

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



Aplikace nositelné elektroniky pro zlepšení funkčnosti oděvů

**Applications of wearable electronics for improving
functionally of clothing**

Bc. Olha Boychenko

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Antonín Havelka, Csc.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 75

Počet obrázků: 38

Počet tabulek: 3

Počet grafů: 5

Počet příloh: 2

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Olha Boychenko**
Osobní číslo: **T12000381**
Studijní program: **N3106 Textilní inženýrství**
Studijní obor: **Oděvní a textilní technologie**
Název tématu: **Aplikace nositelné elektroniky pro zlepšení funkčnosti oděvů**
Zadávající katedra: **Katedra oděvnictví**

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

1. Proveďte rešerši týkající se Smart oděvů včetně nositelné elektroniky.
2. Zhodnoťte možnosti uplatnění komerčně vyráběných elektronických systémů, které se se uplatňují jako nositelná elektronika.
3. Odkoušejte na reálných oděvech aplikaci systému Lilly-Pad, zejména na ochranném oděvu.

Rozsah grafických prací: dle rozsahu dokumentace

Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- TAO, Xiaoming. Intelligent textiles and clothing: technology and applications. Editor H. Mattila. Cambridge: Woodhead, 2006, 506 s., ISBN 08-456-9005-2
- TAO, Xiaoming. Wearable electronics and photonics: technology and applications. Editor H. Mattila. Boca Raton FL: CRC Press, 2005, 250 s., ISBN 08-493-2595-1
- CHO, Gilsoo. Smart clothing: technology and applications. Editor H. Mattila. Boca Raton, FL: CRC press, 2010, 275 s. ISBN 978-142-0088-526
- VINCENZINI, P a Rita PARADISO. Smart textiles: "smart textiles": proceeding of the focused session A-11 "smart textiles" of symposium A "Smart materials and micro/nanosystems", held in acireale, Sicily, Italy, June 8-13-2008 as part of CIMTEC 2008 - 3rd International conference "Smart materials, structures and systems". UK: Trans Tech Publications Ltd, c 2009, 180 s. ISBN 39-081-582-5.
- Havelka, Antonin, Milan BAXA. Smart clothing : 7th Textile Science 2010, Technical University in Liberec, 2010, Czech Republic ISBN 978-80-7372-635-5
- Goldsmith, Andrea a Michaela G HUTCHINGS. Wireless communications: technological applications of colour chemistry. 1st ed. Cambridge University Press, 2005, 644, s. ISBN 978-0-521-83716-3

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
Katedra oděvnictví

Datum zadání diplomové práce: 2. listopadu 2013

Termín odevzdání diplomové práce: 19. května 2014


Ing. Jana Drašková, Ph.D.
děkanka




doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 2. listopadu 2013

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

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

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

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce.

Datum

Podpis

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Antonínu Havelkovi Csc. za cenné rady a připomínky, trpělivost a čas který mi věnoval v rámci řešení této práce. Děkuji též paní Haně Rulcové, panu Gerhardu Geislerovi a Ing. Rudolfu Třešňáku, kteří mi pomáhali s vypracováním experimentální části diplomové práce.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině, kamarádům a příteli (ty jsi to zasloužil) za podporu, kterou mi poskytli během studia .

Anotace

Diplomová práce se zabývá ohodnocením možností uplatnění komerčně vyráběných elektronických systémů, které se uplatňují jako nositelná elektronika. Rešerše zpracovává smart textilie a oděvy. Popisuje nositelnou elektroniku a elektronické systémy dostupné na trhu.

V experimentální části je vytvořena aplikace elektronických součástek do reálného oděvního výrobku. Pro její vytvoření byly použity součástky komerční sady LilyPad, která byla popsána v teoretické části diplomové práce. V práci je popsán postup její výroby a možností využití pro ochranné oděvy.

Klíčová slova: smart textilie, smart oděvy, nositelná elektronika, elektronické součástky, LilyPad.

Annotation

In this diploma thesis deals with creation of application wearable electronics for improving functionality of clothing and evaluating possible applications of commercially produced electronic systems.

The thesis is divided into two parts. The first part of the is devoted to the intelligent textiles generally, especially wearable electronics. In the experimental part was created application with electronic components LilyPad, into a real clothes, which should fulfill protective function.

Keywords: smart textiles, smart clothes and wearable technology, electronic components, LilyPad.

Obsah

Seznam použitých symbolu a zkratek	9
Úvod	11
Rešerše.....	12
1. Smart, inteligentní materiály a struktury	13
2. Smart, inteligentní textilie	14
2.1 Funkční prvky smart textilie, zařazení inteligence do textilních materiálů	15
2.2 Senzory, aktuatory ve smart textiliích	15
2.3 Polymerní gely	16
2.4 Materiály z tvarovou pamětí	17
2.5 Chromní materiály	18
2.6 Materiály měnící fázi	20
3. Nositelná elektronika	21
3.1. Stupně integrace elektroniky do textilie, funkční prvky nositelné elektroniky	21
3.2. Vstupy	24
3.2.1. Textilní senzory.....	26
3.2.2. Senzory deformace	27
3.2.3. Senzory z optických vláken	28
3.2.4. Senzory teploty – termočlánek, termistor	29
3.2.5. Fotodiody a fototranzistory	30
3.3. Výstupy	32
3.3.1. Led diody	32
3.4. Komunikace	33
3.5. Zdroje energie	34
3.6. Integrované obvody	34
3.6.1. Elektrická vodivost	35

3.6.2.	Elektricky vodivé materiály	35
3.6.3.	Elektricky vodivé textilní příze	37
3.7.	Další příklady aplikace nositelné elektroniky	37
4.	Komerčně vyráběné elektronické systémy	39
4.1.	Kiktronik, Adafruit	39
4.2.	LilyPad	41
4.2.1.	Hardware sady LilyPad	42
4.2.2.	Software LilyPad	43
4.2.3.	Senzory LilyPad	43
4.2.4.	Tlačítka a spínače	46
4.2.5.	Výstupy – aktuatory	46
4.2.6.	Zdroje energie	47
5.	Ochranné oděvy, oděvy chránící před vysokými teplotami, signalizační oděvy	47
6.	Tepelný komfort	49
Experimentální část		
7.	Smart kapsa	50
7.1	Použité součástky pro tvorbu návrhu	51
7.2	Popis konstrukce kapsy	51
7.3	Schéma zapojení elektronických součástek	52
7.4	Vodivé dráhy	52
7.5	Příprava softwaru pro navrženou aplikaci	54
7.5.1	Příprava softwaru pro teplotní senzor	55
7.5.2	Příprava softwaru pro světelný senzor	57
7.6	Ověření přesnosti a spolehlivostí použitých součástek	57
7.7	Měření odporu vodivé nitě	60
8.	Výroba navržené aplikace	60
8.1	Tvorba kódu pro navrženou aplikaci	60
8.2	Příprava pánského trika a spodní části smart kapsy	60
8.3	Tvorba vodivých drah a napojení součástek	61

8.4 Vydrž baterie.....	61
8.4 Dokončování výroby smart kapsy	61
8.5 Realizovaná aplikace	64
Závěr	67
Literatura	68
Seznam příloh	

Seznam použitých symbolů a zkratk

3G	Bezdrátová síť 3. generace
Bluetooth	Bezdrátová síť
DOV	Difrakční optická vlákna
FBG	Fiber Bragg Grid
GPS	Globální družicový polohový systém
GSM	Globální systém pro mobilní komunikaci
ICPs	Jiskrovo vodivé polymery
JST	Rozebiratelný konektor
LCD	Display z tekutých krystalů
LED	Světlo-emitující diody
Li-pol	Lithium-polymer
MEMS	Mikroelektromechanické systémy
PAN	Personální síť
PLED	Světlo-emitující polymerní dioda
<i>PCM</i>	<i>Materialy měnící fázi</i>
<i>SMM</i>	<i>Materiály z tvarovou pamětí</i>
QTC	<i>Kvantové tunelované kompozity</i>
<i>RFID</i>	Identifikace pomocí rádiové frekvence
SMA	<i>Slitiny s tvarovou pamětí</i>
WIFI	<i>Bezdrátová komunikace</i>

Úvod

Oděvy jsou důležitou součástí existence každého člověka. V dnešní době rychlého vývoje v oblastech nanotechnologií, biotechnologií, informačních technologií a jejich průniku do všech aspektů našich životů bylo zřejmé, že je jen otázkou času, kdy si tyto pokročilé technologie naleznou cestu do textilního průmyslu a ovlivní textilní výrobky a textilie jako takové.

S každým rokem vzrůstají požadavky na oblečení, a proto je nutné neustále zlepšovat a přidávat další vlastnosti textiliím. Jedním z takových příkladů mohou být inteligentní (smart) textilie. Tyto materiály dokáží nejen vnímat vnější podněty, ale u nejvyšší třídy inteligence dokonce reagovat.

Díky miniaturizaci v elektronickém průmyslu vznikla další možnost výroby smart oděvu – elektronické oděvy – wearable electronic. Pokročilé moderní komponenty neovlivňují estetický vzhled výrobku a ani neomezují pocit komfortu během nošení oděvu.

Celé odvětví wearable electronic se s každým rokem neustále rozvíjí kupředu a tím nabízí další nové možnosti v používání wearable electronic. Své využití tyto technologie najdou v oděvech pro specializovanou činnost jako například v lékařství, bezpečnostních složkách nebo armádě, ale v oděvech pro volný čas a zábavu.

Zájem o tyto technologie pro použití v oděvním odvětví je obrovský a to nejen u potenciálních zákazníků, ale také mezi designéry nebo umělci. Proto Leah Buechley společně s Sparkfun Electronics vyvinula komerční sadu součástek pod obchodním názvem LilyPad. Moduly lze běžně zakoupit od různých prodejců elektroniky a elektronických součástek. Sada obsahuje malý programovatelný počítač, různé druhy senzorů, světelné diody a jiné součástky pro výstupní signál. LilyPad umožňuje vytvářet jednoduché aplikace na oděvech, přičemž sada nevyžaduje hluboké technické a programovací znalosti, čímž je přístupnější širší odborné veřejnosti.

V experimentální části diplomové práce byly použity součástky z uvedené sady. Hlavním cílem bylo zhodnotit možnosti uplatnění elektronických systémů, vyzkoušet součástky, ověřit jejich přesnost, spolehlivost a vytvořit aplikace, která by zlepšila funkčnost oděvu, zejména ochranného.

Rešerše

1. Smart, inteligentní materiály a struktury

Rozvoj materiálové technologie měl obrovský vliv na vývoj lidské civilizace. Každá nová éra byla vyvolaná nekončícím pátráním po dokonalejších strukturách a materiálech. Konec 20. století byl ve znamení přechodu od věku syntetických do věku smart (angl. – *chytrý*) materiálu, který byl katalyzován technologickou revolucí. Vznik a rozvoj nových technologií jako biotechnologie, nanotechnologie, mikro elektronika, umělá inteligence budou poskytovat nervový systém, „mozek“ a „svaly“ pro novou generaci pokročilých materiálů a struktur [1].

Podle prvních definic inteligentní materiály jsou materiály, které reagují na vnější prostředí. Později byla definice rozšířena na materiály, které vnímají, předávají nebo zpracovávají vnější signál a reagují podle něj. Inteligentní materiály mohou reagovat na podněty jako jsou deformace, tlak, teplota, chemické látky, elektrické pole, magnetické pole, hydrostatický tlak, různé druhy záření a další formy stimulů.

Také je třeba zdůraznit, že slovo "inteligentní" se používá k popisu smart materiálů. Z puristického hlediska, materiály jsou inteligentní, když jejich reakce na vnější podnět je reverzibilní. Smart konstrukce jsou navrženy tak, aby náš život udělaly více produktivním a snadným [2].

Obecně podle způsobu reakce mohou být inteligentní materiály rozděleny na 3 skupiny a to na materiály pasivní, aktivní a velmi inteligentní. Pasivní inteligentní materiály mohou pouze vnímat životní podmínky nebo podněty. Aktivní - mohou vnímat a reagovat na podmínky nebo podněty. Velmi inteligentní materiály mohou snímat, reagovat a přizpůsobit se podle toho.

Ještě vyšší úroveň inteligence může být dosaženo použitím inteligentních materiálů a konstrukcí, které jsou schopny reagovat nebo se aktivovat za účelem provedení funkce v manuálu nebo předem naprogramovaným způsobem [3].

Inteligentní materiály jsou obvykle připojeny nebo vloženy do konstrukčních systémů tak, aby tyto struktury pro snímání poruchy zpracovávaly informace a vyvolávaly reakce pomocí akčních členů, případně eliminovaly vliv původní poruchy. Od smart

struktur a systémů se očekává vysoká míra spolehlivosti, efektivity také v extrémních podmínkách, udržitelnost celého systému, monitorování a detekce vlastního poškození a samoopravení takového poškození [4].

Mezi materiály, kterým lze přiřadit štítek "smart" patří piezoelektrické, elektrostatické, elektroeologické, magnetoeologické materiály citlivé na změny teploty, inteligentní polymery, gely (hydrogely), inteligentní katalyzátory, slitiny s tvarovou pamětí, pH a UV citlivé materiály [2].

2. Smart, inteligentní textilie

Pojem „smart textilie“ pochází od inteligentních nebo smart materiálů. Koncept byl poprvé definován v Japonsku v roce 1989. První textilní materiál, který byl označen jako "inteligentní", bylo hedvábné vlákno s tvarovou pamětí. Objev materiálů s uvedenou vlastností v roce 1960 a inteligentních polymerních gelů v roce 1970 však byly obecně přijímané jako zrození skutečně inteligentních materiálů [5].

Pasivní inteligentní textilie jsou první generací smart textilií. Mohou poskytnout další funkce výrobku, ale v „pasivním“ režimu. Vnější podněty jen vnímají. Mezi pasivní textilie patří například ochranný UV oděv, vrstvené příze a textilie, oděv ošetřený plazmou, keramicky potažené textilie, vodivá vlákna, tkaniny s optickými senzory atd.. Druhá generace smart textilií jsou aktivní inteligentní textilie. Mají jak senzory pro vnímání vnějších vlivů, tak také pohony pro reakce. Jedná se o textilie s tvarovou pamětí, voděodolné a paropropustné textilie (hydrofilní/neporézní), textilie akumulující teplo, pohlcující páru, teplo vyvíjecí a elektricky vyhřívané obleky.

Ultra inteligentní textilie spadají do třetí generace. Jedná se o textilie, které mohou snímat, reagovat a přizpůsobit se podmínkám životního prostředí nebo vnějším podnětům. Jsou to zároveň textilie na nejvyšší možné úrovni inteligence. To znamená, že mohou aktivně řešit situace, které mohou ohrozit život (např. při dopravní nehodě, na bojištích, atd.) nebo pomáhají zajistit vysokou úroveň komfortu i při extrémních změnách okolního prostředí. Fungování těchto velmi inteligentních textilií by se v podstatě dalo přirovnat k fungování mozku - vnímají vnější signály, na jejichž základě se rozhodují a reagují. Ultra inteligentní textilie se pokoušejí o začlenění elektronických zařízení, které jsou součástí našeho každodenního pracovního nebo soukromého života

do textilií a oděvů. Příkladem jsou hudební bundy, I-oblečení, sportovní bundy, inteligentní podprsenky, inteligentní oblečení, skafandry, atd. [6].

2.1 Funkční prvky smart textilie, zařazení inteligence do textilních materiálů

Jak již bylo dříve uvedeno, ve smart textiliích mohou být přítomné tři složky. Senzory poskytují nervový systém pro detekci signálů, tedy v pasivních inteligentních materiálech, jejich existence je zásadní. Aktuatory reagují na detekovaný signál a to buď přímo nebo z centrálních řídicích jednotek společně se snímači, které jsou základním prvkem pro aktivní inteligentní materiály. Na ještě vyšší úrovni, než velmi chytré a inteligentní materiály, musí být další důležitý druh jednotek, které pracují jako mozek – přijímají signál, zpracovávají jej a následně podle něj reagují.

Obecně inteligence lze integrovat do struktury textilie, na jedné z etap výroby - při přípravě vlákenného materiálu, ve fázi tvorby příze, anebo až dokončovací etapě výroby (integrací do hotového výrobku) [3],[6].

2.2 Senzory, aktuatory ve smart textiliích

Senzor může být definován jako zařízení, které může identifikovat a měřit některé jevy nebo vlastnosti a může zaznamenávat nebo jinak reagovat na získané informace. Senzory mají schopnost transformovat vnější podněty do měřeného signálu.

Senzory mohou být dvou typů - pasivní a aktivní. Pasivní senzory nepotřebují žádný další zdroj energie a přímo generují signál nebo odezvu na vnější stimul. To znamená, že vstupní informace je převedena senzorem do výstupního signálu. Aktivní senzory vyžadují externí napájení pro svůj provoz. Aktivní senzory se někdy nazývají parametrické, protože se jejich vlastnosti mění v odezvě na externí účinky a tyto vlastnosti mohou být následně převedeny na elektrický signál..

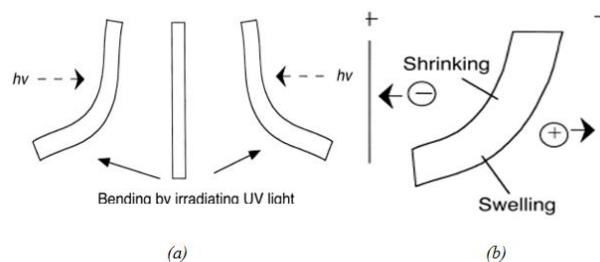
Aktuatory neboli pohony ve smart textiliích dostávají informace od senzoru anebo řídicí jednotky, shromažďují a analyzují je. Mohou produkovat mechanické, chemické, barevné, zvukové nebo další signály. Mezi mechanické pohony patří vlákna, která dokáží měnit izolační, paropropustní, kapalinopropustní vlastnosti textilií. Tato vlákna musí být elektroaktivními, schopnými reagovat na elektrické signály i při nižších

hodnotách napětí za krátkou dobu. Aktuatory na bázi polymerních gelu reagují změnou stavu, při reakci na určitá rozpouštědla bobtnají, anebo vykazují vlastnosti pevné látky. Materiály s "tvarovou pamětí" jsou dalšími představiteli aktuátoru pro inteligentní textilie. Jsou schopné reverzibilně reagovat na změny teploty. Chemické pohony jsou realizovány pomocí speciálních chemikálií. Mikro- a nano- kapsule, které již jsou ve struktuře vlákna nebo textilie, uvolňují chemické sloučeniny za určitých podmínek [7],[8].

2.3 Polymerní gely

Polymerní gely jsou elektroaktivní materiály a ve smart textiliích hrají roli aktuátoru. Existují různé druhy elektroaktivních polymerních materiálů. Polyelektrolyt je jeden z nejvíce zkoumaných. Vyvolat reakce polymerních gelů lze dvěma způsoby chemicky a fyzikálně. Mezi chemické podněty patří změna pH, oxidace a redukce, výměna rozpouštědla a iontové změny sil. Mezi fyzikální podněty patří světelné záření, změna teploty, fyzikální deformace, změna magnetického pole a mikrovlnné záření. Vlivem výše uvedených podnětů lze vyvolat symetrickou a nesymetrickou změnu rozměru nebo tvaru polymerních gelů. Polyvinylmethylether (PVME) má vysokou úroveň absorpce vody při nízkých teplotách, ale reaguje opačně při 30-40°C. PVC folie z obsahem spirobenzopyranu, při vlivu světelného záření dokáže změnit tvar směrem k nebo proti směru záření. Změna tvaru folie je zobrazena na obr. 1(a).

V případě použití elektrického pole se gely obvykle ohnou, protože aplikace pole indukuje asymetrické rozložení náboje a tím i asymetrické napětí v gelu. Změna tvaru gelu při dříve uvedeném působení je znázorněna na obr. 1(b) [3].



Obr. 1 Změna tvaru gelu při působení elektrického pole [3].

2.4. Materiály s tvarovou pamětí

SMM (Shape memory materials) jsou materiály, které pod vlivem vnějších stimulů mohou měnit svůj tvar z tvaru dočasně deformovaného do dříve "naprogramovaného". Změna tvaru je aktivována nejčastěji změnou okolní teploty, magnetického pole, elektrického pole, pH, UV záření a dokonce i voda může být spouštěcí podnětem. Vzhledem k široké škále různých aktivačních podnětů a schopnosti vystavovat ovládání nebo nějakou jinou, předem stanovenou odezvu. SMM mohou být využívány ke kontrole nebo ladění mnoha technických parametrů v inteligentních materiálových soustavách.

Rozlišují se tři druhy SMM, podle materiálového složení. SMA (Shape-memory alloys) jsou kovové slitiny, které se vrací k předem stanovenému tvaru za určitých teplotních podmínek. Pro výrobu SMA se v dnešní době nejvíce používají slitiny niklu a titanu. Další druh SMM jsou SMC – keramiky s tvarovou pamětí. SMP (polymery s tvarovou pamětí) – dokáží reagovat na UV záření, teplotu, vodu, pH, elektrické nebo magnetické pole.

Materiály s tvarovou pamětí se používají pro výrobu inteligentních voděodolných prodyšných membrán pro sportovní oděvy, pro medicínské aplikace – zdravotnické a hygienické výrobky nebo pro výrobu dekoračních textilií.

Corpo Nove ve Florencii navrhl aplikaci SMA, slitiny niklu a titanu, pro výrobu lazy shirt. Při zvýšení okolní teploty se rukávy košile automaticky vyhrnou, naopak při snížení teploty se rukávy vrací do původního stavu. Návrhář Marielle Leenders vytvořila košile s použitím SMA materiálu. Vlivem proudění teplého vzduchu se košile

zkrátí. Při odstranění zdroje teplého vzduchu se košile vrátí do původní délky. Výše uvedené reakce jsou zobrazené na obr. 2 [5],[9],[10].



Obr. 2 Košile od Marielle leenders s použitím SMA materiálu [11]

2.5 Chromní materiály

Chromní materiály jsou materiály, které dokáží vratně reagovat na vnější podnět změnou barvy, proto se také nazývají chameleoní materiály. Podle reakce na druh vnějšího podnětu mohou být rozděleny na:

- Fotochromní: reagují na změnu intenzity světelného záření
- Termochromní: reagují na změnu tepla
- Elektrochromní: reagují na změnu elektrického proudu
- Piezochromni: reagují na změnu tlaku
- Solvatechromni: reagují na kapaliny
- Karsolchromni: reagují na ozáření elektronovým paprskem

Fotochromní materiály mění barvu po ozáření ultrafialovým nebo viditelným světlem a poté se po odstranění světelného záření vrátí zpět do své původní barvy. Mezi nejvíce používaná fotochromní barviva patří spiropyran, spirooxazin a naphthopyran. Fotochromní materiály se používají v mnoha textilních aplikacích jako trička, kabelky, čepice apod.. Společnost SolarActive International vyrábí širokou škálu výrobků včetně speciálních UV citlivých nití, které jsou vyrobeny za použití různých fotochemických sloučenin. Původně nit, která je bílá, při působení UV záření mění svoji barvu - změna je vratná.

Termochromní materiály mohou být definovány jako materiály s reverzibilní změnou barvy pod vlivem změny teploty. Pro výrobu termochromních textilií se používají

enkapsulační barviva vynalezená v roce 1970. Termochromní organická barviva se aplikují při výrobě inteligentních textilií, ochranných oděvů, oděvů pro volný čas a zábavu.

Fakulta textilní Technické univerzity v Liberci v roce 2014 představila smart (inteligentní) šaty, které jsou zobrazené na obr. 3. Šaty mění svoji barvu v závislosti na dopadajícím UV záření. Je to výsledek zhruba desetiletého výzkumu týmu Ing. Michala Vika PhD v laboratoři měření barevnosti a vzhledu, která je součástí katedry materiálového inženýrství. Praktické využití se nabízí v designérské oblasti, ale i v oblasti medicínské, bezpečnosti a při ochraně zdraví v běžném životě. Představené šaty pomohou v budoucnu ochránit nositele před rakovinou kůže, přehřátím organismu nebo toxickými látkami. Na tvorbu šatů byly použity fotochromní barviva s pigmenty, které absorbují UV záření a v důsledku toho mění svoji chemickou strukturu a tím i své optické vlastnosti [12],[13],[14].

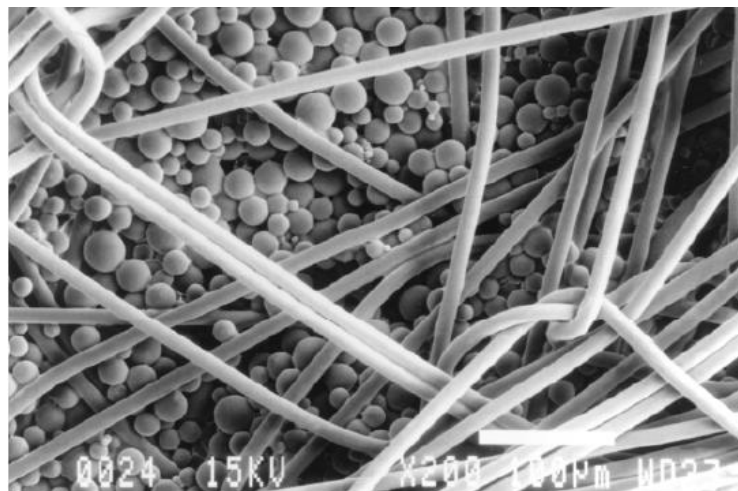


Obr. 3 Členka týmu Ing. Martina Viková předvádí šaty reagující změnou barevnosti na dopadající UV záření [16]

2.6 Materiály měnící fázi

PCM (Phase Change material) jsou materiály, které používají k regulaci kolísání teplot. Materiály měnící fázi byly vyvinuté v roce 1980 výzkumným programem NASA. Cílem bylo vyvinout materiál, který by chránil astronauty a nástroje před extrémními výkyvy teploty ve vesmíru.

PCM materiály slouží zhruba jako tepelné úložiště. Při fázových změnách dokáží uvolňovat anebo absorbovat teplo. Při stoupaní teploty v okolním prostředí PCM materiál teplo absorbuje a to až do chvíle co vlastní teplota vzroste k teplotě tání. Naopak při klesnutí teploty materiál teplo uvolňuje. Teplotní rozsah u obvyklých PCM materiálů je od -5°C do 190°C . Nejrozšířenější PCM textilií jsou parafínové vosky a jsou začleněné do struktury textilie pomocí mikrokapsle. Povlak mikrokapsle měl být odolný vůči oděru a tlaku. Na obrázku je znázorněná tkanina Outlast z PCM mikrokapsle.



Obr. 4 PCM mikrokapsle v tkanině Outlast Evropa [14]

Na trhu lze nalézt oblečení a obuv zahrnující PCM převážně pro aktivní a extrémní sporty, běžné nošení. Další možné aplikace PCM materiálu jsou zdravotnické textilie, ochranné oděvy, vybavení pro armádu, atd. [14].

3. Nositelná elektronika

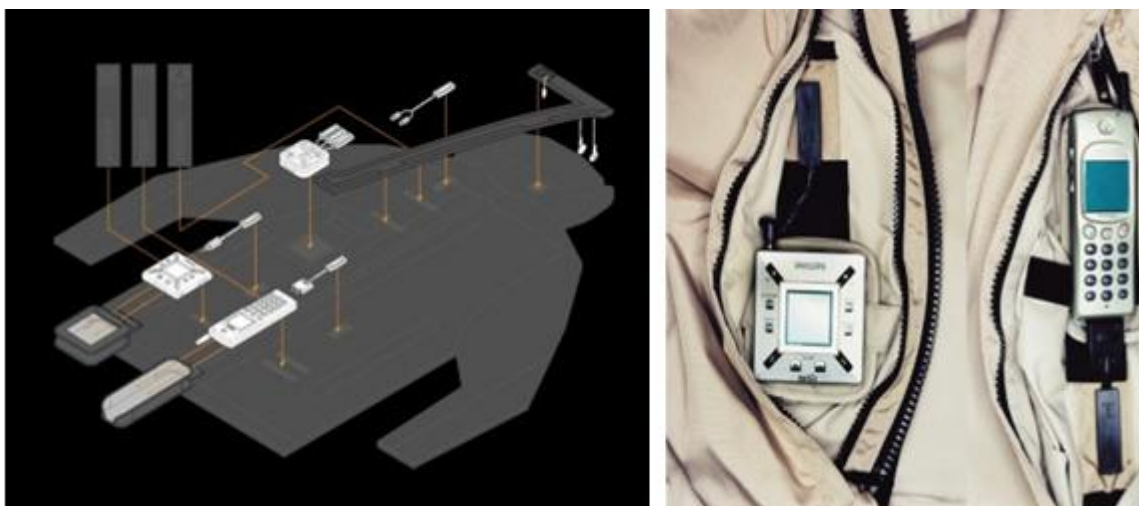
Nositelná elektronika, wearable electronic, electronic textile - stojí na nejvyšší úrovni smart textilie. Jedná se o oblečení s připevněnými anebo integrovanými elektronickými součástkami.

Stále rostoucí výkonnost mikroelektronických systému (MEMS), bezdrátové komunikace, nových senzorů a pohonů, autonomních zdrojů napájení umožňuje integrovat elektroniku do textilních struktur bez omezení jejich unikátních vlastností. Inteligentní mikro elektromechanické systémy (MEMS), sbírka mikrosenzorů a pohonů, které mohou vnímat změny vnějšího prostředí a mají schopnost reagovat na tyto změny.

V éře inteligence každý spotřebitel bude mít vlastní adaptivní osobní síť (PAN), která bude nabízet multimediální funkce, jako je GPS, připojení k internetu, mobilní telefon, hudební (MP3) přehrávače a monitorování zdravotní péče pomocí integrovaných a nositelných senzorů [4],[5].

3.1 Stupně integrace elektroniky do textilie, funkční prvky nositelné elektroniky

V závislosti na stupni integrace může být kombinace elektroniky a textilie rozdělena do tří kategorií: připevněné elektroniky, textronics a fibertronics. Příkladem připevněné elektroniky je bunda od ICD + od Philips a Levi's, která je zobrazena na obr. 5. Komerční výroba ICD + bundy byla zahájena v roce 2000 a tento produkt je obecně považován za první komerční wearable electronic. Úroveň integrace elektroniky tohoto obleku je nízká, protože všechny součástky včetně mobilního telefonu, MP3 přehrávače, zdroje napájení jsou snadno odpojitelné a nejsou určené k praní v pračce. Komunikace mezi zařízeními je vytvořena pomocí kovového drátu, který není ani našitý ani jinak integrovaný do textilní struktury.

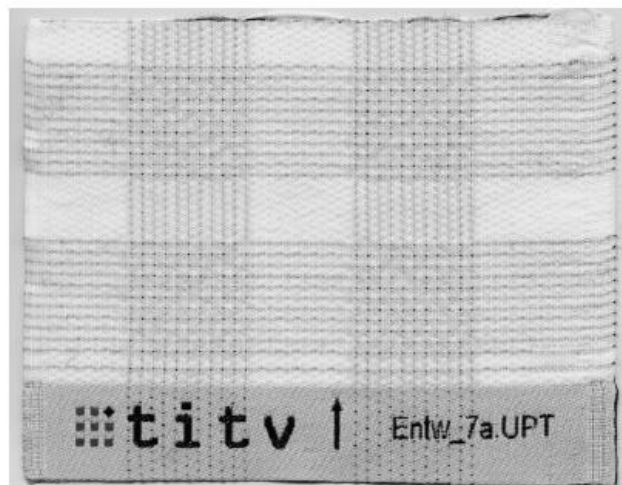


Obr. 5 Bunda ICD + z připevněnou nositelnou elektronikou, od Philips and Levis[16]

Výrobky pod názvem *textronics* již zahrnují inteligenci v textilní struktuře. Hlavní výhodou *textronics* technologie je snadná integrace elektroniky do textilie, nevýhodou je omezené množství komponentu, které mohou být integrované tímto způsobem. Technologie umožňuje pouze zařazení elektronických součástí na makro úrovni, jako jsou například senzory (čidla, vstupní zařízení), antény a kabelové propojení. Několik textilních výrobních technik mohou být použity k vytvoření *textronics*:

- Tkání – výroba tkanin s vodivou útkovou nebo osnovní přízí
- Pletení - pleteniny s vodivou přízí
- Během barvení – sítotisk s vodivými barvami
- Během konfekčního zpracování – např. vyšívání vodivými přizemi

Příkladem je tkána RFID anténa od TITV nebo senzorká pletenina "Respibelt". Pro tvorbu RFID antény, která je zobrazena na obr. 6, byla použita žakarová technika tkání. Ve spodní vrstvě vodivé příze byly použité jako osnovní nitě a v horní jako nitě útkové. Vodivé příze v obou vrstvách jsou od sebe odděleny izolační vrstvou. Specifikem žakarové tkací techniky je to, že pouze na určitých vybraných místech vodivé příze z horní vrstvy a vodivé příze ze spodní vrstvy jsou v kontaktu tak, aby vytvořili funkční strukturu cívky pro antény RFID. Tato anténa může být použita v kombinaci s mikročipem, ve kterém by měl být zadán příkaz, například návod k ošetření výrobku.



Obr. 6 RFID textilní anténa [5]

"Respibelt" vynalezly profesor Mike Caine, LU & Ross Weir k monitorování dýchání. Pletenina je vyrobená z příze, ve které je základním materiálem Lycra® a obsahuje nerezovou ocel. Na obr. 7 je zobrazený detailní náhled na pleteninu (a) a výsledný komerční produkt (b). Respibelt vypadá jako opasek a umísťuje se na hrudníku. Vlivem dýchání a pohybu hrudníků mění průřez nitě a tím také výsledný odpor.



(a)

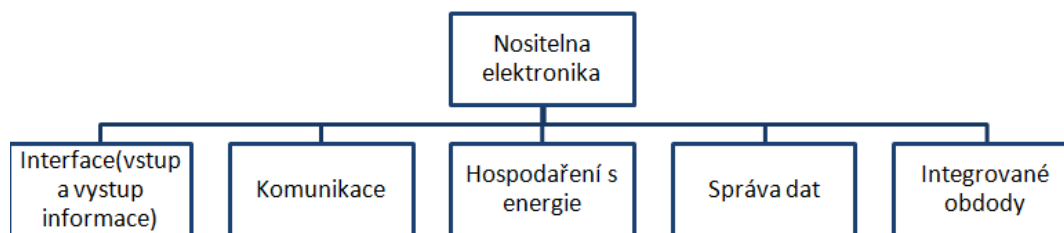


(b)

Obr. 7 Respibelt- detailní náhled(a) a hotový výrobek (b)[17]

Při výrobě fibertronics se inteligence integruje již při výrobě vlákna. Snaha o zařazení mikroprocesoru již do vlákenného materiálu je zatím omezena již je ve fázi vývoje.

Typický systém architektury nositelné elektroniky je zobrazen na obr. 8. Tento systém se musí skládat z několika elementárních součástí (funkcí): interface, komunikace, správy dat, hospodaření s energií a z integrovaných obvodů [5],[18].



Obr. 8 Základní systém konfigurace typické nositelné elektroniky[18]

3.2 Vstupy

Jako vstupní informace do zařízení může sloužit senzor anebo ovládací prvek, který senzor používá. Pro textilní aplikace by měly mít snímače vláknitý tvar a elektrický výkon a tím přinášet flexibilitu a snadnou integraci. Mezi osnovní parametry, které mohou detekovat senzory v textiliích patří: teplota, elektromagnetické signály, akustické a ultrazvuky, pohyby člověka, atd.. V tabulce 1 je uvedený seznam senzorů, které mohou být použity pro smart oděvy. Jinak při použití textilních senzorů mohou ale nastat problémy jako flexibilita a stabilita pod vlivem deformace, signál má nízkou amplitudu a odolnost vůči dlouhodobému náhřevu.

Nejběžněji se pro aplikace nositelné elektroniky používají různá tlačítka nebo klávesnice z důvodu jednoduchého ovládaní. Klávesnice a tlačítka se vyrábí buď z vícevrstvých tkanin nebo polymerních systému. Další možností jsou zařízení pro rozpoznávání hlasu a psací podložky. Materiály snímače jsou vyrobené z elektricky vodivých materiálů nebo optických vláken, která se používají pro měření pohybu a teploty. Podrobnější seznámení s textilními senzory naleznete v dalších kapitolách.

Tabulka 1 Seznam senzorů pro smart textilní aplikace

Měřicí vlastnost	Druh senzoru	Poznámka
Teplota těla	Termočlánek	Rozdíl výstupního potenciálu
	Termistor	Rozdíl výstupního odporu
Frekvence dýchání	Tenzometrické snímače	Měření tlaku od vyvolaného změnou objemu hrudníku
	Elektrody	Impedance vyvolaná změnou objemu

		hrudníku
	Termoelektrický článek	Rozdíl teploty při nádechu a výdechu
Pohyby těla	Akcelometry	2 a 3 osově akcelometry
EKG, EEG, EMG, GSR, EOG	Elektrody	K měření bio-potenciálního rozdílu nebo impedance mezi elektrodami
Tep	Tenzometrický snímač	Měření tlaku povrchu těla
	Infračervený LED senzor	Objemového měření průtoku krve v periferních žilách, měřením změn absorpce světla
Obsah kyslíku v krve	Optický senzor	Měření rozdílu absorpce poměru červené a infračerveného světla
Intenzita světla	Fotodioda, fototranzistor	Pro měření intenzity ultrafialového záření, slunečních paprsku
Snímač polohy	GPS, RFID	Absolutní a relativní poloha
Zvuk	Mikrofon	Pro záznam zvuku nebo zjištění hladiny hluku
Měření vlhkosti	Vlhkoměr/hygrometr	
Plyn, zápach	Chemický senzor	
Sluneční záření	Flexibilní solární článek	Zdroj energie

[13], [18],[19].

3.2.1 Textilní senzory

Mechanické snímače jako tenzometry, piezoelektrické senzory, atd., kvůli své hmotnosti a rozměrům nejsou vhodné pro aplikace do smart textilie. Proto se vyvinuly nové druhy snímačů speciálně pro textilní výrobky.

'SOFTswitch'²⁷ je jeden příklad textilního čidla pro snímání tlaku. Je vyroben z QTC kompozitu. Kvantové tunelované kompozity – QTC (Quantum Tunnelling Composite), jsou vyrobené z kovových nebo nekovových částic plniva v kombinaci s elastickým pojivem, jako jsou například silikonové pryže. Kombinací těchto materiálů ve výsledku dostaneme kompozit, který vykazuje podstatně odlišné elektrické vlastnosti ve srovnání s jinými elektricky aktivními materiály a to v tom, že jeho elektrický odpor se mění v souladu s plošným tlakem. Nemá tak výrazné nedostatky jako tradiční přepínače a proměnné rezistory, mechanické poruchy nebo jiskření mezi kontaktními místy.

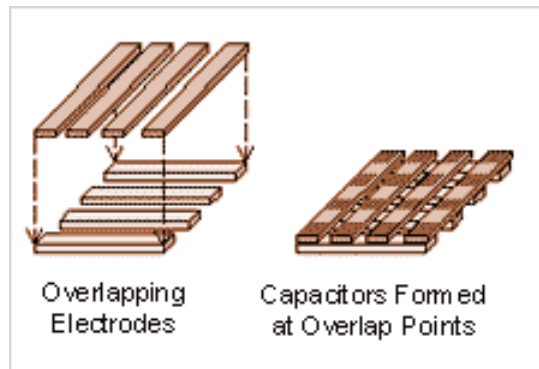
Elektroaktivní keramická vlákna, která mají piezoelektrické vlastnosti mohou být použity pro senzory tlaku.

Výzkumní a vývojové organizace WRONZ, Nový Zeland, a společnost Peratech Ltd Darlington, Anglie, společně vyvinuly Softwitch TM technologie. Peratech vyvinul elasto-resistivní polymery s jedinečnou a rozmanitou sadou elektronických vlastností. Materiál je popisován jako "variabilní" odporové kvantové tunelování kompozitu, který poskytuje proporcionální řízení elektronického zařízení kromě jednoduchého zapnutí / vypnutí přepínání. To znamená, že se dotykem prstu materiál může změnit z izolantu do vodiče. Odpor může být snížen ze stovek milionů ohmů na méně než jeden ohm pod tlakem prstu.

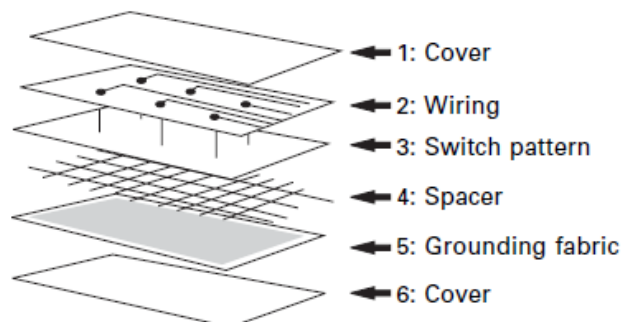
Americká společnost Pressure Profile Systems, Inc. navrhuje, vyvíjí a vyrábí vysoce výkonné víceprvkové tlakové a hmotové snímací systémy, tzv. Tactarray a ConTacts, který je zobrazen na obr. 9. TactArray a PresStrip senzory snímají pomocí vzájemně překrývajících se elektrodu které tvoří matice snímacích prvků. Selektivní měření provádí na principu kapacity mezi určité jednotky a snímací elektrody.

Společnost Inaba v roce 1989 vyvinula tkaninu na bázi taktálních sensorů. Tento snímač skládá z šesti vrstev tkaniny, jak je znázorněno na obr.10. Krajní vrstvy na obou stranách (č. 1 a 6) slouží jako krytí. Vrstva číslo 5 je uzemnění a je oddělena síťkou (č. 4) od vrstvy s vodivými částmi pro jednotlivá tlačítka spínače (č. 3). Vrstva číslo 2

pak odvádí informace o propojení určitých částí pomocí natištěných vodivých drah tkaniny [13], [18], [19].



Obr. 9 Senzory TactArray a PresStrip[18]



Obr. 10 Taktilní snímač tlaků[13]

3.2.2 Senzory deformace

Senzory deformace se používají převážně pro snímání a monitorování tělesných parametrů jako srdeční frekvence a EKG, dýchání a krevní tlak.

Tyto parametry se měří na povrchu nebo v horní části těla. Textilní materiály složené z vláken tvoří komplexní síť vodivých drážek. Při deformaci probíhá řada mechanismů:

- Změna počtu kontaktů
- Vlákná se protahují
- Mění se průřez vláken

Zvýšení počtu kontaktních míst snižuje elektrický odpor, zatímco při protažení vlákna a snížení průřezu se elektrický odpor zvyšuje. Aby bylo možné používat vodivá vlákna pro biomedicínské aplikace, musí být buď přímo integrovány do nositelných oděvů ve vláknité formě nebo se mohou nacházet ve struktuře textilie (vpletené, utkané).

V oblasti biomedicíny se nejvíce aplikují piezoelektrické senzory a piezoelektrické snímače. Praktičtější a účinnější prostředkem signálů kontrolního orgánu a různými proměnnými jsou:

- Piezoelektrické senzory
- Piezoelektrické snímače

Piezoelektrické senzory pracují podle piezoelektrické efekty, který spočívá v tom, že uvnitř některých polykrystalických dielektrik vzniká vlivem mechanické deformace elektrická polarizace, čímž se na povrchu tvoří zdánlivé náboje, které mohou na přiložených elektrodách vázat nebo uvolňovat náboje skutečné. Jakmile napětí zmizí, dostává se dielektrikum do původního stavu [18], [19].

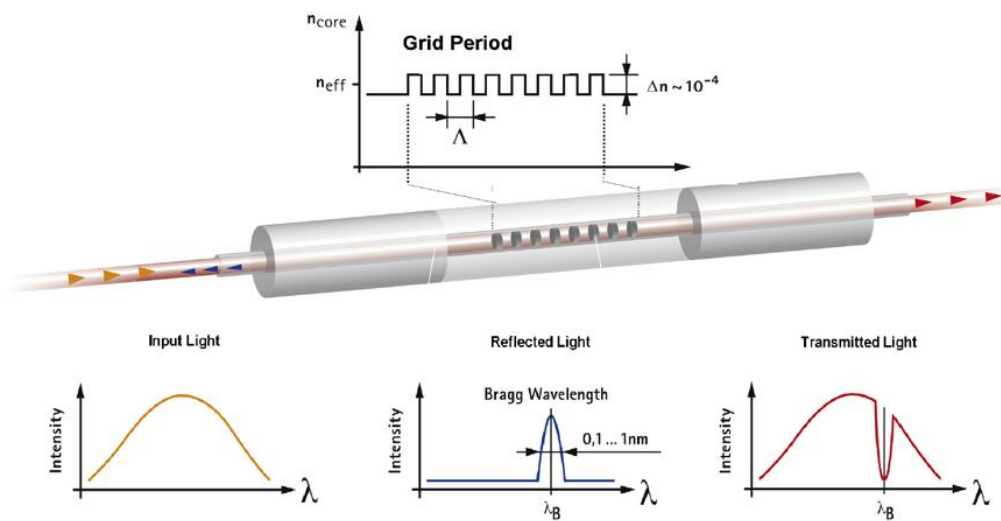
3.2.3 Senzory z optických vláken

Optická vlákna slouží k vedení světelných signálů. Vedení světla je ve vláknech zajištěno tím, že dochází k totálnímu odrazu na rozhraní mezi materiálem vlákna a okolím. Používají se převážně pro přenos dat (internet a telekomunikace). Dalšími důležitými aplikačními oblastmi jsou sensorika a medicína.

Optické senzory jsou založeny na měření buď změny intenzity jednoho nebo více světelných paprsků nebo fázových změn světelných paprsků způsobených jejich interakcí nebo rušením [4].

Pro snímání tlaků, teploty, deformace lze s výhodou využít jevu na optických vláknech, nazývaný optická difrakce a vlákna se nazývají difrakční optická vlákna (DOV) (anglicky FBG (Fiber Bragg Grid)). Mechanická deformace optického vlákna má za následek změnu podmínek šíření světelného svazku, protože se mění geometrie jádro-plášť a také index lomu. Také záleží na tom, zda deformace působí kolmo nebo podél osy vlákna. Mezi výhody FBG čidel patří nízká hmotnost, pružnost, stabilita, nízké náklady, delší životnost, vyšší kapacita teploty, vhodná velikost pro vkládání do

kompozitních materiálů, aniž by došlo k významné perturbaci charakteristik struktury, odolnost vůči elektromagnetickým vlivům [3],[20].



Obr. 11 Difrakční optické vlákno[20]

3.2.4 Senzory teploty – termočlánek, termistor

Teplota je fyzikální veličina popisující teplotní stav systému a je možné ji definovat jako míru kinetické energie pohybujících se molekul. Teplotní stupnice je definována na základě trojného bodu vody, tj. na základě rovnovážného stavu tří skupenství vody (ledu, vody a syté vodní páry). Hodnota teploty trojného bodu vody byla pevně stanovena na $T = 273,16$ K. Základní jednotkou termodynamické teploty je Kelvin [K] definovaný jako 273,16-tá část termodynamické teploty trojného bodu vody. Jednotkou teploty je také stupeň Celsia [$^{\circ}\text{C}$].

Obecně senzory pro dotykové měření teploty lze rozdělit na dotykové a bezdotykové. Mezi dotykové patří:

- Elektrické (odporové kovové, odporové polovodičové, polovodičové s PN přechodem, termoelektrické, krystalové)
- Digitální (kapalinové, plynové, parní a bimetalové)
- Speciální (akustické, šumové, magnetické, z tekutých krystalu teploměrné barvy).

Senzory pro bezdotykové měření teplot zahrnují:

- Tepelné

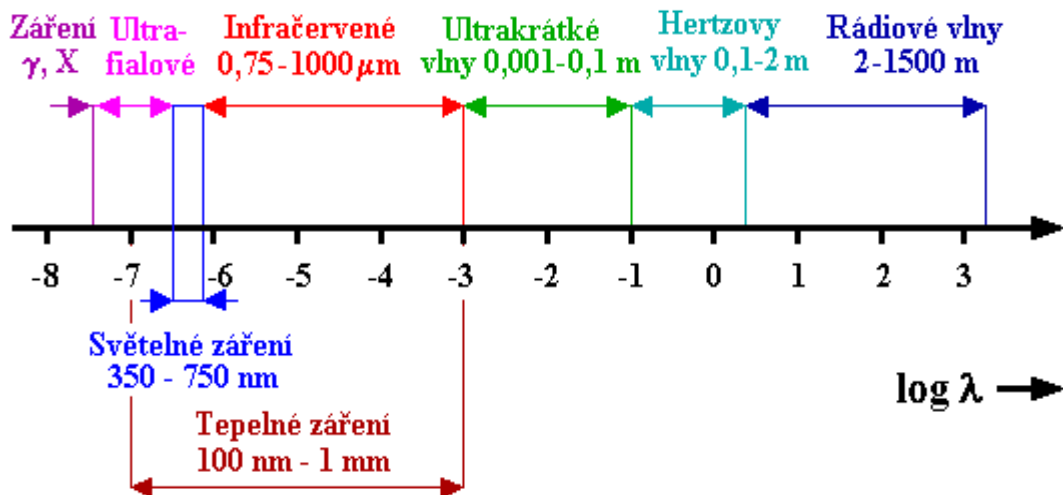
- Kvantové
- Akustické.

U dotykových senzorů teploty se řídí podle nultého zákon termodynamiky. U dvou těles v tepelném kontaktu se dříve či později nastaví stav termodynamické rovnováhy, charakterizovaný časovou neproměnností veličin popisujících stav systému (např. teplota). Termoelektrické senzory – termočlánky jsou založeny na Seebeckovu jevu, tj. na jevu převodu tepelné energie na elektrickou. Princip fungování termočlánku spočívá v použití dvou odlišných kovů, které jsou spojené. Elektrický proud tím vzniklý na koncích kovu bude mít různou teplotu. Termočlánek je pasivní senzor. To znamená, že vytváří napětí v závislosti na teplotě a nevyžaduje žádné externí budoucí napájení.

Termistory se dle struktury dělí na amorfnní a polykrystalické. Teplotní rozsah termistorů je rozdílný dle použitého materiálu. Výhodami jsou velká citlivost, malé rozměry, jednoduchý převod odporu na elektrické napětí nebo proud a možnost přímého měření odporu termistoru na větší vzdálenost. Nevýhodou ale je nelineární charakteristika. Termistory v závislosti na materiálu mají buď velký záporný teplotní součinitel odporu, tzv. negastor neboli NTC termistor (Negative Temperature Coefficient) nebo velký kladný teplotní součinitel odporu, tzv. pozistor nebo-li PTC termistor (Positive Temperature Coefficient). Negastory se vyrábějí práškovou technologií z kyslíků kovů jako je kysličník chromu, kobaltu, mědi, železa, manganu. Teplotní rozsahy negastorů jsou od -50 C do +150 C. Pozistory se vyrábějí z polykrystalické feroelektrické keramiky. Odpor pozistoru se stoupající teplotou mírně klesá [21],[22].

3.2.5 Fotodiody a fototranzistory

Detektory elektromagnetického záření ve spektrálním rozsahu, který je zobrazený na obrázku 12, od ultrafialového do infračerveného světla jsou čidla, která snímají od ultrafialového do infračerveného světla. Z hlediska odezvy snímače mohou být rozděleny na kvantové a tepelné. Kvantové detektory pracují od ultrafialového do poloviny infračervené oblasti spektra, zatímco tepelné detektory jsou nejužitečnější v polovině a daleko-infračervené oblasti spektra, kde jejich účinnost při pokojových teplotách překračuje kvantových detektorů.



Obr. 12 Spektrum elektromagnetického záření [23]

Mezi kvantové detektory patří fotodiody, fototranzistory a fotoresistory. Fotodiody a fototranzistory jsou polovodivé optické senzory. Polovodičová dioda je součástka s jedním PN přechodem, tedy s částí typu P a s částí typu N. Základním materiálem polovodiče je čtyřmocný prvek, například Křemík (Si) nebo Germánium (Ge). Pokud k čistému čtyřmocnému prvku přidá i velmi malé množství atomů pětímocného prvku (např. Arsen), jeden z elektronů příměsi nebude pevně vázán na okolní čtyřmocné atomy křemíku a už velmi malé množství energie ho vytrhne a stane se z něj polovodič typu N. Obdobně, pokud k čistému čtyřmocnému prvku se přidá i velmi malé množství atomů třímocného prvku (např. Indium), ve vazbě s okolními čtyřmocnými atomy křemíku bude jeden elektron chybět. Vznikla tedy díra schopná přijmout uvolněný elektron ze sousedního atomu a tak se posouvat. Díry představují u polovodiče typu P. Přechod PN znamená spojení obou polovodičů na makroskopické úrovni.

Fotodioda využívá tzv. hradlový fotoefekt – do oblasti přechodu PN proniká elektromagnetické záření, které generuje páry elektronů. Osvětlený přechod PN diody je vodivý i v závěrném směru a sám se stává zdrojem napětí. Tohoto jevu se využívá k přímé přeměně energie světelného záření na energii elektrickou.

Tranzistor patří mezi nejdůležitější polovodičové součástky. Je tvořen krystalem se dvěma přechody PN. Střední část krystalu je báze B a přechody PN ji oddělují od oblasti s opačným typem vodivosti, které označujeme jako kolektor C a emitor E. Tranzistor má dva přechody PN - emitorový (přechod E - B) a kolektorový (přechod B - C). Oba je možné zapojit dvěma způsoby a tak získávat celkem čtyři možnosti zapojení. Podle druhu vodivosti jednotlivých částí označujeme tranzistory jako typ NPN a PNP.

Fototranzistor na rozdíl od „klasického“ tranzistoru, který má jen dva vývody (dvě elektrody). Roli třetí elektrody hraje průhledné okénko, kterým je možné jeden z přechodů osvětlit. Jakmile dopadne na přechod světlo, energie světla způsobí generaci párů elektronů - díry. Napětí je soustředěno hlavně na přechodech (mají větší odpor než ostatní části tranzistoru). Ve směru elektrické intenzity se začínají pohybovat díry z osvětleného přechodu. Druhý přechod je zapojen v propustném směru pro minoritní částice – díry.

Dalším důležitým pojmem pro detektory světla intenzita osvětlení. Základní její jednotkou je lux (lx). Vyjadřuje celkový světelný výkon, který dopadne na jednotku plochy [7], [21], [24].

3.3 Výstupy

Výstup je vlastně informace, která prezentuje nositele. Příkladem jsou vibrace, zvukové a vizuální efekty. Pro poslední typ výstupu se používají v současné době LCD displeje – displeje z tekutých krystalů, které přes větší hmotnost, nedokonalou viditelnost při různých úhlech pohledu a neohebnost nejsou až tak vhodné pro textilní materiály. Displeje z holografických polymerů (HPDLCs), které mohou nabídnout lepší výkonnost z hlediska flexibility, ale ještě jsou ve fázi vývoje. Polymer světlo-imitující diodové displeje (PLEDs), přes vysoký kontrast zobrazení, menší spotřebu energie a flexibilitu jsou velmi slibné pro budoucnost nositelné elektroniky. Ohebné displeje na bázi polymerních optických vláken (FODs) jsou také zkoumané řadou výzkumných pracovníků [18].

3.3.1 Led diody

LED diody jsou polovodičové zdroje světla, které hlavně využívají pro indikaci stavu elektronického obvodu. Ve svítících diodách – LED, vzniká zářivé světlo díky mezipasové rekombinaci elektronů a děr v polovodičích s přímým přechodem zakázaného pasu. Diody jsou tvořeny p-n přechodem, na který je přiloženo napětí v propustném. Přechodem prochází elektrický proud a do oblasti přechodu jsou přiváděny nosiče náboje obou druhů, tedy elektrony z vodivostního pasu polovodiče typu N a díry z valenčního pasu polovodiče typu P, které zde zářivě rekombinují.

LED má dvě zakončení - anodu a katodu. Intenzita svícení diody závisí na množství vstupního proudu. Maximální povolený vstupující proud se označuje jako I_{Fmax} . Při tvorbě obvodu s použitím led diod je potřeba vědět o napětí V_{Typ} , které prochází

obvodem a maximálně dovoleném napětí, V_{Fmax} . Jas který emituje světlo se měří v milicandelach [mcd]. K nejnámějším polovodičovým diodám patří GaAs, která svítí v oblasti blízké infračervené oblasti (okolo 900 nm), ve viditelné oblasti SiC (přibližně 580 nm) nebo modro-fialově svítící GaN(400 nm) [25].

3.4 Komunikace

Komunikační technologie slouží k posílání a přijetí informací mezi dvěma nositelnými zařízeními (short-range communications - krátký dosah signálu), anebo mezi dvěma uživateli přes internet (long-range communications - větší dosah signálu).

Pro delší dosah signálu - long-range communications, lze použít technologii, která byla dobře vyvinutá v přenosných zařízeních jako mobilní telefony anebo osobní digitální pomocník (PDA). Také jsou dostupné jiné komunikační technologie jako GSM a 3G. Dokážou přenášet nejenom hlas ale i soubory dat.

Krátký dosah signálu – short-range communications je oblast, kde se využívá Bluetooth technologie, osobní síť (PAN), infračervené síť (IR). IR patří mezi spíše nevhodné způsoby posílání signálu – menší vzdálenost, závislost na uhlu mezi příjemcem a odesílatelem signálu. Bluetooth je nová technologie s řadou výhod jako možnost propojení mezi různými druhy zařízení, rozsah až 10 metru, slabší signál – neruší ostatní. Personální síť PAN založena na využití přírodní slanosti lidského těla, což je výborný vodič elektrického proudu. Přenosová rychlost je dostatečná pro identifikace, informace o finančním nebo zdravotním stavu, ale přenos dat jako je video či audio už není možný.

Správa dat odpovídá za ukládání a zpracování dat. Existují tři technologie skladování dat magnetické úložné systémy, optické systémy (CD, DVD) a počítačová media - flash paměť. Poslední skupina je nejvíce vhodná pro nositelnou elektroniku přes nízkou hmotnost, menší rozměry, cenu.[18]

3.5 Zdroje energie

Hospodaření s energií musí odpovídat několika požadavkům jako jsou menší hmotnost a možnost začlenění do oděvu bez snížení estetických vlastností oděvu, musí být trvanlivější a odolnější při každodenním nošení, musí se jednoduše nabíjet a mít delší

pracovní dobu. V současné době se používají standardní tužkové baterie nebo lithiové baterie - vyrábějí elektrickou energii převodem z energie chemické. Mají delší životnost před vybitím a dobíjejí se vodíkem nebo metanolem. Jinou alternativou je převod energie kinetické z pohybu člověka na energii elektrickou. Vyskytují se zde také piezoelektrické materiály, které vytváří elektrický náboj při mechanickém namáhání, fotovoltaické články pro sbírání sluneční energie, polovodičové teplotní páry vyrábí elektřinu z rozdílu mezi teplotou lidského těla a okolního prostředí. Alternativní energie může být přenesena na zařízení pomocí mikrovln, tato oblast je stále ve stavu výzkumu.[19]

3.6 Integrované obvody

Integrované obvody dnes se vyrábí s křemíku přes vynikající polovodičové vlastnosti, jenže mají nevýhodu v podobě omezené ohebnosti. Naopak vodivé polymery mají vynikající ohebné vlastnosti, jsou lehké, pevné a mají nízkou výrobní cenu, ale nemají tak dokonalou vodivost jako křemík. Musí být připojeny do oděvu a spojuvat elektronická zařízení. Řada vodivých vláken je vyrobena ze stejného materiálu jako základní textilie, což umožňuje integrovat je již v tkacím nebo pletacím procesu. [18].

3.6.1 Elektrická vodivost

Když napětí, U (volt [V]), je aplikované mezi dvěma průřezy vodiče vzniká elektrické pole – E . V závislosti na geometrii elektrod a jiných faktorech, elektrické pole, může nebo nemusí být jednotné. Elektricky nabitě částice materiálu budou mít elektrostatické síly ve směru elektrického pole, která se rovná součinu jejich náboje a elektrického pole. Elektrický proud - I (ampér [A]), se definuje jako rychlost, se kterou nosiče náboje projdou průřezem vodiče.

Elektrická vodivost vyjadřuje schopnost vodiče vest elektrický proud a označuje se písmenem – G . Její jednotkou je siemens, který se značí písmenem [S]. Vodivost G je převrácenou hodnotou odporu R :

$$G = \frac{1}{R} [S, \Omega]$$

Z toho plyne, že čím větší je hodnota R , tím menší je jeho vodivost a naopak.

Velikost odporu vodiče závisí na geometrických rozměrech vodiče a na materiálu vodiče. Platí:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} \quad [\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-1}, \text{m}, \text{mm}^2] \quad [26]$$

Kde je :

ρ - měrný odpor vodiče [$\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-1}$]

l – délka vodiče [m]

S – průřez vodiče [mm^2]

Odpor lze zjistit přímo měřením anebo při známých hodnotách napětí a proudu pomocí ohmová zákona:

$$R = \frac{U}{I} [V \cdot A^{-1}] \quad [27]$$

Dobré vodiče mají odpor 10^{-25} [Ωm], typické kovové vodiče - 10^{-8} [Ωm], polovodiče - 10^{-4} až 10^{10} [Ωm] a izolátory - 10^{10} až 10^{20} [Ωm] [26],[27].

3.6.2 Elektricky vodivé materiály

Mezi materiály, které se používají nejvíce pro vytvoření elektrických obvodu patří kovové příze, příze vyrobené z vodivých polymerů, polymerní vlákna, která mají vysoký obsah elektro vodících částic (uhlík, stříbro, atd.) a vodící tenké anorganické filmy.

Kovy jsou užitečné v praktických aplikacích, kdy je vyžadována vysoká vodivost. Výhody jsou nízké náklady a vysoký elektrický výkon. Kovová vlákna mohou být vyrobena z vodivých kovů a slitin železa, niklu, nerezové oceli, titanu, hliníku a mědi. Jsou to vlákna velmi tenká s průměry v rozsahu od 1 do 80 μm . Ačkoliv při spojení textilních vláken a kovových drátů lze získat příze s poměrně vysokou vodivostí - 10^5 [Ωcm]⁻¹, kovová vlákna jsou drahá, křehká a těžší než většina textilních vláken, takže je obtížné vyrobit homogenní směs.

Vodivé vlastnosti mohou mít také polymerní materiály. Mezi nejvíce známé patří polyacetylene (PA), polyanilin, polypyrrol a polythiofenem. Jsou to polymery, které vykazují vysokou vodivost srovnatelnou s kovy [13],[18].

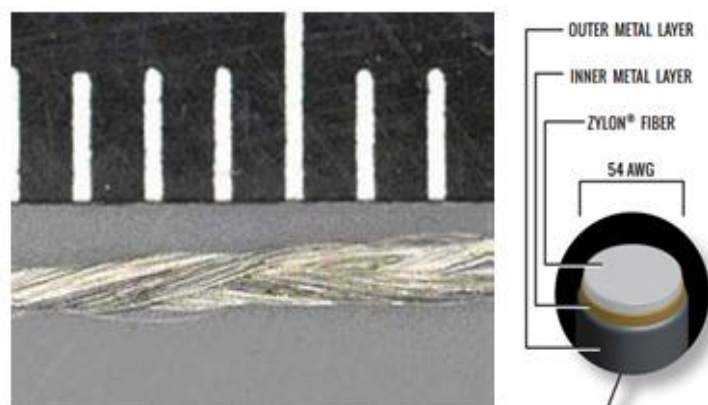
3.6.3 Elektricky vodivé textilní příze

Elektricky vodivá vlákna a příze jsou klíčovou součástí inteligentních a interaktivních textilií.

V závislosti na elektrické vodivosti je polymer na bázi elektro-aktivních částic široce používán jako senzor pro zjištění vlhkosti, teploty, tlaku, koncentrace chemikálií a intenzity světla. Nicméně, integrace vodivých přízí v konstrukcích je složitá a zřídka při tomto postupu lze dosáhnout měkkou, příjemnou na dotyk tkanou strukturu.

Existují dvě strategie pro vytváření elektricky i tepelně vodivých přízí. První strategie spočívá v povrchové úpravě tekutými barvivy (inkousty) s vysokým obsahem kovů, které zajišťují komfort požadovaný pro obleky. S přidáním niklu, mědi, stříbra a uhlíku do povrchových vrstev textilií různých tloušťek zajišťuje povrchová úprava textilií jejich vhodné fyzikální a elektrické vlastnosti, jaké je třeba pro žádané aplikace.

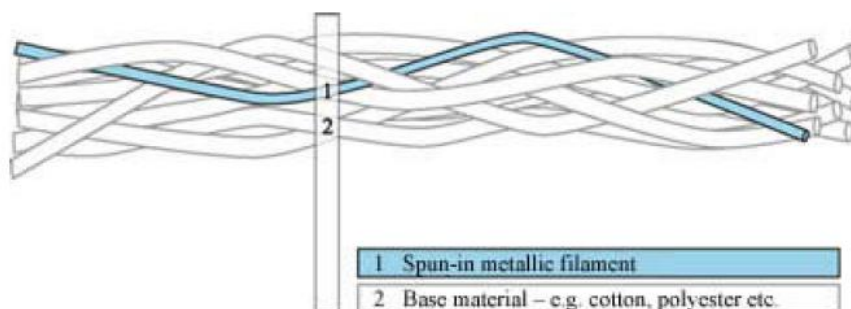
Na obr. 13 je zobrazena elektrovodivá příze od Amber. Příze od Amber mají jádro z polymerního vlákna z obchodním názvem Zylon, které je pokryto vrstvou kovu.



Obr. 13 Vodivé nitě od Amber [28]

Druhá strategie tvorby vodivých přízí spočívá v tom, že kovová vlákna - stříbro, zlato, měď nebo vodivé polymery jako jsou polythiofen, polyanilin, aktivovaný polyethylen a

jejich deriváty, přidávají k základní surovině při tvorbě přize. Na obr. 14 je zobrazená přize od společnosti Swiss-Shield, která se specializuje na výrobu kovových monofilů, které jsou začleněny do základních přizí jako jsou bavlna, polyester a polyamid. Kovové monofily jsou z mědi, bronzu, stříbra, zlata nebo hliníku. Takové přize se používají k výrobě textilií pro technické, průmyslové a vojenské aplikace, bytový textil nebo textilie pro oděvy [8],[3].



Obr. 14 Elektrický vodivá nit Swiss-Shield [29]

3.7 Další příklady aplikace nositelné elektroniky

Mezi oblasti, kde se používá nositelná elektronika patří: informace a komunikace, zdravotnictví a lékařské aplikace, móda a domácnost, vojenské a průmyslové aplikace.

Vědecký tým profesora Zdeňka Kůse a docenta Antonína Havelky na vývoji inteligentního cyklistického oděvu spolupracoval se třemi českými firmami. Plzeňská firma APPLYCON a liberecký ELITRONIC zajišťovaly návrh a výrobu celých ovládacích modulů. Tábořská firma KALAS pak na tiskovou konferenci přinesla už první dva vzorky nového modelu.

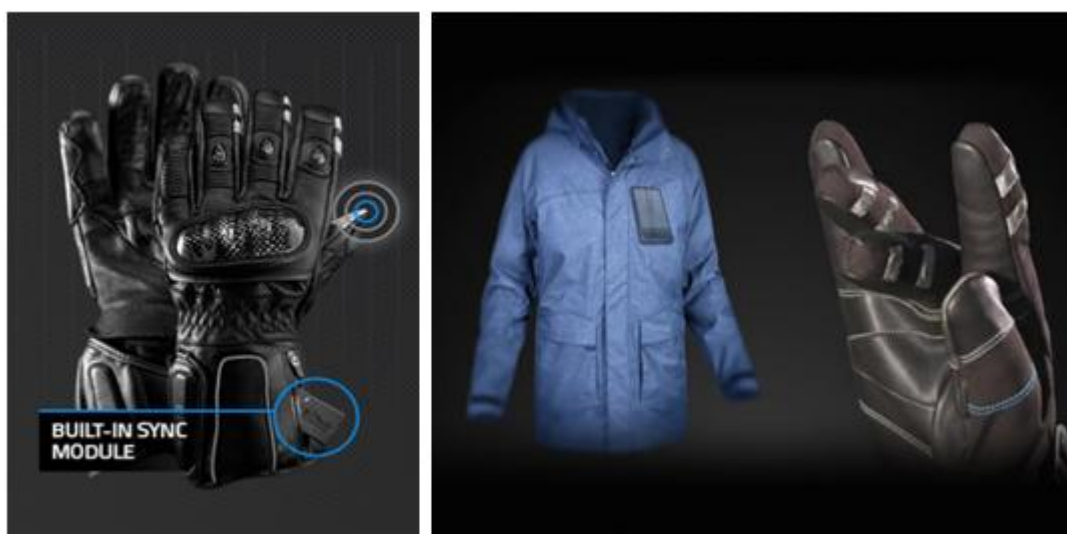
Vývoj trval asi jeden rok. Počáteční náklady hradila fakulta textilní z vlastních zdrojů, následně se zapojily i výše zmíněné firmy. Výsledkem je unikátní bunda, která je zobrazená na obrázku 31. Podstatně zvýší bezpečnost cyklistů v silničním provozu. Navenek jde o běžnou reflexní cyklistickou bundu, která je ale na zadní viditelné části vybavena blikajícími LED diodami. Systém se skládá ze dvou modulů. Jeden je umístěn na jízdním kole a zpracovává signály změny směru jízdy a brzdění. Tyto signály jsou odesílány do druhého modulu v oděvu, který na jejich základě řídí svit LED diod integrovaných do oděvu



Obr. 15 Cyklistka bunda s nositelnou elektronikou [30]

Oba moduly se skládají ze stejných základních částí- akumulátor, deska s řídicí elektronikou a bezdrátový komunikační člen. Přičemž rozdílná je pouze konstrukce řídicích desek, kdy jedna z nich obsahuje digitální vstup pro příjem signálů ze tří senzorů na bicyklu. Druhá výstup pro napájení čtyř sekcí akčních členů v bundě [30].

Společnost BEARTEK ve spolupráci z Blue Infusion Technologies vyvinula speciální rukavice vybavené technologií Bluetooth, které jsou určeny pro zimní sporty jako jsou lyžování a snowboarding. Prsty rukavice mají šest dotykových bodů. Po klepnutí palcem do jedné z těchto šesti dotykových bodů mohou uživatelé přijímat příchozí hovory, přepínat seznamy skladeb nebo povolit ovládání audiosystému bez potřeby vyndávat mobilní telefon nebo MP3 přehrávač. S BEARTEK rukavicemi mohou uživatelé snadno ovládat inteligentní Bluetooth produkty jako jsou iPhone a zařízení Android. Cena rukavic je kolem 200USD, ale záleží na použitých textilních materiálech a elektronickém vybavení. Beartek rukavice jsou představené na obr. 16 [31].



Obr. 16 Rukavice z integrovaným bluetooth modulem [31]

4. Komerčně vyráběné elektronické systémy

Produkty wearable electronic, které jsou již běžně dostupné na trhu vyvolaly obrovský zájem z řad designérů a umělců – platí zde obecné pravidlo, kde je poptávka tam se vždy objeví nabídka. Proto spousta výrobců elektronických součástek vyvinuly speciální edice výrobků pro tvorbu nositelné elektroniky a to takových, že je jejich uživatel dokáže používat bez hlubokých odborných znalostí nebo vybavených laboratoří.

Cenově jsou součástky velmi dostupné a lze je zakoupit v internetových obchodech nebo přímo od výrobců. Jedna z nejvíce známých sad je LilyPad – součástky, které byly použité v experimentální části diplomové práce. Největší výhodou této sady je příjemný design, malé rozměry, hmotnost a v neposlední řadě jednoduchost aplikace. Velké množství informací týkajících se tvorby jakéhokoliv návrhu lze jednoduše najít v nepřehledném množství příslušných internetových stránek nebo blogů.

4.1 Kiktronik, Adafruit

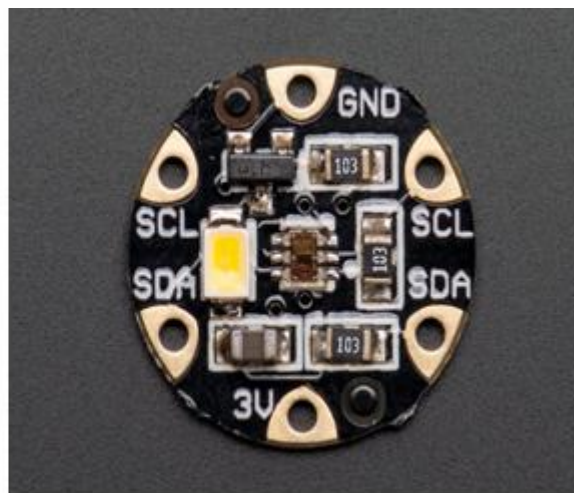
Společnost byla založena v roce 2005. Kitronik se věnuje oblasti designu a technologie. Vytvořily speciální sadu součástek pod názvem Electro-Fashion, pro tvorbu wearable electronic. Mezi něj patří elektronické součástky, elektricky vodivé nitě a snadno měnitelné baterie viz. obr. 17. Sada není tak široká a neumožňuje tolik efektů jako

LilyPad a jsou to převážně jen světelné efekty vytvořené za pomoci LED diod. Nejsou voděodolné, takže praní je zakázáno. Všechny možnosti jsou již předem definované a uživatel má možnost vybírat jen z předložené nabídky. Nabídka se ale neustále rozšiřuje. Cena v tomto případě závisí od druhu jednotek - zhruba za jednu LED diodu zaplatí uživatel kolem cca 3,2\$ a za celou sadu 38\$, což je výrazně vyšší cena než u sady LilyPad [33].



Obr. 17 Součástky Kiktronik [32]

Společnost Adafruit byla založena v roce 2005 inženýrem Limor "Ladyada" Fried. Jejím cílem bylo vytvořit nejlepší produkt pro výuku elektroniky a co nejlepší výrobky konstruované pro tvůrce všech věkových kategorií a úrovní dovedností. Pro tvorbu nositelné elektroniky vyvinuly sadu pod názvem Flora. Způsob programování, design a cena jsou dost podobné jako u sady LilyPad a jsou mezi sebou kompatibilní. Na stránkách Adafruit jsou k dispozici informace a instrukce pro použití, odkazy na blogy a ukázková videa, která ukáží velkou škálu možností využití jednotlivých součástek, které jsou zobrazené na obr. 33. Sada zahrnuje malý programovatelný počítač, světelný senzor, senzor pohybu, světelné diody, různé druhy vodivých nití, kompaktní lithiovou baterku a speciální přípojku k základní desce [34].



Obr. 18 Součástky Flora- Adafruit [34]

4.2 LilyPad

Sada LilyPad byla navržena designérkou a vývojářkou Leah Buechley. Komerční verze sady byla na trh uvedena ve spolupráci s firmou SparkFun Electronics. Do ní patří sada elektronických modulů - včetně malého programovatelného počítače s názvem Arduino LilyPad a různé druhy dalších komponent jako jsou senzory, světelné diody a motory. Sada může být přišita spolu s vodivými drážkami a umožňuje vytvářet dynamické, interaktivní oděvy a doplňky. LilyPad přijímá informace o životním prostředí s použitím různých vstupů, včetně světelných a teplotních čidel a může vytvářet zpětnou reakci pomocí LED osvětlení, vibrace a reproduktoru.

LilyPad moduly lze zakoupit od různých prodejců elektroniky a elektronických součástek nebo přímo od firmy SparkFun (USA), dále z obchodů Arduino (Evropa), Seeed Studios (Čína) a nebo SwitchScience (Japonsko).

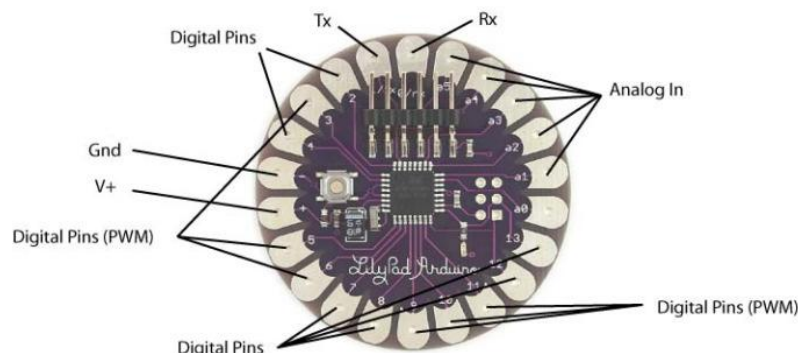
Na oficiálních stránkách LilyPad - Arduino se lze seznámit podrobně se součástkami, které budou popsány níže. Zároveň jsou k dispozici potřebné informace o celé sadě. Také zde jsou odkazy na blogy a stránky, kde uživatelé mají možnost sdílet svoje zkušenosti s prací se sadou LilyPad. Ceny jsou individuální v závislosti na produktu.

Ovládání LilyPad se provádí za pomoci softwaru Arduino. Základní části, které je nutné zakoupit a budou potřeba pro používání sady LilyPad jsou: základní deska Arduino, mini USB kabel a FTDI deska, která umožňuje propojit Arduino desku přes USB s počítačem.

Software lze stáhnout přímo ze stránky Arduino, který také zároveň nabízí podrobný návod k instalaci produktu a jeho následnému použití, další informace v angličtině můžete nalézt zde [34].

4.2.1 Hardware sady LilyPad

Součástky LilyPad byli vytvořené na platformě Arduino. Jsou relativně levné ve srovnání s jinými mikrokontroléry. Mezi další výhody Arduino patří jednoduché, jasné, programovací prostředí, které je snadno použitelné pro začátečníky, ale i dostatečně flexibilní pro pokročilé uživatele. Arduino se ovládá přes software s otevřeným zdrojovým kódem (open-source software, zkratka OSS) a to znamená, že kód je volně a bezplatně přístupný uživatelům. <http://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
Arduinos – USB deska, malý počítač. Díky svým rozměrům (průměr 50 mm, tloušťka základní desky 0,8 mm, tloušťka míst s elektronickými komponenty 3 mm) a formě je speciálně určen pro integraci do oděvu. Přisívá se do tkaniny a pomocí vodivých drážek se spojuje s ostatními elektronickými komponenty. Každá deska má stříbrné „lístky“ - „pins“ na jedné a druhé straně. Každý z těchto pinů může ovládat připojený vstupní nebo výstupní signál. Arduinos, který byl použit v experimentální, diplomové práci má mikro kontrolér ATmega328V. Na obr. 19 je zobrazena zmíněná deska z popisem jednotlivých zakončení. *Analog In* – slouží pro napojení analogových výstupu – senzoru. Zdroj energie se připojuje k Gnd (záporný pól) a V+ (kladný pól). Ostatní pins mohou sloužit pro napojení digitálních výstupů, obzvláště *Digital Pins (PWM)* mohou být použity pro digitální výstupy. *Tx* a *Rx* slouží pro připojení dalších elektronických modulů[34].



Obr. 19 LilyPad Arduino Main Board [35]

4.2.2 Software LilyPad

Programování hlavní desky probíhá pomocí programovacího prostředí Arduino. Software lze stáhnout z oficiální stránky výrobce. V prostředí Arduino se používá programovací jazyk s názvem C, pomocí něj lze vytvářet tzv. sketches, kódy. Základní obrazovka Arduino obsahuje textový editor pro tvorbu kódu, oblast zobrazující systémové zprávy, oblast oznamující průběh ukládání a nahrávání, lištu s tlačítky pro základní funkce (uploadování programu, otevírání a ukládání kódu) a rozbalovací menu. Kódy se ukládají s příponou .ino.

C programování je populární počítačový programovací jazyk, který je široce používán pro aplikační software. Programovací jazyk C se používá pro vývoj systémových aplikací, které tvoří hlavní část operačních systémů jako jsou Windows, UNIX a Linux. C patří mezi strukturované, procedurální programovací jazyky. Je flexibilní a výkonný, a může být použit pro celou řadu různých aplikací[34],[35].

4.2.3 Senzory LilyPad

Mezi senzory představené v nabídce jsou tepelný a světelný senzor a akcelerometr.

Tepelný senzor LilyPad je vytvořen na bázi MCP 9700 od Microchip®, je zobrazen na obr. 19. Je to malý, o průměru 20mm a tloušťky 0,8mm, levný, lineární aktivní termistor, který převádí teplotu na analogové napětí. Senzor pro svůj provoz vyžaduje elektrický proud o velikosti 6 [mAh].



Obr. 20 Teplotní senzor LilyPad [36]

Na obr. 21 je zobrazená závislost vystupujícího z senzoru napětí (osa y), od naměřené teploty (osa x) [37].

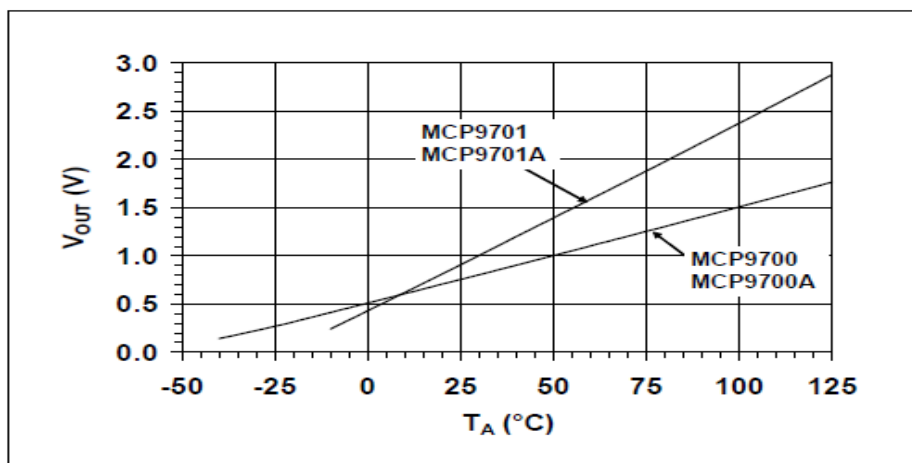


FIGURE 2-16: Output Voltage vs. Ambient Temperature.

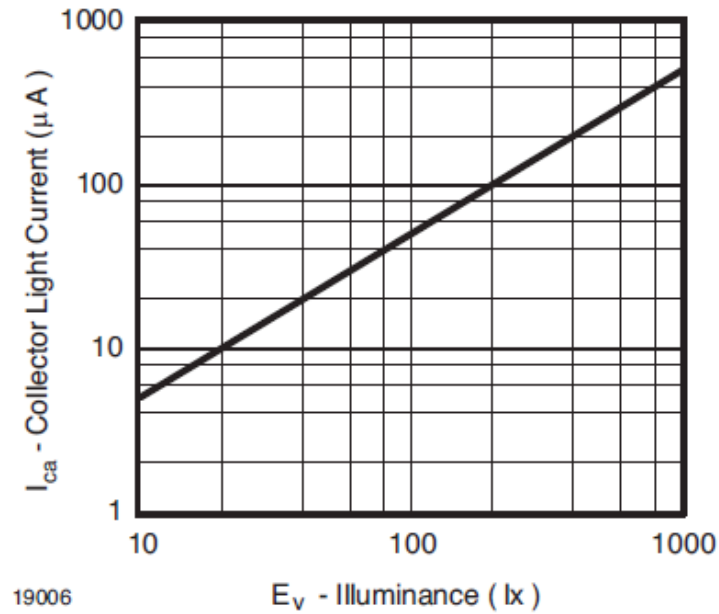
Obr. 21 Závislost vystupujícího napětí od naměřené teploty u senzoru LilyPad [37]

Světelný senzor, který je zobrazen na obr. 22, představený v nabídce je na bázi TEMT6000 od společnosti Vishay. Je to křemíkový NPN rovinný fototranzistor. Zařízení je citlivé na světelné záření viditelného spektra. Senzor pro svůj provoz vyžaduje elektrický proud o velikosti 20 mA. Má rozměry identické jako senzor tepelný.



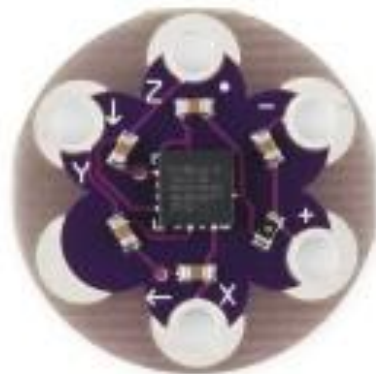
Obr. 22 Světelný senzor LilyPad [35]

V závislosti od intenzity světla, které senzor detekuje, vysílá poté z něj určité napětí. Na obr. 23 je zobrazena závislost vysílajícího senzoru napětí od intenzity světla. Kde na ose x je intenzita osvětlení – Lux [lux] a na ose y hodnota z vysílajícího senzoru na základní desku proudu $-I$ (μA) [38].



Obr. 23 závislosti vysílajícího z senzoru proudu od intenzity světla u senzoru LilyPad [38]

Accelometer představený v nabídce je tříosý kapacitní akcelerometr ADXL335 s rozsahem ± 3 g. Jeho spotřeba je cca $350 \mu A$. Má rozměry $4 \times 4 \times 1,45$ mm a je součástí základní desky s vývody pro jednotlivé osy. Pro správné fungování hodnota napětí by měla být mezi 1,8 a 3,6 V. Akcelerometr dokáže detekovat statickou akceleraci při náklonu i dynamickou akceleraci při pohybu, třesu nebo vibraci. Tyto změny měří ve třech osách x , y a z . Výstupy každé z os akcelerometr produkuje 0 až 3 V v závislosti na pohybu. Accelometer je zobrazen na obr. 24.



Obr. 24 Akcelometry z nabídky LilyPad [36]

4.2.4 Tlačítka a spínače

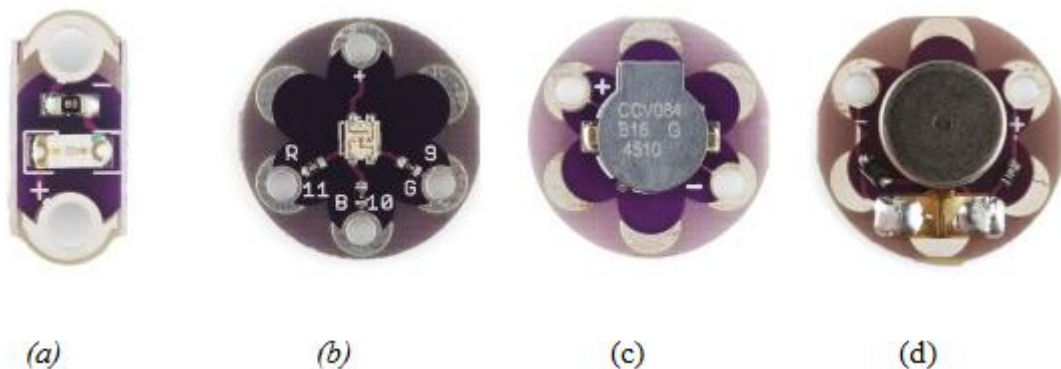
Tlačítka a spínače, které mohou sloužit jako další vstupní signál pro LilyPad soustavy, jsou zobrazené na obr. 25. Tlačítkový spínač má rozměry 8×16 mm, při stisku uzavírá a při uvolnění otevírá elektrický obvod. Posuvný spínač s rozměry $7,75 \times 18,1$ mm přepíná mezi režimy on / off.



Obr. 25 Spínač (a) a tlačítko (b) z nabídky LilyPad [36]

4.2.5 Výstupy – aktuary

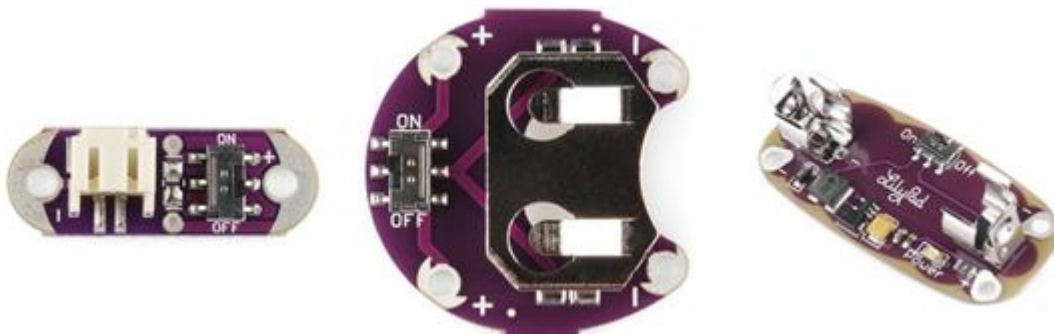
Mezi aktuary, které odpovídají za výstupní signál patří Bzučák LilyPad o standardním průměru 20 mm vydává různé zvuky na základě rozdílné frekvence. Vibrační motor se třese při indikaci elektrického napětí. Tříbarevná LED mění barvu mezi červenou, zelenou a modrou na základě naprogramovaných vstupů a může sloužit jako indikátor. Má jeden kladný výstup a tři záporné, korespondující s jednotlivými barvami. A klasické led diody. Všechny uvedené součástky jsou představené na obr. 26.



Obr. 26 LilyPad LED; b - LilyPad TriColor LED / LilyPad RGB LED; c - LilyPad Buzzer / LilyPad Speaker; d - LilyPad Vibe Board [36]

4.2.6 Zdroje energie

Pro napojení energetických zdrojů na LilyPad Arudino jsou v sadě představené různé součástky. Jednoduchá přípojka na baterii skládá z malé základní desky s kladným a záporným pólem a JST konektoru. Umožňuje tak do obvodu jednoduše připojit lithiovou baterii. Další druh přípojky na základní desce obsahuje rovnou i posuvný spínač. Je možné k němu připojit rezistor. Držák AAA baterie o rozměrech 56 × 26 mm po zapojení baterie od 1,2 do 5 V produkuje 5 V, funguje do 100 mA. Součástky jsou představeny na obrázku 27.



Obr. 27 Přípojky na baterie od LilyPad [36]

5. Ochranné oděvy, oděvy chránící před vysokými teplotami , signalizační oděvy

Ochranné textilie jsou součástí technických textilií, které jsou definovány tak, že zahrnují všechny tyto textilní výrobky na bázi, které se používají hlavně pro jejich výkon nebo funkční vlastnosti spíše než jejich estetické nebo ozdobné charakteristiky. Ochranné oblečení odkazuje na oblečení a jiné textilie-související položky určený k ochraně nositele před drsnými vlivy na životní prostředí, které mohou mít za následek zranění nebo smrti.

Osobní ochranné textilie mohou být klasifikovány jako průmyslové, zemědělské, vojenské, civilní, zdravotnické, sportovní a prostorové ochranné textilie, v závislosti na konečném použití. Mohou být dále dělené podle konečného použití funkcí jako požární

ochrany, tepelná ochrana, chemická ochrana, mechanická ochrana proti nárazu, radiační ochrana, biologická ochrana, elektrická ochrana.

Podle profesního členění a charakteristiky pracovního prostředí lze ochranné oděvy rozdělit na: oděvy chránící před mechanickým účinkem, oděvy chránící před celkovým zašpiněním, oděvy chránící před chladem, vodou a klimatickými podmínkami, oděvy chránící před vysokými teplotami, úlety tekutého kovu, ohněm, oděvy chránící před chemikáliemi, oděvy používané při práci pod VVN, oděvy chránící před netoxickým prachem a toxickými látkami, oděvy chránící před různými druhy záření, oděvy chránící při riziku zachycení pohyblivými částmi, oděvy pro uživatele ručních řetězových pil □ □ oděvy do nebezpečných prostředí, oděvy výstražné s vysokou viditelností, oděvy pro speciální sportovní odvětví, oděvy do čistých a superčistých prostředí.

Ochranné oděvy s vysokou viditelností by měli umožňovat dobrou viditelnost uživatele v nebezpečných situacích a to za jakýchkoliv světelných podmínek ve dne, tak i při osvětlení předními světly dopravního prostředku za tmy.

Textilní materiály pro výrobu oděvu chránící před vysokými teplotami, musí být žáruvzdorné, permanentně nehořlavé, odolné vůči pronikání roztaveného kovu, odolné proti sálavému teplu, proti kontaktnímu teplu, proti prostupu tepla při dotyku, proti žáru a postříku taveninou. Musí být pevné, odolné v oděru, se speciální povrchovou úpravou materiálu. Pro výrobu takových oděvu se používají vlákna se sníženou hořlavostí jako - Kevlar®, Nomex®, Tyvek®, Tychem®.

Jednou z hlavních funkcí oděvu chránící před vysokými teplotami je ochrana uživatele před extrémními teplotami okolního prostředí. Základní parametry vývoje materiálů pro ochranné oděvy proti teplu nebo chladu jsou variací druhu vláken a vazebních struktur. Inkorporace ohnivzdorných vláken nebo úprav je základním požadavkem na oděvy chránící proti vysokým teplotám. Kromě toho hlavní přístup v poskytování tepelné ochrany je využití energeticky odražejících povrchů jako součást oděvu [39].

6. Tepelný komfort

Lidské bytosti jsou teplokrevní savci a normální teplota těla by měla odpovídat 37°C (98,6°F) s tolerancí $\pm 0,5^\circ\text{C}$ v různých klimatických podmínkách. Jakákoliv odchylka tělesné teploty od 37°C způsobuje procesy jež mají za cíl kompenzovat ztrátu teploty a snahu vrátit tělesnou teplotu zpět na 37°C.

Tělesna teplota obecně není zcela stálá - je různá na různých místech těla a i v těchto místech kolísá v závislosti na fyziologickém stavu těla a okolních podmínkách. Nejvyšší teplotu 34 - 36 °C naměříme na nejlépe prokrvených částech těla. Člověk se cítí dobře pokud průměrná teplota tělního obalu, tj. pokožky leží mezi 32 - 34°C. Nejvyšší teplota pokožky, 35 - 36°C je na dobře prokrvených částech těla (hlava, břicho, prsa). Na okrajových částech těla (ruce, nohy) naměříme teplotu pokožky asi 29 – 31°C. Nejchladnějšími místy s teplotou 23 - 28°C jsou špička nosu, ušní lalůčky a špičky prstů.

Termofyziologický komfort nastává za těchto optimálních podmínek:

- teplota pokožky 33 - 35°C
- relativní vlhkost vzduchu 50 • } 10%
- rychlost proudění vzduchu 25 • } 10 cm.s' 1
- obsah CO₂ 0,07%
- nepřítomnost vody na pokožce [39],[40].

Experimentální část

7. Smart kapsa

Cílem experimentální části diplomové práce bylo navrhnout a vytvořit konkrétní aplikace pro zlepšení funkčnosti oděvu, zejména ochranného. Jelikož se v roce 2012 Ing. Milena Vetěšková ve své diplomové práci také zabývala nositelnou elektronikou LilyPad a již použila pro navrženou aplikaci senzor pohybu – akcelerometr, zaměřila jsem se proto na jiné senzory z nabídky. Jako výstupní signál jsem použila světelné diody a vibrační motor.

Navržená aplikace měla by sloužit jako ochranný oděv. Navrhla jsem smart kapsu, která by byla jednoduše odstranitelná a zahrnovala teplotní a světelné senzory. Kapsa by mohla být použita jak pro oděvy signalizační, tak i pro oděvy chránící před vysokými teplotami.

Pro signalizační účely by se kapsa měla umístit na vrchní vrstvu oděvu, kvůli světelnému senzoru tak, aby mohl snímat intenzitu světla. Při snížení intenzity by měly zasvítit led diody, které budou našité přímo na oděvním výrobek.

Na oděvech chránící před vysokými teplotami by se kapsa měla nacházet na první vrstvě co nejbliže k pokožce. Kapsa, která umísťuje teplotní senzor měla by monitorovat teplotu těla a v případě překročení povolené meze signalizovat pomocí vibrace, která bude zajištěna pomocí vibračního motoru.

Vodivé dráhy byly realizované pomocí vodivých nití od *LECTRIC NATURAL*, které jsou přímo doporučené prodejci elektronických součástek LilyPad. Jednotlivá vlákna nitě, která jsou popsána v kapitole níže, jsou pokrytá tenkou vrstvou stříbra, což také zajišťuje jejich vodivost.

Kapsa musí být snadno odpojitelná a to z několika důvodů. Prvním důvodem je budoucí ošetření výrobku. Výrobce součástek LilyPad uvádí, že kromě baterie lze součástky prát, doporučuje se však ruční praní za použití jemného pracího prostředku. V případě možnosti odpojení kapsy snižuje se riziko zničení součástek a obvodu. Teplotní senzor, který pracuje při velmi málem napětí a nitě, které po několika cyklech praní ztrácí svoje

vodivé vlastnosti – nabývá větší hodnoty odporu, a tím může zkreslovat přesnost měřené teploty.

Pro ukázkou funkčnosti návrhu jsem použila pánské triko, na které byly našité led diody. Na spoje mezi elektronickými součástkami kapsy a led diodami byly použity kovové patentky.

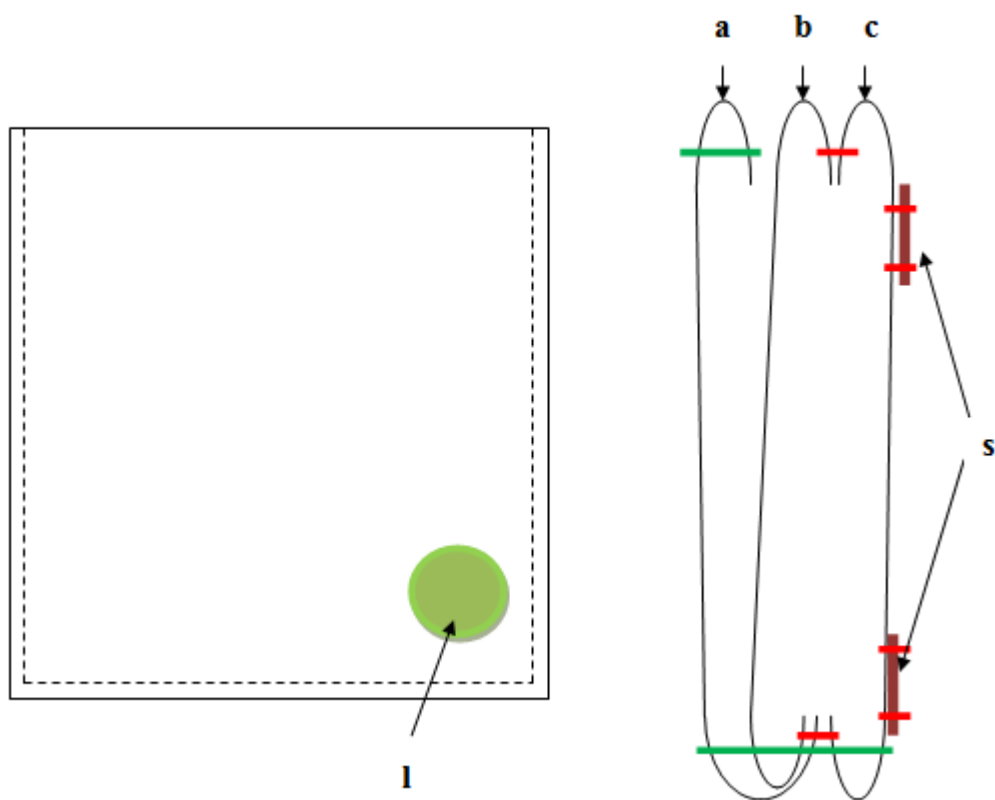
7.1 Použité součástky pro tvorbu návrhu

Pro tvorbu návrhu byly použity tyto součástky ze sady LilyPad:

- Řidičí jednotka – Arduinos s mikro kontrolér ATmega328V
- Vstupní signály
 - Teplotní senzor - LilyPad Temperature Sensor
 - Světelný senzor - LilyPad Light Sensor
- Výstupní signály
 - Led diody – bílé 8ks
 - Vibrační motor - LilyPad Vibe
- Zdroj napájení
 - Přípojka na baterie
 - Lithium polymerová baterie
- Vodivé dráhy – vodivá nit 'LECTRIC NATURAL
- Ostatní součástky
 - FTDI adaptér
 - Mini USB kabel
 - Nabíječka lithium polymerové baterie
 - Multimetr

7.2 Popis konstrukce kapsy

Smart kapsa se skládá ze tří dílů. Na vrchním dílu, aby mohl správně plnit svojí funkci by se měl nacházet světelný senzor. Na dílu, který bude uvnitř kapsy je umístěna základní deska Arduino, lithium polymerová baterie, teplotní senzor a vibrační motor. Poslední vrstva kapsy bude sloužit slouží pro našítí suchého zipu. Na obrázku 28 je zobrazený přední pohled na kapsu, kde (l) je světelný senzor a její řez, kde (a) – je vrchní vrstva, (b) – vnitřní a (c) -poslední spodní vrstva, na které budou našité suchy zipy (s).



Obr. 28 Přední náhled a řez smart kapsy

K oděvu se bude smart kapsa připojovat pomocí suchých zipů. Přimo na oděvu se budou nacházet led diody. Spoj mezi elektronickými součástkami kapsy a led diodami bude zajištěn pomocí kovových patentů.

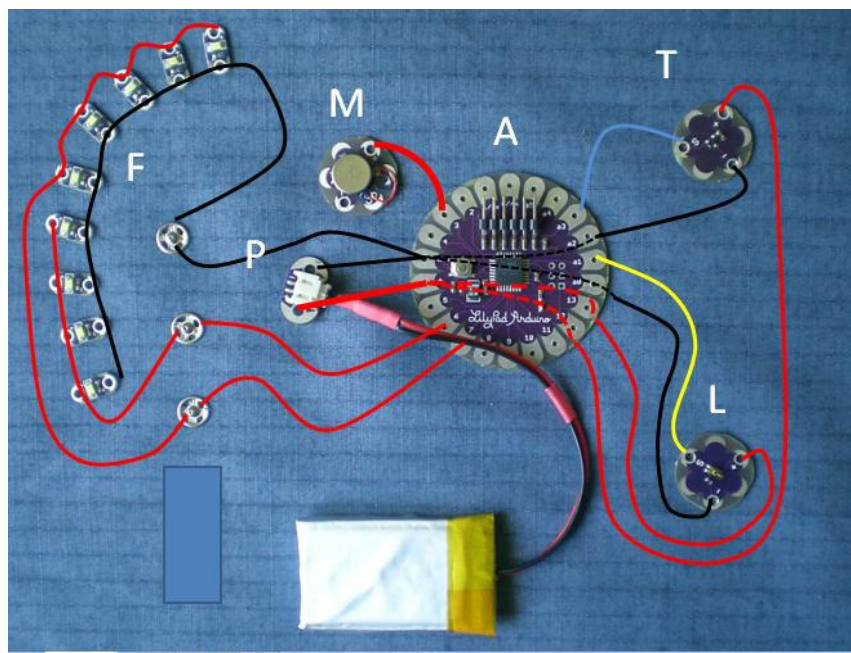
7.3 Schéma zapojení elektronických součástek

Rozmístění jednotlivých součástí v elektrickém obvodu závisí na jejich vlastnostech a funkci. Základní struktura je taková, že k mikrokontroléru Arduino je současně napojeno paralelně 9 bílých led diod, teplotní a světelný senzor, vibrační motor a přípojka na lithium-polymerovou baterii. Každý vstupní/výstupní pin produkuje proud 40 mA.

Na obr. 28 je zobrazeno schéma umístění jednotlivých součástek LilyPad. Červenou barvou jsou značeny dráhy s kladným pólem, černou se záporným, modrou dráhy teplotního senzoru, žlutou dráhy senzoru světelného. Přerušované čary znamenají že vodivá dráha bude provedená pod základní deskou Arduino. Základem je připojit k Arduino (A) teplotní senzor (T), světelný senzor (L), zdroj napájení (P), vibrační motor (M) a led diody(F).

Teplotní a světelné senzory mají tři osy „S“, „+“ a „-“. Pin s označením S musí být napojen na jeden z pinů na základní desce pro analogové vstupy. Ty se na Arduinu nacházejí pod piny A0 – A5. Kladný a záporný pól se propojí se souhlasnými póly na základní desce Arduino. LED (D) se mohou připojit k pinům 0 – 13.

Připojka na baterie se se svým kladným a záporným pólem připojí k totožným pólům na základní desce a lithiová baterie (E) se zacvakne do konektoru zdroje.



Obr. 29 Schéma zapojení součástek LilyPad

LED diody které nebudou přímou součástí kapsy, ale budou našité na oděvní výrobek. Proto pro jejich propojení budou použité kovové patentky. Záporné póly LED se napojí na společné uzemnění.

7.4 Vodivé dráhy

Pro vytvoření vodivých drah jsem zkoumala dvě možnosti. Našít vodivé dráhy pomocí měděného drátku Eletrisolá, který má velmi nízkou hodnotu odporu - 0,67 [Ω m] anebo pomocí vodivé nitě.

Tvorba vodivých drah pomocí měděných drátku byla dost komplikovaná a to z důvodu velké tendencí k lámavosti. Vyzkoušela jsem steh 301 aby drát měl co nemější délku a byl co nejmíň namáhaný. Pak ale místo klasického našívání součástek, jak to je vlastně pro LilyPad určeno, museli se drátky napájet na elektronické prvky. Z důvodu příliš složitého zpracování zvolila jsem jinou cestu, a to spojení pomocí vodivých niti.

Pro vytvoření vodivých drah pomocí vodivých nití byla použita trojmo skaná vodivá nit (označená *S-69 L69001 'LECTRIC NATURAL 22222 NM*), kterou vyrábí firma Saunders Thread Company z USA a komerčně dostupná od dodavatele Lamé Lifesaver a Lightstitches. Rozhodnutí o využití této nitě je spojené s tím, že nit doporučuje přímo prodejce součástek LilyPad a již byly vyzkoušené v diplomové práci Ing. Mileny Vetěškové. Podle informace od výrobce nit je složená ze syntetických filamentu pokrytých vrstvou stříbra, množství vláken v průřezu přibližně 96 a jemnost je 18 denieru. Uvedená hodnota elektrického odporu je cca 0,65 ohmu na jeden centimetr. Nit je vhodná pro šití na šicím stroji. Nevýhodou nitě je poměrně nestálý zákrut, díky čemuž se nit při manipulaci třepí .

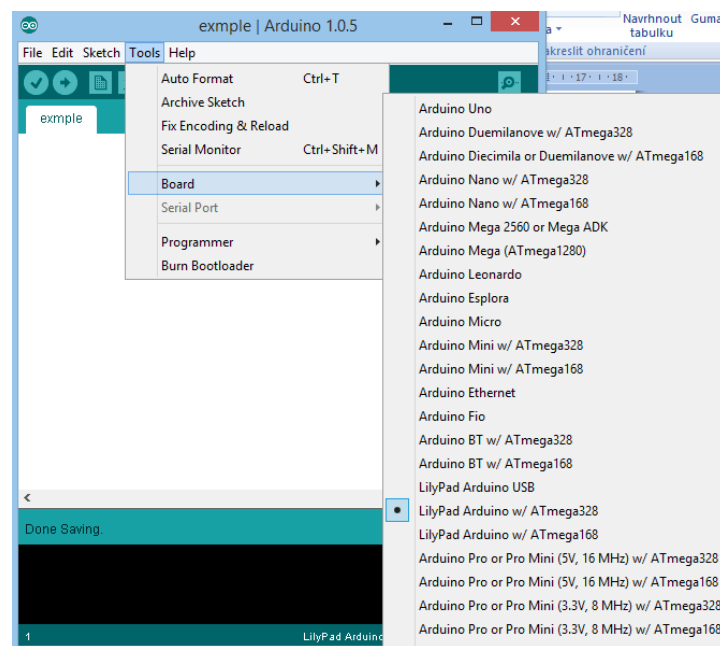
7.5 Příprava softwaru pro navrženou aplikaci

Programovací prostředí Arduino obsahuje tři základní části: struktury, hodnoty a funkce. *Struktury* definují, ke kterému pinu jsou připojena přídavná zařízení, jejich vlastnosti a základní nastavení programu. Skládají se z příkazu pro jednorázové definice programu (*setup*) a příkazu, díky kterým vytvořené procesy probíhají ve smyčce (*loop*). Jako mnoho podobných programu obsahují podmínky, za kterých proces probíhá, tedy volby *if, if/else, while, for* (...) s ekvivalentními funkcemi. Kódy pro hodnoty kromě mnohého dalšího určují, zda se jedná o vstup či výstup (input/output), pravdu či lež (true/false) nebo například zda bude LED svítit či nikoliv (high/low). Poslední skupinou jsou *functions*, umožňující digitální a analogové vstupy a výstupy, provádění matematických operací, časování nebo komunikaci s ostatními zařízeními.

Instalace softwaru probíhá pomocí návodu, který je přístupný na stránkách Arduino a s ohledem na používaný operační systém. Použila jsem instalaci pro Windows.

Po otevření programu se musí prvně zvolit druh základní desky, která se pro aplikaci používá.. V tomto případě LilyPad Arduino w/ ATmega328. Volba se provede v horním menu tlačítkem *Tools* a volbou *Board*, je zobrazeno na obr. 30. Poté se ve stejném menu pod volbou *Serial Port* zvolí sériový port, který se většinou zvolí automaticky. Pro vytvoření nového kódu se v horním menu zvolí *File _ New*. Již vytvořený kod lze otevřít pomocí příkazu *File _ Open*. Také jsou k dispozici poklady kodu, které jsou dost napomocné při prvním seznámení z softwarem. Příklady kódu se dají najít v *File _ Examples*. *Sketch* se ukládá do složky Arduino volbou *File _ Save*. Před nahráním do hardware se kód zkontroluje tlačítkem *Verify* a samotné odeslání se spouští volbou

Upload. Po úspěšném nahrání kódu do Arduina oznámí stavový řádek ukončení nahrávání (*Done uploading*), v opačném případě hlásí chyby.



Obr. 30 Nastavení hlavní desky Arduino

7.5.1 Příprava softwaru pro teplotní senzor

Jak bylo dříve uvedeno, senzor nevysílá na hlavní desku Arduino hodnotu teploty, ale napětí. Zjistit přímo teplotu lze ale za pomoci následujícího vzorce z manuálu k senzoru MCP 9700 :

$$VOUT = TC \cdot TA + V0^{\circ}C \quad [37]$$

Kde : $VOUT$ – napětí vystupující z teplotního senzoru [V]

TC – teplotní koeficient

TA - naměřená teplota [°C]

$V0^{\circ}C$ – napětí vystupující z senzoru při 0° [V]

Při jednoduché transformaci vzorku lze zjistit aktuální naměřenou teplotu :

$$TA = (VOUT - V0^{\circ}C) * TC \quad [37]$$

Hodnota napětí napětí vystupujícího z senzoru při 0°C - V0°C, podle manuálu se rovná 0,4 V. TC je 10mV na 1°C. Pro zjištění VOUT nejlepší a nejjednodušší způsob navrhla Alyson Fielding, ve svém internetovém blogu. (<http://alysonfielding.com/?p=19>). Způsob spočívá v tom, že VOUT vypočítáme ze vzorce:

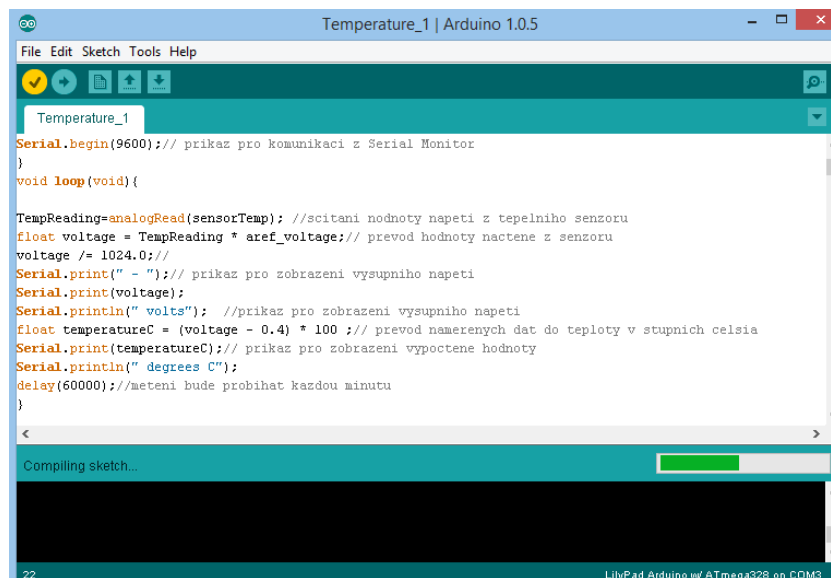
$$VOUT = sensorReading * (VI/1024) \quad [37]$$

Kde *sensorReading* – hodnota napětí vycházející ze senzoru. *VI* je hodnota napětí v systému, která se zjišťuje již pomocí multimetru u zhotoveného obvodu. A *1024* – rozmezí analogových hodnot ze senzoru.

Pro zobrazení naměřené výsledné aktuální teploty v stupních celsia je potřeba použít následující vzorec :

$$temperatureC = (voltage - 0.4) * 100$$

Na obr. 31 je zobrazen výsledný tvar kódu.



```
Temperature_1 | Arduino 1.0.5
File Edit Sketch Tools Help
Temperature_1
Serial.begin(9600); // prikaz pro komunikaci z Serial Monitor
}
void loop(void){
TempReading=analogRead(sensorTemp); //scitani hodnoty napeti z tepelneho senzoru
float voltage = TempReading * aref_voltage; // prevod hodnoty nactene z senzoru
voltage /= 1024.0; //
Serial.print(" - "); // prikaz pro zobrazeni vysupniho napeti
Serial.print(voltage);
Serial.println(" volts"); //prikaz pro zobrazeni vysupniho napeti
float temperatureC = (voltage - 0.4) * 100 ; // prevod namerenych dat do teploty v stupnich celsia
Serial.print(temperatureC); // prikaz pro zobrazeni vypoctene hodnoty
Serial.println(" degrees C");
delay(60000); //meteni bude probihat kazdou minutu
}
Compiling sketch...
22 LilyPad Arduino w/ ATmega328 on COM3
```

Obr. 31 Kód pro zjištění teploty měřené senzorem

7.5.2 Příprava softwaru světelný senzor

Jak již bylo zmíněno dříve teplotní senzor z nabídky LilyPad funguje tak, že podle intenzity světla, které na senzor dopadá vysílá určitou hodnotu napětí na hlavní desku Arduino. Pro zjištění hodnot které senzor načítá byl vytvořen jednoduchý kod, a je zobrazen na obr. 32.

```
File Edit Sketch Tools Help
Light1 §
const int sensorLight = A0; // inicializace senzoru který je napojen na pin A0
int sensorValue; // promenna pro nactani hodnot z senzoru
void setup() // prikaz pro funkci
{
  Serial.begin(9600); //prikaz pro komunikaci z Serial Monitor
}
void loop()
{
  sensorValue = analogRead(sensorLight); //scitani hodnoty napeti z senzoru
  Serial.println(sensorValue); // zobrazení na obrazovce
}
```

Obr. 32 Kód pro zjištění intenzity osvětlení pomocí světelného senzoru

7.6 Ověření přesnosti a spolehlivosti použitých součástí

Pro zjištění, zda-li informace uvedená výrobcem o přesnosti teplotního senzoru zodpovídá realitě a je-li navrhnutí softwaru pro budoucí aplikace správné, vyzkoušela jsem je v laboratoři katedry oděvnictví, kde jsem na textilie našila a propojila pomocí vodivých nití základní desku Arduino, světelný senzor, teplotní senzor, přípojku na baterie, světelné diody a vibrační motor.

Pro dosažení vyžadujících teplot jsem použila teplotní komoru s regulátorem WATLOW F4 Series a ALMEMO®2590, které jsou zobrazené na obrázku 33 a 34.



Obr. 33 teplotní komora s regulátorem WATLOW F4 Series

WATLOW F4 Series na bázi 16 bitového mikroprocesoru a díky LCD displeji, umožňuje rychle a snadno nastavit požadovanou teplotu. Podle informace výrobce teplotní čidlo od Watlow měří z přesnosti $\pm 0,1 \%$. Konstrukce teplotní komory umožňuje propojení počítače a hlavní desky Arduinos a tím sledování aktuální teploty snímané teplotním senzorem LilyPad.

Pro lepší přesnost měření jsem použila čidlo ALMEMO®2590, které je možné umístit přímo vedle teplotního senzoru LilyPad.



Obr. 34 ALMEMO®2590

Almemo je univerzální měřicí přístroj s dvěma vstupy pro čidla. Umožňuje zjišťování teploty, vlhkosti vzduchu a materiálů, rychlost proudění vzduchu a v závislosti na druhu připojeného čidla spoustu dalších fyzických veličin. Přesnost Almemo 2590 je podle informace od výrobce $\pm 0,03\%$ z měřené hodnoty.

Měření jsem provedla při teplotách 25 C° , 30 C° , 35 C° , 40 C° a 45 C° . Sledovala jsem měření po dobu 10 minut pro každou teplotu. V příloze 1 jsou k dispozici grafy porovnání měření.

V tab. 2 jsou zobrazené průměrné hodnoty naměřené Almemo 2590 a teplotním senzorem LilyPad.

Tabulka 2 porovnání výsledku měření teploty Almemo 2590 a teplotního senzoru LilyPad

Teplota [C°]	25	30	35	40	45
Almemo 2590	24,94	29,75	34,94	39,81	44,95
Teplotní senzor LilyPad	24,74	28,96	33,82	38,85	42,97

Jak je vidět rozdíly mezi naměřenými hodnotami teploty obou čidel jsou různé, někdy až o 1,7°C, což ale celkem odpovídá informaci od výrobce.

Pro ověření lze teplotní senzor od LilyPad považovat za přesný – použila jsem F-test. Testem se používá pro porovnání přesnosti dvou metod měření, například při srovnání přesnosti 2 přístrojů. V F-testu testuje nulová hypotéza:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

Kde σ je výběrový rozptyl. Výpočet F-testu vychází z dat dvou výběrových souborů, které jsou předmětem srovnávání - obvykle pokusný a kontrolní soubor. O každém z těchto souborů předpokládáme, že pochází z populace s Gaussovým normálním rozdělením s parametry μ a s^2 .

V tab. 3 jsou uvedené vypočtené výběrové rozptyly pro každou sledovanou teplotu a testovací kritérium F u obou čidel.

Tabulka 3 Vypočtené výběrové rozptyly a testovací kritérium

Teplota [C°]	Almemo 2590	Teplotní senzor LilyPad	F
25	0,000917	0,058023	0,015798
30	0,000707	0,080316	0,008799
35	0,000244	0,113432	0,002155
40	0,002143	4,4298	0,000484
45	0,000076	0,109566	0,0007

Nulovou hypotéza je zamítnuta jestli hodnota testovacího kritéria F je větší než odpovídající kritické hodnoty.

Odpovídající kritická hodnota $F_{krit}=4,026$. Ve všech sledovaných teplotách nulová hypotéza se zamítá - senzory ne měří se stejnou přesností.

Vzorce pro vypočítání jsou uvedené v příloze 2.

7.7 Měření odporu vodivé nitě

Před propojením elektronického obvodu je potřeba ověřit také, zda informace o vodivých nitích, které uvádí výrobce odpovídá skutečnosti.

Opor na niti *LECTRIC NATURAL 22222 NM* jsem zjišťovala pomocí multimetru Omega TrueRMS Supermetr. Parametry a popis měřicího přístroje jsou uvedené v příloze.

Odpor byl měřen u deseti vzorku nitě s délkou 10 cm. Bylo ale potřeba připravit vzorky o 1cm delší z obou konců, aby nitě nevyklouzávaly z krokosvorek.

Naměřené hodnoty jsou představené v tab. 3.

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Naměřená hodnota odporu [Ω]	6,59	6,18	6,23	6,03	5,98	6,01	6,22	6,50	6,10	6,14

Průměr odporu se rovná 6,19 Ω na 10 cm, a 0,619 Ω na jeden metr. Vyběrová směrodatná odchylka s , se rovná 0,1836, což odpovídá informaci uvedené od výrobce

8 Výroba navržené aplikace

I když teplotní senzor neprokázal dostatečnou přesnost pro aplikace do ochranných oděvu. Rozhodla jsem stejně připravit navrženou aplikaci s použitím jak tepelného tak i světelného senzoru.

8.1 Tvorba kódu pro navrženou aplikaci

V závislosti od toho jestli se kapsa bude používat pro jeden nebo více účelů – vibrace při zvýšení teploty, rozsvícení led diod ve tmě nebo oboje najednou, byly vytvořeny tři různé kódy.

Pro jejich tvorbu byly použity kódy již změněné dříve a s přidáním příkazu o aktivaci vibračního motoru a rozsvícení led diod. Všechny kódy jsou k dispozici v příloze č. 3 –

kód pro teplotní senzor s názvem *Temp*, příloha č. 4 - kód pro světelný senzor s názvem *Light*, 5- kód pro tepelný a světelné senzory pojmenovaný *TL*.

Kód s názvem *Temp* při zvýšení teploty pustí do činnosti vibrační motor. V kódu je uvedeno že aktivační teplota pro vibrace se bude rovnat 30°C. Musí ale brát do úvahy nepřesnost senzoru. Snímání teploty bude probíhat každou minutu.

Light – jestli na světelný senzor ne bude dopadat žádné světlo v okamžiku se zasvítí led diody na pánském triku.

TL – Každou minutu teplotní a světelné senzory budou monitorovat stav okolního prostředí a budou reagovat obdobně jako u předchozích kódu.

8.2 Příprava pánského trika a spodní části smart kapsy

Nejprve jsem rozhodla, že se kapsa bude nacházet na předním dílu pánského trika. Po zjištění přesného místa, kam bude umístěna, byla ze spodní strany nažehlena polepovací látka z netkané textilie pro zajištění tvarové a rozměrové stability trika. Taková vyztužení není vhodná pro běžné nošení - zvolila jsem tento způsob jen z toho důvodu, že pánské triko je použité spíše na ukázkou možností smart kapsy.

Dalším krokem bylo našít suchý zip na přední díl pánského trika a spodní části kapsy pro lepší spoj. Suché zipy by měly rozměrově být kratší o 2 cm od celkové šíře kapsy. Polohově by měly být identické. Použila jsem dvounitý vázaný steh a polyesterové nitě.

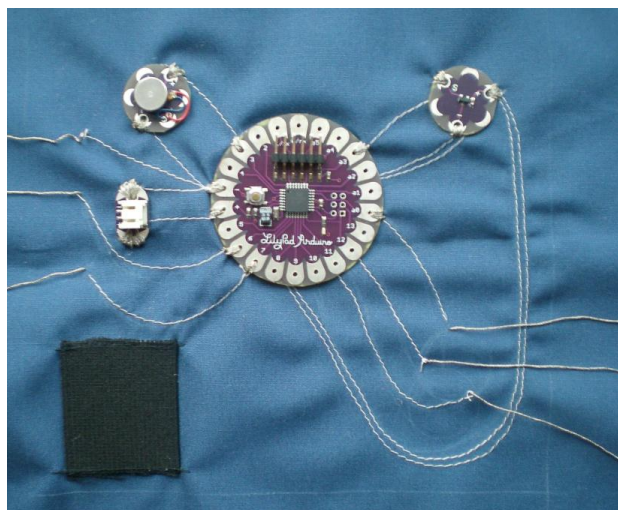
8.3 Tvorba vodivých drah a napojení součástek

Prvním krokem výroby navržené aplikace bylo připravit vodivé dráhy. U smart kapsy se nacházely na vnitřní vrstvě, u pánského trika na předním dílu.

Pro tvorbu vodivých drah jsem použila vodivé nitě od *LECTRIC NATURAL 22222* a bavlněné nitě. V tomto jsem brala ohled na elektrický odpor nitě, jenž roste s délkou dráhy. Jako steh s nejmenší dráhou a zároveň spotřebou vodivé nitě jsem vybrala dvounitý vázaný steh 301. Vodivé dráhy z elektricky vodivých nití není třeba izolovat od okolí vzhledem k použití nízké hodnoty elektrického proudu a napětí. Při kontaktu obnažených vodivých drah s pokožkou však může docházet ke zkratům, neboť tělesnou vlhkostí se mohou blízko umístěné vodivé dráhy propojit. Z tohoto důvodu jsou vodivé

nitě vedeny v dostatečných vzdálenostech pouze na lícové straně pánského trika, na rubové straně je použita konvenční bavlněná nit. Jsou šity z rubu, kvůli eliminaci namáhání (vrchní nit je vystavena rázům a oderu v oušku jehly) je vodivá nit umístěna do spodní cívky šicího stroje. Proto aby potom mohli být napojené elektrické komponenty na konci švu ponechávají delší konce cca 15 cm. Našití součástek probíhá ručně, přes to že konfekční stroj může součástky poškodit.

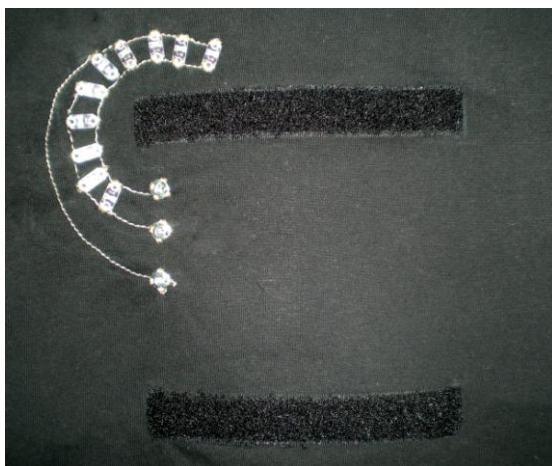
Na obr 35 jsou zobrazené vytvořené vodivé dráhy na vnitřní vrstvě smart kapsy s již zapojenými součástkami. Nezapojené součástky – světelný senzor a kovové patentky budou našité později již u zhotovené kapsy. A to z toho důvodu, že senzor by se měl nacházet na vrchní vrstvě kapsy, aby mohl plnit svoji funkci a kovové druky, aby mohly být spojené z kovové druky pánského trika.



Obr. 35 Vodivé dráhy na vnitřní části kapsy

Pro omezení páraní nitě se musí spoje zpevnit pomocí textilního lepidla.

U pánského trika, které se již nebude jinak zpracovávat, jsem našila kovové patentky a led diody, je zobrazeno na obr. 36. Jejich rozmístění by mělo přesně odpovídat rozmístění patentek na smart kapse.



Obr. 36 Našité vodivé drahy na pánské triko

8.4 Vydrž baterie

V závislostech na načteném kódu a typu zapojených součástek pracovní doba baterie bude různá. Spotřeba led diody rovná 20mAh. Použitá baterie má hodnotu 900mAh. Spotřeba světelného senzoru je rovná 20mAh, teplotního 6mAh.

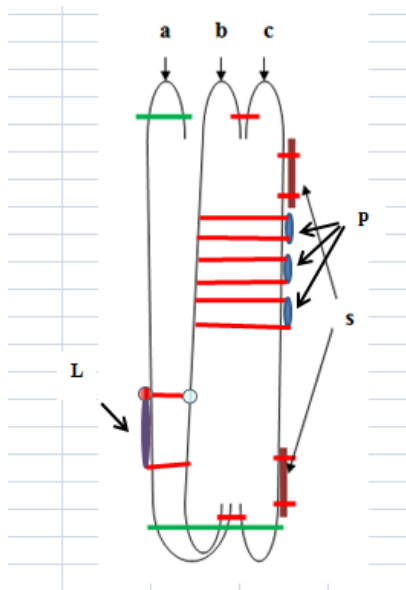
Pro dobíjení je použita nabíječka MCP73831/2 od firmy Sparkfun s JST konektorem pro připojení baterie na jedné straně a s mini USB konektorem na druhé straně.

8.5 Dokončování výroby smart kapsy

Po našítí vodivých drah na vnitřní vrstvu kapsy a suchých zipu na spodní vrstvu kapsy jsem je sešila u vrchních krajů.

U vrchního dílu kapsy se musel otvorový okraj nejdříve začistit, aby nedošlo k páření látky. Po zhotovení všech součástek kapsa prošila na bočních stranách aby pak mohly jednodušeji našívat zbylé elektronické součástky. Před prošitím se musí vrchní vrstva kapsy vložit mezi vnitřní a spodní vrstvy.

Světelný senzor byl našitý na vrchní vrstvu kapsy a kovové patentky na spodní. Na obr. 36 je zobrazen řez kapsou z již našité součástky, kde *L* našitý světelný senzor, *p* – kovové patentky.



Obr. 37 Řez zhotovené kapsy

8.6 Realizovaná aplikace

Po dokončení integrace elektronických komponent do smart kapsy a panského trika a načtení připraveného je lze již spojit.

Kapsa se připojuje k oděvnímu výrobku pomocí suchých zipů, které zajišťují pevný spoj a třech vodivých kovových patentů, které zajišťují propojení elektronických komponentu. Na obr. 38 při nedopadání světla na i světelný senzor LilyPad.



Obr. 38 Připravena aplikace LilyPad – ukazka světelného senzoru

Závěr

Nositelná elektronika je jedním z odvětví smart textilií nebo inteligentních textilií. Při neustálém vývoji elektronických součástek a jejich snaze o miniaturizaci se naskytla možnost jejich integrace do oděvních výrobků. Oblečení a doplňky se štítkem wearable electronic jsou dnes již běžně dostupné na trhu pro širokou veřejnost.

Vyvíjení komerčních a zároveň finančně velmi dostupných sad elektronických součástek pro jejich použití v oděvech podnítil obrovský zájem ze strany umělců a designérů. Elektronické součástky od LilyPad, kterými jsem zabývala ve své diplomové práci, umožňují vytvářet velké množství aplikací bez hlubokých technických znalostí, vybavených laboratoří nebo speciálních strojů. Po stránce samotného designu jednotlivých součástek a jejich rozměrů si myslím, že komponenty jsou docela dobře řešené. Co se týče vzhledu součástek, tak ty mají příjemnou fialovou barvu kulaté tvary, které napomáhají omezit možnost zranění během nošení.

Cílem mojí diplomové práce bylo ověřit, zda-li je možné používat uvedené součástky ze sady LilyPad pro zlepšení funkčnosti oděvu, zejména pak jeho ochranných funkcí. Je samozřejmé, že pro zamýšlený účel aplikace se zvyšují nároky na samotné elektronické komponenty, proto jsem se v experimentální části mojí práce zaměřila na ověření přesnosti teplotního čidla a jeho spolehlivosti.

Součástky LilyPad konstrukčně jsou řešené tak, aby se pro aplikaci do textilního výrobku přišivaly ručně – aplikace je však poměrně jednoduchá a dala by se připodobnit k přišívání knoflíku. Použití techniky jako jsou například našivací stroje by v tomto případě nebylo možné, protože by mohlo dojít k poškození součástek. Z tohoto důvodu nepovažuji za příliš reálnou možnost použití této sady v rámci průmyslové výroby.

Pro tvorbu vodivých drah jsem vyzkoušela dvě možnosti aplikace – měděný drátek od firmy Elektrisola a postříbřenou, elektricky vodivou nit *LECTRIC NATURAL*. Kovový drátek je perfektní volbou pro propojení elektronických součástek, na druhou stranu má ale i spoustu nevýhod. Je zde velká tendence k jeho zlomení nebo přetrhnutí drátku během šití. Při běžném nošení a i minimálním namáhání by se spoj mohl narušit. Další nevýhodou je omezení v počtu možných napojených prvků. Z větším počtem vodivých

drah by výrazně zhoršily celkový estetický vzhled výrobku a v neposlední řadě snižoval komfort při nošení.

Vodivá nit, která má 10krát větší odpor než zmiňovaný kovový drátek je určitě vhodnější pro aplikace na oděvní výrobky. Výrobek zůstává i po aplikaci dále flexibilní a uživatele nikterak nelimituje – nemusí se s ním bát pohybu. Na druhou stranu zmiňovaný velký odpor zase nedovoluje spojovat elektronické prvky ze sady na větší vzdálenosti. Na mysl mi přišla možnost kombinace obou druhu vodivých drah, ale posléze jsem usoudila, že toto není vhodné řešení kvůli konstrukci elektronických součástí – kovové drátky, které se propojují součástky se musí přidělovat za pomoci pájení a tím ucpávají piny, na které by se měly našívat vodivé nitě. Nakonec jsem si vybrala variantu spojování prvků za pomoci vodivých nití.

Pro navrženou aplikaci jsem potřebovala použít teplotní a světelný senzory – navrhla jsem proto smart kapsu, která má být lehce odstranitelná z důvodu ošetření výrobku – součástky se nedoporučují prát v pračce. Konstrukčně kapsa byla řešena tak aby se omezila možnost narušení vodivého spoje během nošení a aby vodivé nitě nebyly ve styku s pokožkou. Také bylo potřeba dbát, aby baterie mohla být jednoduše odstranitelná, při potřebě nabíjení. Vrchní otvor kapsy také neomezuje připojení FDTI konektoru, pro následné propojení základní desky z počítačem. V zásadě by smart kapsa měla plnit dvě funkce – za prvé signalizovat pomocí vibrací nebezpečnou teplotu pro nositele a za druhé sloužit zároveň jako signalizační oděv. Pro funkci tepelného senzoru kapsa obsahuje teplotní sensor a vibrační motor. Pro plnění signalizačních vlastností jsou do kapsy integrovány světelný sensor a kovové patentky, pomocí kterých elektronický odvod se připojuje k led diodám. Led diody jsou přímo našité na oděvní výrobek a při propojení s kapsou a při tmě zasvítí.

Teplotní sensor neboli Termistor, převádí teplotu analogovému napětí. Změna teploty o 1°C ovlivňuje výchozí napětí o 10mV. Z tohoto důvodu je proto třeba dbát o co nejkvalitnější spojení s co nejmenším odporem. Pro ověření přesnosti teplotního senzoru (odpovídají-li informace od výrobce skutečnosti) jsem použila zahřívací komoru Watlow a tepelné čidlo Almemo. Výsledky z čidla Almemo jsem považovala za přesné – porovnávala jsem měření při pěti různých teplotách. Naměřená data jsem vyhodnotila pomocí F-testu rozptylu. Z uvedených výsledků mi vyplynulo, že teplotní sensor považuji za nepřesný a nevhodný pro funkční aplikaci.

Světelný senzor jsem nezkoušela v laboratorních podmínkách a proto nemohu s jistotou vyhodnotit přesnost měření zmiňovaného čidla. Jinak při veškerých pokusech během aplikace plnil svoji funkci spolehlivě.

Elektronické součástky i celkově celou sadu LilyPad považuji produkt, který však je svým zaměřením spíše laickou veřejností, amatérskými nadšenci než pro profesionální použití v průmyslové výrobě nebo technických aplikacích jako pro ochranné oděvy.

Literatura

- [1] M.V. Gandhi, Brian S. Smart materials and structures. Published by Chapman and Hall, 1992. ISBN 0412-37010-7, 313s.
- [2] Myer Kutz . Mechanical Engineers Handbook: Materials and Mechanical Design. Volume 1, Third Edition, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey 2006. ISBN-13 978-0-471-44990-4, 1360s.
- [3] Xiaoming Tao. Smart fibres, fabrics and clothing, Cambridge Woodhead Publishing 2001. ISBN 1 85573 546 6, 329s.
- [4] Vijay K. Varadan, K. J. Vinoy, S. Gopalakrishnan. Smart Material Systems and MEMS: Design and Development Methodologies. Published by John Wiley & Sons Ltd, The Atrium 2006. ISBN-13 978-0-470-09361-0, 418s.
- [5] Lieva Van Langenhove. Smart Textiles for Medicine and Healthcare: Materials, Systems and Applications, Woodhead Publishing 2007. ISBN-13: 978-1-84569-293-3, 312s.
- [6] Nitin Ajmera. Smart Textile [online]. [cit. 12.2.15]. Dostupné z <<http://www.technicaltextile.net/articles/sport-textiles/detail.aspx?articleid=335&pageno=4>>
- [7] Jakob Fraden. Handbook of modern sensors, Physics, design, and applications. Fourth edition. Springer New York Heidelberg Dordrecht London 2004. ISBN 978-1-4419-64-66-3, 608s.
- [8] German Krichevskij. Volokna proslavnyh, nastojashchego i budushchego. [online]. [cit. 26.01.15]. Dostupné z <<http://www.nanonewsnet.ru/articles/2012/umnyi-intellektualnyi-tekstil-odezhda-uchimsya-u-prirody>>
- [9] N Pan, G. Sun. Functional Textiles for Improved Performance, Protection and Health. Cambridge Woodhead Publishing 2011. ISBN 978-1-84569-5, 554s.
- [10] William C. Smith, Smart textile rating and laminates. Cambridge Woodhead Publishing 2010. ISBN : 978-1-84569-778-5, 316s.

- [11] Matthew Hayden. 5 Clothing Innovations That Will be Annoying You Soon [online]. [cit. 10.2.15]. Dostupne z <http://www.cracked.com/article/224_5-clothing-innovations-that-will-be-annoying-you-soon/>
- [12] M. A. Chowdhury. Photochromism, Thermochromism, Journal of Engineered Fibers and Fabrics Volume 9, 2014[online]. [cit. 10.2.15]. Dostupne z <<http://www.jeffjournal.org/papers/Volume9/V9I1.13.B.Butola.pdf>>
- [13] TAO, Xiaoming. Intelligent textiles and clothing: technology and applications. Editor H. Mattila. Cambridge: Woodhead , 2006. ISBN 08-456-9005 2, 525s.
- [14] Technická univerzita v Liberci - tiskové zprávy [online]. [cit. 15.2.15]. Dostupne z <http://www.cianews.cz/cs/w56646-technicka-univerzita-v-liberci-tiskove-zpravy>
- [15] Martina Petrášková. Chytré textilie upozorní na škodlivé UV záření nebo pře hřátí dítěte [online]. [cit. 20.1.15]. Dostupne z <<http://www.denik.cz/ekonomika/chytre-textilie-upozorni-na-skodlive-uv-zareni-nebo-prehrati-ditete-20140528-1pt.html>>
- [16] PHILIPS/LEVIS - WEARABLE ELECTRONICS 2000 PHILIPS/LEVIS ICD+ [online]. [cit. 20.1.15]. Dostupne z <<http://www.vhmdesignfutures.com/project/192/>>
- [17] Respibelt [online]. [cit. 25.3.15]. Dostupne z <<http://www.respibelt.com/price-and-ordering/>>
- [18] TAO, Xiaoming. Wearable electronics and photonics: technology and applications. Editor H. Mattila. Boca Raton FL: CRC Press, 2005. ISBN 08-493-2595-1, 250s.
- [19] CHO, Gilsoo. Smart clothing: technology and applications. Editor H. Mattila. Boca Raton, FL: CRC press, 2010. ISBN 978-142-0088-526, 275 s.
- [20] K. Haase. Strain sensors based on Bragg gratings [online]. [cit. 15.10.14]. Dostupne z <<http://www.micronoptics.com/uploads/documents/StrainsensorsbasedBragggratings.pdf>>
- [21] Pavel Ripka. Senzory a převodníky. CVUT Praha, 2011. ISBN: 9788001046968, 136s.

- [22] Senzory tepelných veličin. Studijní materiál Fakulta elektromechanická, České vysoké učení technické v Praze [online]. [cit. 12.1.15]. Dostupné z <http://measure.feld.cvut.cz/system/files/files/cs/vyuka/predmety/A3B38SME/09_teploata%20text%20.pdf>
- [23] Rychlost, vlnová délka a frekvence zařízení. Studijní materiál Odbor termomechaniky a techniky prostředí, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně [online]. [cit. 15.3.15]. Dostupné z <<http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/optika/0201.htm>>
- [24] Fotodioda [online]. [cit. 20.2.15]. Dostupné z <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/275-fotodioda> <http://www.spsemoh.cz/vyuka/zelpn.htm>>
- [25] Dogan Ibrahim. Using LEDs, LCDs and GLCDs in microcontroller project. John Wiley & Sons, 2012. ISBN: 9781119940708, 485 s.
- [26] Elektrický odpor vodiče, Ohmův zákon pro část obvodu [online]. [cit. 20.2.15]. Dostupné z <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/241-elektricky-odpor-vodice-ohmuv-zakon-pro-cast-obvodu>>
- [27] Doc. RNDr. Antonín Kopal, CSc., Doc. Mgr. Jiří Čížek Ph.D., Mgr. Lubor Machonský CSc. Fyzika. II Elektřina, magnetismus, Maxwellovy rovnice. Technická univerzita v Liberci 2008. ISBN 978-80-7372-311-8
- [28] AmberStrand Fiber [online]. [cit. 20.3.15]. Dostupné z <<http://www.metalcladfibers.com/amberstrand-fiber/>>
- [29] Swiss Shield yarns [online]. [cit. 20.3.15]. Dostupné z <<http://www.swiss-shield.ch/Products.45.0.html?&L=1>>
- [30] Bunda z naší univerzity může zachránit i život [online]. [cit. 2.4.15]. Dostupné z <<http://tuni.tul.cz/rubriky/univerzita/id:67862/bunda-z-nasi-univerzity-muze-zachranit-i-zivot>>
- [31] Beartek [online]. [cit. 2.4.15]. Dostupné z <beartekgloves.com>
- [32] Kiktronik, Elektrofashion [online]. [cit. 20.10.14]. Dostupné z <<https://www.kitronik.co.uk/2725-electro-fashion-cat-kit.html>>

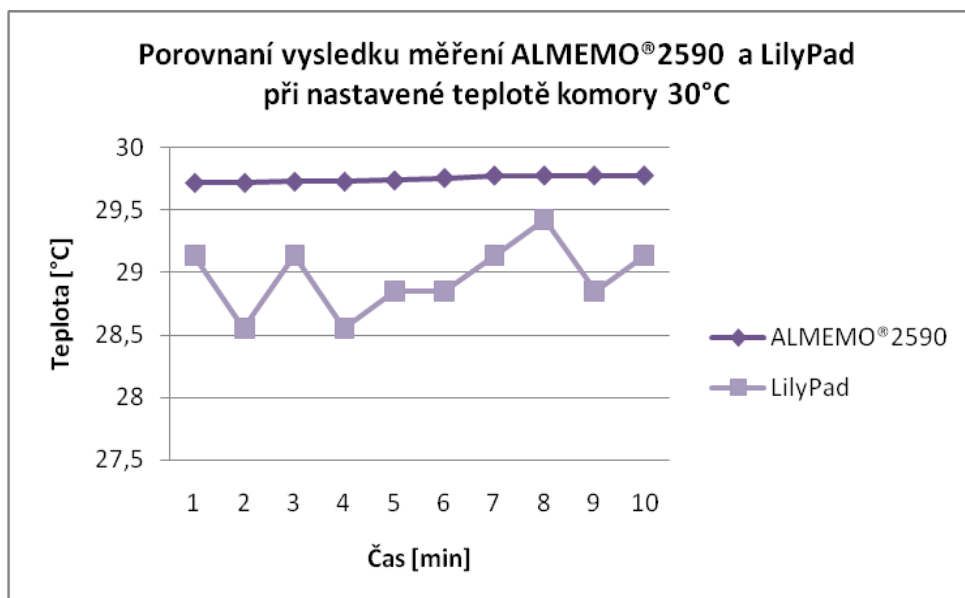
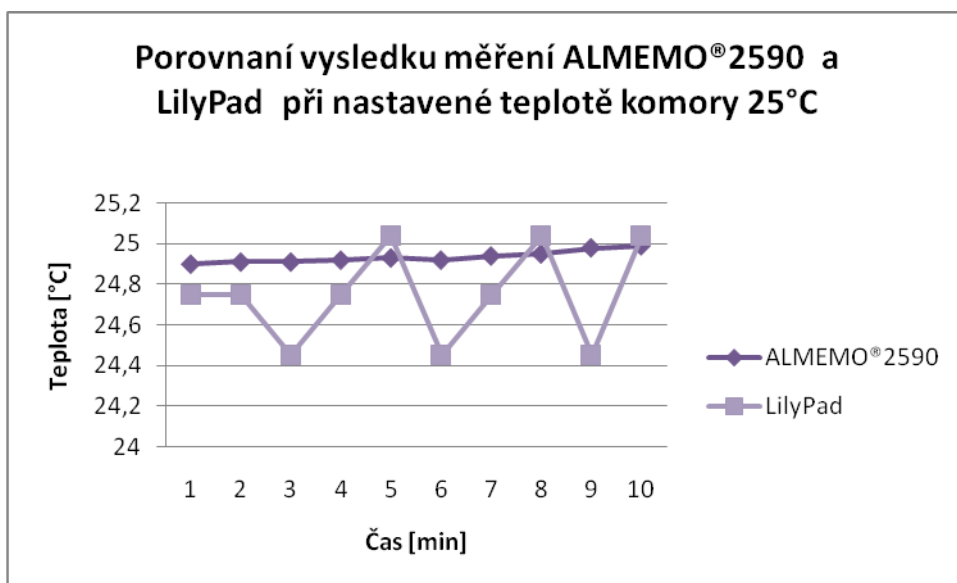
- [33] Adarfruit [online]. [cit. 20.10.14]. Dostupne z <<https://www.adafruit.com/products/659>>
- [34] Arduino [online]. [cit. 20.10.14]. Dostupne z <<http://www.arduino.cc>>
- [35] C Programming Language (C) [online]. [cit. 5.3.15]. Dostupne z <<http://www.techopedia.com/definition/24068/c-programming-language-c>>
- [36] LilyPad [online]. [online]. [cit. 20.10.14]. Dostupne z <<http://lilypadarduino.org>>
- [37] Linear Active Thermistor [online]. [cit. 20.10.14]. Dostupne z <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/E-Textiles/Lilypad/38512_SPCN.pdf>
- [38] Ambient Light Sensor [online]. [cit. 10.3.14]. Dostupne z <<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Imaging/TEMT6000.pdf>>
- [39] Guowen Song. Improving Comfort in Clothing. Cambridge Woodhead Publishing 2011. ISBN 978-0-85709-064-5, 496s.
- [40] Speciální ochranný oděvy. Studijní materiál Fakulta textilní TUL [online]. [cit. 20.4.15]. Dostupne z <http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/prednasky/OM_prednaska9_2013.pdf>
- [41] Luboš Hes, Petr Sluka. Úvod do komfortu textilií. Technická univerzita, 2005. ISBN: 8070839260

Seznam příloh

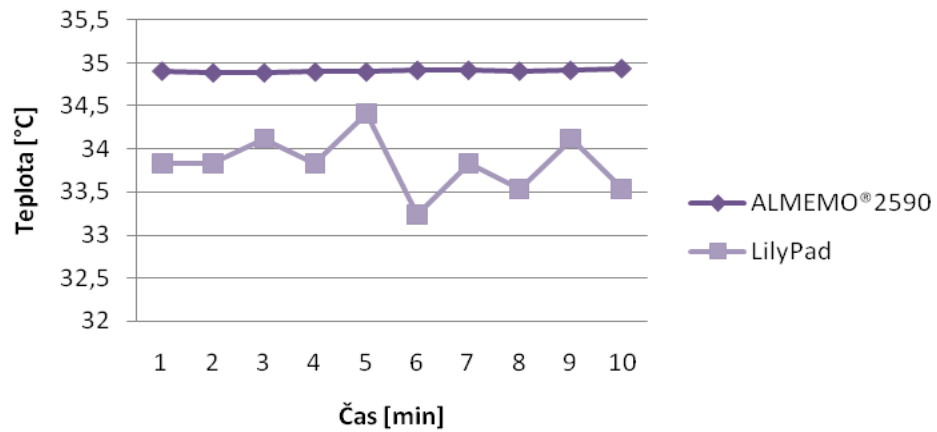
Priloha č. 1 Porovnaní výsledku měření Almemo a LilyPad

Priloha č. 2 Vzorce pro výpočet statistických údajů

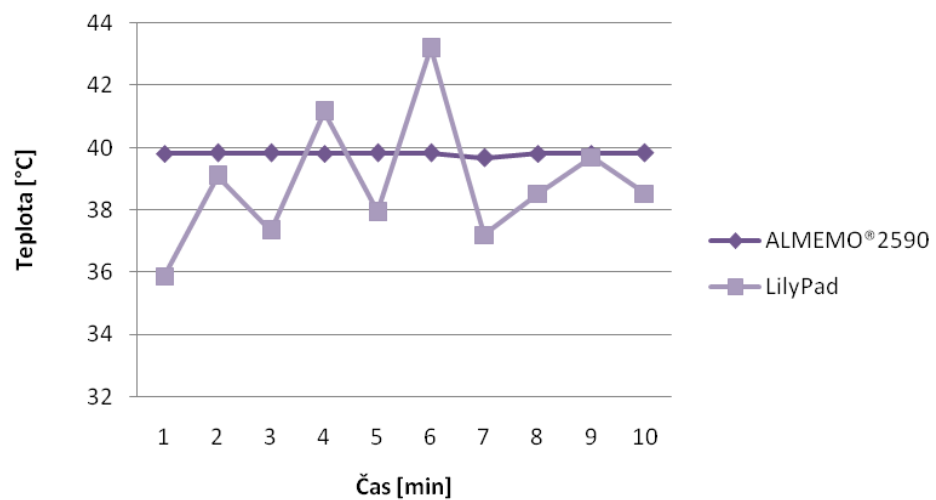
Příloha č. 1 Výsledky měření teplotního čidla Almemo a teplotního senzoru LilyPad



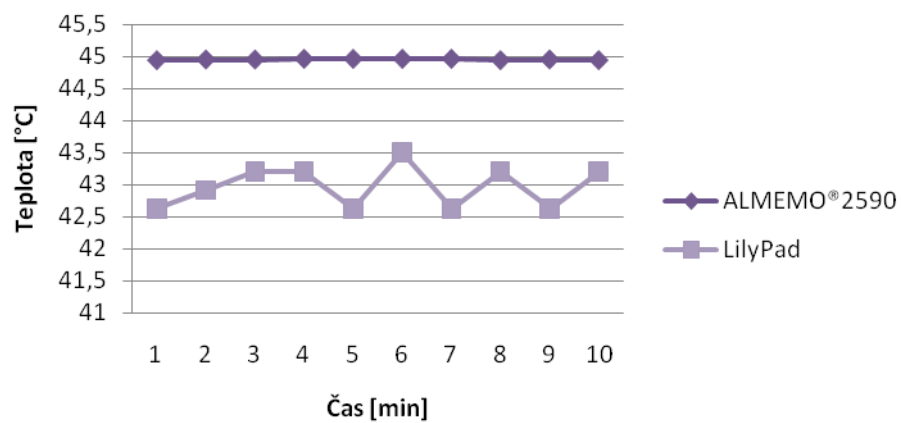
Porovnání výsledku měření ALMEMO®2590 a LilyPad při nastavené teplotě komory 35°C



Porovnání výsledku měření ALMEMO®2590 a LilyPad při nastavené teplotě komory 40°C



Porovnání výsledku měření ALMEMO® 2590 a LilyPad při nastavené teplotě komory 45°C



Příloha č 2 Vzorce pro výpočet statistických údajů

Průměr

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

Rozptyl

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right)$$

Směrodatná odchylka

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

Variační koeficient

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

Výběrový rozptyl

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

Testovací kritérium F

$$F = \sigma_0^2 / \sigma_1^2$$