56] MEJZLÍK, Bc. Michal. *Návrh a tvorba laboratorní úlohy s Peltierovým článkem* [online]. Brno, 2009 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=15693](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=15693). Diplomová. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jan Macháček Termín.
- [57] ARUMUGAM, Sasikumar, Yi LI, Monika GLANC-GOSTKIEWICZ a Russel N. TORAH. Solution Processed Organic Solar Cells on Textiles. *IEEE Journal of Photovoltaics* [online]. 2018, 2.10.2018, **8**(6), 1710-1715 [cit. 2019-03-16]. DOI: 10.1109/JPHOTOV.2018.2871334. ISSN 2156-3381. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8479370/>
- [58] LEE, S., Y. LEE a D. CHOI. Fabrication and design of solar cell based on textile. *Fifth Asia International Symposium on Mechatronics (AISM 2015)* [online]. Guilin, China: Institution of Engineering and Technology, 2015, 2015, 5 -5 [cit. 2019-03-29]. DOI: 10.1049/cp.2015.1585. ISBN 978-1-78561-036-3. ISSN 978-1-78561-036-3. Dostupné z: <https://digital-library.theiet.org/content/conferences/10.1049/cp.2015.1585>
- [59] BEDELOGLU, Ayse (Celik), Ali DEMIR a Yalcin BOZKURT. A Photovoltaic Fiber Design for Smart Textiles. *Textile Research Journal* [online]. 2009, 29.10.2009, **80**(11), 1065-1074 [cit. 2019-04-22]. DOI: 10.1177/0040517509352520. ISSN 0040-5175. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0040517509352520>
- [60] HA, Sung Hoon, Kyu Hang SHIN, Hae Won PARK a Yun Jung. Flexible Lithium-Ion Batteries with High Areal Capacity Enabled by Smart Conductive Textiles. *Small* [online]. 2018, 5.2.2018, **14**(43) [cit. 2019-04-22]. DOI: 10.1002/sml.201703418. ISSN 16136810. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/sml.201703418>
- [61] *Power paper: Core Technology* [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <http://www.powerpaper.cn/index6fda.html?categoryId=43872>
- [62] LI, N., Z. CHEN, W. REN a F. LI. Flexible graphene-based lithium ion batteries with ultrafast charge and discharge rates. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 2012, **109**(43), 17360-17365 [cit. 2019-04-22]. DOI: 10.1073/pnas.1210072109. ISSN 0027-8424. Dostupné z: <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1210072109>
- [63] LEE, Yong-Hee, Joo-Seong KIM, Jonghyeon NOH a Inhwa LEE. Wearable Textile Battery Rechargeable by Solar Energy. *Nano Letters* [online]. 2013, **13**(11), 5753-5761 [cit. 2019-04-22]. DOI: 10.1021/nl403860k. ISSN 1530-6984. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/10.1021/nl403860k>
- [64] *Adetexs: Advanced E-Textiles* [online]. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <http://www.adetexs.com/#prettyPhoto>
- [65] BAHADIR, Senem Kurşun a Umut Kivanc SAHIN. A Wearable Heating System with a Controllable e-Textile- Based Thermal Panel. *Wearable Technologies* [online]. InTech, 2018, 4.4.2018, , 175 - 194 [cit. 2019-04-26]. DOI: 10.5772/intechopen.76192. ISBN 978-1-78984-003-2. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/wearable-technologies/a-wearable-heating-system-with-a-controllable-e-textile-based-thermal-panel>
- [66] NASHED, Mohamad-Nour, Dorothy HARDY a Theodore HUGHES-RILEY. A Novel Method for Embedding Semiconductor Dies within Textile Yarn to Create Electronic Textiles. *Fibers* [online]. 2019, 26.1.2019, **7**(2), 1-17 [cit. 2019-04-26]. DOI: 10.3390/fib7020012. ISSN 2079-6439. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2079-6439/7/2/12>
- [67] ZHANG, Zhitao, Liyuan CUI, Xiang SHI, et al. Textile Display for Electronic and Brain-Interfaced Communications. *Advanced Materials* [online]. 2018, **30**(18) [cit. 2019-01-12]. DOI: 10.1002/adma.201800323. ISSN 09359648. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/adma.201800323>
- [68] *Sparkfun*: [online]. [cit. 2018-10-04]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/categories/327>

- [69] ČÍŽEK, Jakub. Pojdme programovat elektroniku: Také Arduino má své UFO. Jmenuje se LilyPad Více na: <https://www.zive.cz/clanky/pojdme-programovat-elektroniku-take-arduino-ma-sve-ufo-jmenuje-se-lilypad/sc-3-a-196290/default.aspx>. *Živě.cz* [online]. CZECH NEWS CENTER, 9.12.2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/pojdme-programovat-elektroniku-take-arduino-ma-sve-ufo-jmenuje-se-lilypad/sc-3-a-196290/default.aspx>
- [70] *Sparkfun: Products* [online]. [cit. 2019-18-04]. Dostupné z: [https://www.sparkfun.com/lilypad\\_product](https://www.sparkfun.com/lilypad_product)
- [71] *Adafruit: Wearables/Flora* [online]. [cit. 2018-10-05]. Dostupné z: <https://www.adafruit.com/category/92>
- [72] *Rpishop: Adafruit Flora* [online]. [cit. 2018-10-05]. Dostupné z: <http://rpishop.cz/wearables/572-adafruit-flora.html>
- [73] *Seeed studio: SquareWear v2.0* [online]. [cit. 2018-10-05]. Dostupné z: <https://www.seeedstudio.com/SquareWear-v2-0-Wearable-Arduin-p-1812.html>
- [74] HOBSON, James. Squarewear 2.0 a wearable opensource Arduino. *Hackaday* [online]. 12.1.2014 [cit. 2018-10-05]. Dostupné z: <https://hackaday.com/2014/01/12/squarewear-2-0-a-wearable-opensource-arduino/>
- [75] *Rayshobby: SquareWear v2 and Mini* [online]. [cit. 2018-10-05]. Dostupné z: <https://rayshobby.net/wordpress/sqrwear/>
- [76] ČÍŽEK, Jakub. Jak jsem rozblikal diodu na mikropočítači Intel Edison. *Živě.cz* [online]. 9.7.2015 [cit. 2018-10-07]. Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/jak-jsem-rozblikal-diodu-na-mikropocitaci-intel-edison/sc-3-a-178927/default.aspx>
- [77] *Intel Software: Maker& Innovator Products IoT* [online]. [cit. 2018-10-07]. Dostupné z: <https://software.intel.com/en-us/iot/hardware/discontinued>
- [78] *Sparkfun: Intel Edison* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/products/retired/13024>
- [79] *Alza.cz: Intel Edison* [online]. [cit. 2018-10-07]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/intel-edison/18859162.htm?layoutAutoChange=1>
- [80] *Seeed studio: Xadow* [online]. [cit. 2018-10-12]. Dostupné z: [http://wiki.seeedstudio.com/Xadow\\_Main\\_Board/](http://wiki.seeedstudio.com/Xadow_Main_Board/)
- [81] *Seeed studio: Xadow product* [online]. [cit. 2018-10-12]. Dostupné z: <https://www.seeedstudio.com/xadow-c-968.html>
- [82] GONÇALVES, Carlos, Alexandre FERREIRA DA SILVA, João GOMES a Ricardo SIMOES. Wearable E-Textile Technologies: A Review on Sensors, Actuators and Control Elements. *Inventions* [online]. 2018, 3(1) [cit. 2018-10-04]. DOI: 10.3390/inventions3010014. ISSN 2411-5134. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2411-5134/3/1/14>
- [83] *China maker spaces: Xadow* [online]. [cit. 2018-10-12]. Dostupné z: <https://blog.chinamakerspaces.org/?cat=391>
- [84] *Bitalino: Plux* [online]. [cit. 2018-10-16]. Dostupné z: <https://bitalino.com/en/>
- [85] LOMAS, Natasha. BITalino Is A Low Cost, Modular Bio-Signal Sensor Kit That Makes It Quicker & Easier To Build Medical Devices & Health Tracker Apps. *Tech Crunch* [online]. 2013 [cit. 2018-10-16]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/2013/09/05/bitalino/>
- [86] *Etsy.com: Igloo* [online]. [cit. 2018-10-16]. Dostupné z: <https://www.etsy.com/listing/585433933/electro-fashion-igloo-picaxe-wearable>
- [87] *Kitronik: Igloo* [online]. [cit. 2018-10-16]. Dostupné z: <https://www.kitronik.co.uk/2751-electro-fashion-sewable-picaxe-control-board.html>
- [88] *Digi-Key Electronics: Wearables* [online]. [cit. 2018-10-16]. Dostupné z: <https://www.digikey.com/catalog/en/>
- [89] VOJÁČEK, Antonín. Kapacitní dotyková tlačítka pro průmyslové rozvaděče a stroje. *Automatizace.hw.cz* [online]. 4.1.2016 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/hmi-systemy-komponenty/kapacitni-dotykova-tlacitka-pro-prumyslove-rozvadece-a-stroje.html>
- [90] VOJÁČEK, Antonín. Pravidla pro konstrukci kapacitních dotykových tlačítek mTouch. *Automatizace.hw.cz* [online]. 13.12.2008 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/pravidla-pro-konstrukci-kapacitnich-dotykovych-tlacitek-mtouch>

## Přílohy

Tab. p1 – Srovnání cen obchodně dostupných sad ovládacích prvků

Sada	Název Modulu	Cena modulu (v USD \$)	Název Modulu	Cena modulu (v USD \$)
LilyPad	Arduino 328 Main Board	\$15,95	Slide Switch	\$1,75
	Arduino Simple	\$21,95	Light Sensor	\$3,50
	Arduino USB ATmega32U4 Board	\$25,95	Temperature Sensor	\$4,50
	LED	\$2,95	Accelerometer - ADXL335	\$15,50
	Rainbow LED	\$3,50	Coin Cell Battery Holder	\$1,95
	Tri-Color LED	\$3,50	Simple Power	\$9,95
	Pixel Board	\$4,95	E-Textiles Battery	\$6,95
	Buzzer	\$4,25	MP3	\$49,95
	Vibe Board	\$6,95	XBee	\$14,95
	Button Board	\$1,95	Simblee BLE Board	\$42,95
Flora	Základní deska Flora	\$14,95	Color Sensor	\$7,95
	RGB Smart NeoPixel	\$7,95	Lux Sensor	\$7,95
	NeoPixel Ring	\$7,50 - \$19,95	UV Index Sensor	\$8,95
	Accelerometer/Compass Sensor	\$14,95	Wearable Ultimate GPS Module	\$39,95
	9-DOF Accelerometer/Gyr./Mag.	\$19,95	Wearable Bluefruit LE Module	\$17,50
SquareWear	SquareWear 2.0	\$22,00		
	SquareWear Mini	\$20,00		
	RGB panel	\$11,49		
Intel Edison	Intel Edison	\$49,95		
	Intel Edison Kit	\$109,95		
	SparkFun Block pro Intel Edison – UART	\$15,95		
	SparkFun Block pro Intel Edison – PWM	\$15,95		
	SparkFun Block pro Intel Edison – Console	\$17,50		
Xadow	Základní deska	\$19,00		
	Q Touch Sensor	\$4,00		
	Barometer BMP180	\$10,90		
	GSM + BLE	\$19,00		
	1.54 inch Touchscreen	\$29,90		
BITaliano	Board Kit BT	\$170,00	Board Kit BLE	\$210,00
	Freestyle Kit BT	\$180,00	Freestyle Kit BLE	\$220,00
	Plugged Kit BL	\$190,00	Plugged Kit BLE	\$230,00
Igloo	Základní deska	\$14,00		
	Držák baterie CR2032	\$3,50		
	Senzor intenzity světla	\$2,00		
	Bzučák	\$3,20		
	Posuvný přepínač	\$1,90		
	Modul pro vývodové LED	\$4,20		

Vzhledem k povaze dalších příloh (*videosoubory aj.*) a jejich množství, jsou veškeré další přílohy přiloženy v elektronické podobě na DVD.