

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Inteligentní textilie**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michaela PAŠKOVÁ**  
Osobní číslo: **E10B0485P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Inteligentní textilie**  
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Provedte rešerši zaměřenou na inteligentní textilie.
2. Definujte elektronické systémy se zaměřením na senzory vhodné pro integraci do textilií.
3. Popište a navrhňte způsoby kontaktování elektronických systémů na inteligentní textilie.
4. Zhodnoťte současnou situaci v oblasti inteligentních textilií a naznačte možný budoucí vývoj v této oblasti.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

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

Seznam odborné literatury:

1. **Heřmanský, Vojtěch et al. EUREKA - SENSIT: senzorové systémy pro inteligentní textilie [výzkumná zpráva]. Blatná: TESLA Blatná, 2007. 156 s.**
2. **Elektronické informační zdroje**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Karel Hromadka**


Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na zmapování oblasti inteligentních textilií. Souhrnně popisuje obecné rozdělení, vlastnosti jednotlivých druhů inteligentních textilií a jejich využití. Dále podrobně popisuje odvětví e-textilií se zaměřením na použité technologické postupy při výrobě elektrotechnických součástí. To vše je doplněno o zhodnocení stávající situace a vize do budoucna jakým směrem se inteligentní a e-textilie budou ubírat.

## **Klíčová slova**

Inteligentní textilie, materiály, e-textilie, mikroelektronika, nanoelektronika

**Abstract**

The presented thesis is focused on mapping of the field of intelligent textiles. In summary, it describes the general classification, properties of individual types of the intelligent textiles and their applications. Then, in detail, it describes the e-textiles with focus on the technological processes used in the manufacture of electrical components. This all is complemented by the assessment of the current situation and the vision of the future which direction the intelligent textiles and e-textiles will take.

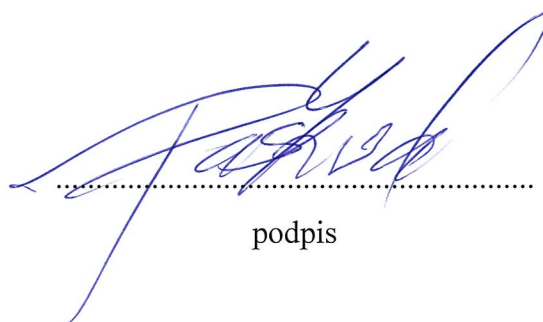
**Key words**

Intelligent textiles, materials, e-textiles, microelectronics, nanoelectronics

## Prohlášení

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

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



.....  
podpis

V Plzni dne 6.6.2013

Michaela Pašková

## **Poděkování**

Dovoluji si touto cestou poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Karlovi Hromádkovi, za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce, které mi při vypracování mé práce poskytl.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>9</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 ROZDĚLENÍ INTELIGENTNÍCH TEXTILIÍ</b> .....	<b>11</b>
1.1 PASIVNÍ IT .....	11
1.2 AKTIVNÍ IT .....	12
1.3 SUPER INTELIGENTNÍ TEXTILIE .....	12
<b>2 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PRO IT</b> .....	<b>13</b>
2.1 VODIVÉ MATERIÁLY .....	14
2.2 MATERIÁLY MĚNÍCÍ FÁZI .....	15
2.3 MATERIÁLY S TVAROVOU PAMĚTÍ .....	17
2.4 CHAMELEONNÍ MATERIÁLY .....	20
2.5 LUMINISCENČNÍ MATERIÁLY .....	23
2.6 FOTOVOLTAICKÉ MATERIÁLY .....	24
2.7 MEMBRÁNY .....	27
2.8 VYHŘÍVANÉ MATERIÁLY .....	28
2.9 TERMOPRÁDLO .....	29
<b>3 E-TEXTILIE</b> .....	<b>30</b>
3.1 SENZORY .....	31
3.2 VODIVÉ SPOJENÍ .....	37
3.3 KONTAKTOVÁNÍ .....	41
3.4 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA .....	45
3.5 ZDROJ ENERGIE .....	46
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>48</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>50</b>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 2.1 PRŮŘEZ ADITIVEM A MIKROKAPSULÍ.....	13
OBR. 2.2 TVARY PRŮŘEZU POLYMERŮ.....	14
OBR. 2.3 VODIVÁ TKANINA [51].....	15
OBR. 2.4 STRUKTURA LÁTKY REGULUJÍCÍ NA TEPLITU [1].....	16
OBR. 2.5 PRINCIP MATERIÁLU MĚNÍCÍ FÁZI [11].....	17
OBR. 2.6 FÁZOVÁ ZMĚNA KRYSTALU Z PEVNÉ NA PEVNOU FÁZI [11].....	18
OBR. 2.7 SLITINY NIKLU A TITANU – SLITINY S TVAROVOU PAMĚTÍ [13].....	19
OBR. 2.8 DEFORMACE SMP [11].....	20
OBR. 2.9 VYUŽITÍ MINIATURNÍCH FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ NA KABELCE [24].....	26
OBR. 2.10 OHEBNÝ FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK NA POLYMEROVÉ BÁZI [25].....	27
OBR. 2.11 VÝROBEK OBSAHUJÍCÍ TECHNOLOGII SAMO TOPÍCÍHO VLÁKNA [29].....	29
OBR. 2.12 PRINCIP FUNKČNÍHO PRÁDLA [30].....	30
OBR. 3.1 SCHÉMA IT S NANOELEKTRONIKOU.....	31
OBR. 3.2 KAPACITNÍ SENZOR VLHKOSTI A TEPLITY [35].....	33
OBR. 3.3 ILUSTRACE VÝROBNÍHO PROCESU (VLEVO), SYSTÉM INTEGRACE ČIDLA DO TEXTILIE (UPROSTŘED), ZVĚTŠENÝ PLYNOVÝ SENZOR [34].....	35
OBR. 3.4 VYŠITÉ EEG ELEKTRODY [44].....	36
OBR. 3.5 NÁRAMEK S INTEGROVANÝM SENZOREM POLOHY [46].....	37
OBR. 3.6 SMĚŠOVÁNÍ TEXTILNÍCH A VODIVÝCH (ČERVENÝ) VLÁKEN [53].....	38
OBR. 3.7 ZPŮSOB PŘIPEVŇOVÁNÍ VODIVÉ PŘÍZE K TEXTILII [54].....	39
OBR. 3.8 POUŽITÍ LAKU NA BÁZI VODY S PŘIMÍCHANÝM KŘEMÍKEM [56].....	40
OBR. 3.9 3D MODEL TKANÉ TEXTILIE S VODIVOU PŘÍZÍ [57].....	40
OBR. 3.10 PÁJENÍ RUČNÍ PÁJEČKOU [60].....	42
OBR. 3.11 MĚDĚNÉ VLÁKNO SPOJENÉ S ELEKTROTECHNICKÝMI SOUČÁSTKAMI POMOCÍ PÁJENÍ [60].....	42
OBR. 3.12 POŽITÍ ELEKTRICKY VODIVÉHO LEPIDLA NA KONTAKTOVÁNÍ V IT [60].....	43
OBR. 3.13 KONTAKTOVÁNÍ ŠITÍM S MOŽNOSTÍ POUŽITÍ PÁJENÍ [60].....	44
OBR. 3.14 VODIVÝ ZÁVIT [60].....	44
OBR. 3.15 TEXTILNÍ ZPŮSOBY KONTAKTOVÁNÍ [60].....	45
OBR. 3.16 SILIKONOVÁ KŮŽE [64].....	45
OBR. 3.17 POSTUP VÝROBY SILIKONOVÉ KŮŽE [64].....	46

## Seznam symbolů a zkratek

DC	.....	direct current – stejnosměrný proud
DWR	.....	Durable Water Repellency – Odolná vodoodpudivost
EAP	.....	elektro – aktivní polymery
EEG	.....	Elektroencefalogram
EKG	.....	Elektrokardiogram
EMG	.....	Elektroencefalogram
FP	.....	fázový přechod
GPS	.....	Global Positioning Systém – světový systém určování polohy
HOMO	.....	Highest Occupied Molecular Orbital – nejnižší obsazený molekulový orbital
IR	.....	infrared - infračervená
IT	.....	Inteligentní textilie
LED	.....	Light-Emitting Diode – dioda emitující světlo
LUMO	.....	Lowest Unoccupied Molecular Orbital – nejvyšší obsazený molekulový orbital
MEMS	.....	Micro-Electro-Mechanical Systems - Mikroelektromechanické systémy
MP3	.....	formát ztrátové komprese zvukových souborů
NASA	.....	National Aeronautics and Space Administration - Národní úřad pro letectví
PANI	.....	konvenční elastomer Lycry, bavlna pokrytý polyanilinem, polypyrolinem
PEN	.....	Polyetylén naftalát
PET	.....	Polyethylentereftalát
PI	.....	polyimid
SMP	.....	shape memory polyners – polymery s tvarovou pamětí
T <sub>g</sub>	.....	teplota skelného přechodu
UV	.....	ultraviolet – ultra fialové

## Úvod

Inteligentní textilie vznikly na základě vývoje vláken z důvodu nahrazení a vylepšení tradičních přírodních vláken novými syntetickými vlákny vyrobených z ropy. Syntetická vlákna jsou cíleně vyvíjena podle specifických požadavků. Přidáním aditiva do polymerních řetězců syntetických vláken vznikají inteligentní textilie.

Elektrotechnika prošla stejně jako textilie velkým vývojem. V současné době je soustředěna pozornost na větší miniaturizaci elektronických součástek tak, aby mohly vzniknout ještě dokonalejší výrobky a následně i e-textilie.

Cílem práce je zmapování problematiky inteligentních textilií a jejich využití. Dále podobné popsání odvětví e-textilií se zaměřením na použité technologické postupy při výrobě elektrotechnických součástek.

Práce je rozložena do tří základních kapitol. První kapitola se zabývá obecným seznámením s inteligentními textiliemi. V druhé kapitole jsou shrnuty vlastnosti inteligentních textilií a je zde uvedeno jejich rozdělení, které ukazuje použití těchto inteligentních textilií v běžném provozu. Třetí kapitola popisuje technologické postupy při výrobě e-textilií, ve kterých se používají mikro- a nano- elektronické součástky. Závěrem této práce je zhodnocení současné situace v oblasti inteligentních textilií a možný budoucí vývoj této oblasti.

# 1 Rozdělení inteligentních textilií

Inteligentní textilie (IT) jsou textilie, které dokáží reagovat na okolní podněty a prostředí kolem nich. Problematika IT se týká více oborů a to: fyziky, chemie, biologie, elektrotechniky, farmacie, informatiky a v neposlední řadě i estetiky. Dále pak lze IT použít jako nosiče, protože se dají spojit jednoduše šitím, lehce se udržují a mají nízkou hmotnost. Díky tvárnosti textilií, dochází k posunu od konvenčních textilií k funkčním až k inteligentním textiliím, které lze označit i jako „smart“ textilie. V dnešní době se již považuje za standart to, že mají textilie různé funkce. Tyto funkce se realizují v co největší míře v jednom materiálu. Jedna tkanina je schopna transportovat a akumulovat teplo, nepropouštět vodu, propouštět vzduch, a zároveň transportovat vlhkost pryč od těla, je nehořlavá, má antistatické, anebo dokonce i antibakteriální vlastnosti. Požaduje se vysoká pevnost při zachování komfortu konvenčních textilií. V rámci základních vlastností konkrétní tkaniny je využíváno např. pevnosti, pružnosti a případně tažnosti, ale i dalších vlastností.

## 1.1 Pasivní IT

První generaci IT tvoří textilie, které jsou pouhými detektory (senzory), jsou tedy citlivé na vnější podněty, ale ještě s těmito podněty nedokáží pracovat. Patří sem materiály, které fungují jako čidla a indikátory stavu okolí. [1] Jako příklad se mohou uvést optická vlákna, která přenáší světelný signál a zároveň jsou citlivá na koncentrace chemikálií, tlak, elektrický proud, magnetické pole apod. [2]

Tyto textilie mohou být i součástí umělé inteligence ve formě elektroniky, která se obléká. Celý systém funguje tak, že jsou v textiliích zabudované elektronické součásti a tyto součásti jsou napojeny na externí systém dané umělé inteligence. Díky tomuto systému umožňují IT komunikaci jako nosiče elektrických přístrojů. Tato zařízení se tedy dokáží spojit s mobilními komunikačními prostředky, indikátory polohy, indikátory stavu člověka a také s mobilními počítači bez snížení komfortu oděvu. Mají vlastnosti jako je například ochrana proti tepelným výkyvům; dále upravují podmínky ventilace vzduchu a vodní páry. [2] Používají se jako vlákenné senzory pro měření a monitorování, biologické tkáně a orgány, a bioaktivní materiály [8].

## 1.2 Aktivní IT

Tato druhá generace IT v sobě má zabudované jak senzory, tak akumulátory. [1] Díky tomu se může nejen identifikovat změna vnějších podmínek, ale současně na tuto změnu i reagovat. [3] Tato reakce se provádí buď přímo, nebo prostřednictvím centrální řídicí jednotky. [1] Do této skupiny IT patří například textilie měnící barvu (tzv. chameleonní), textilie s tvarovou pamětí, odolné proti vodě, nepropustné páru, teplo generující a následně ukládající vlákna, teplo senzitivní textilie, ale i inteligentní membrány [1], [2], [8].

Při použití aktivních IT je dosaženo vyššího oděvního komfortu a také usnadnění komunikace. Tento typ textilií se v současné době nejvíce používá pro vojenské účely a u záchranných složek, při extrémních klimatických podmínkách, k identifikaci přítomnosti látek a bakterií, případně k mapování koncentrace plynů.

Velké možnosti aktivních IT se nachází i v oblasti technických textilií - zde se hovoří o inteligentních filtračních tkaninách, které mohou fungovat dokonce jako molekulární síta nebo odsolovače mořské vody. V oblasti medicíny se mohou používat pro dávkování léčiv nebo diagnostikovat aktuální stav pacienta. Většinou se jedná o nějakou speciální látku, která je aplikována ve vláknech, v přízi nebo v zátěru. [2]

## 1.3 Super inteligentní textilie

IT třetí generace jsou schopny zachytit podněty, reagovat na ně a přizpůsobit svou funkci na vnější podmínky a podněty. Silně inteligentní nebo super inteligentní textilie v sobě mají jednotku, která pracuje podobně jako mozek nebo centrální počítač s rozpoznávací schopností, s hodnotící schopností a se schopností vytváření podnětů odezvy a činnosti aktuátorů. [1] Dokáží tedy reagovat na změny okolního prostředí, vyhodnotit je a poté se samy rozhodnout, jak dál postupovat. Díky tomu můžeme tvrdit, že silně inteligentní textilie se v současné době skládají z pěti základních členů a to ze senzorů, akčních členů (aktuátorů), kontrolní jednotky, uložení dat a komunikace [8]. Budeme-li se zabývat super IT a jejich vznikem, nelze opomenout to, že tyto látky mohly vzniknout pouze na základě spolupráce tradičních textilních a oděvních technologií s dalšími vědními odvětvími. Zde je třeba velké propojenosti, jelikož jsou třeba poznatky z materiálové vědy, strukturální mechaniky, sensorové a pohonné techniky, elektronické a informační technologie, umělé inteligence, biologie a z dalších fyzikálně-technických věd. [1]

Tyto silně IT se rozdělují do tří generací podle časového vývoje:

**1. generace** – hotové přístroje přidané do textilie, které jsou spojené dráty nebo vodivými polymery. V této generaci se dokázalo do textilií přidat mikrofon, mobilní telefon, MP3 přehrávač, GPS.

**2. generace** – elektrické funkce integrované do textilií. Zde nejsou hotové výrobky integrovány do textilie.

**3. generace** – vlákna s integrovanou mikro elektronikou. Toto je cesta budoucnosti a výzkumu, jelikož druhá generace dokázala, že problémy s integrací elektrické funkce lze řešit i jiným způsobem. [8]

Nová vlákna, textilní materiály a součástky miniaturizované elektroniky umožňují vytvářet takové IT, ze kterých je možné vyrobit skutečně užitečné technické oděvy, jako jsou například oděvy kosmonautů, pilotů, lékařů, chemiků a dalších. S těmito inteligentními oděvy se počítá také v běžném životě. Zde budou moci poskytnout pomoc k řešení neobvyklých situací denního života. [1]

## 2 Materiály používané pro IT

To, aby se stalo z obyčejného vlákna vlákno inteligentní a následně i IT zaručuje způsob výroby vlákna, kdy se do vláken přidávají aditiva. To jsou látky, které zlepšují, anebo jinak upravují vlastnosti látek. Tato účinná látka často obsahuje částice kovů. Tyto účinné látky nejsou zabudovány do struktury vlastních polymerních řetězců. Aditiva ale nejsou jedinou možností jak z obyčejných textilií vytvořit IT, druhou možností jsou mikrokapsule. Zde je účinná látka zapouzdřená v malé tobolce, která tvoří obal. Velikost těchto mikrokapsulí se pohybuje řádově od 0,01 mikrometru až 100 mikrometrů. [8] Rozdíl mezi aditivem a mikrokapsulí lze vidět na obr. 2.1.

Aditiva

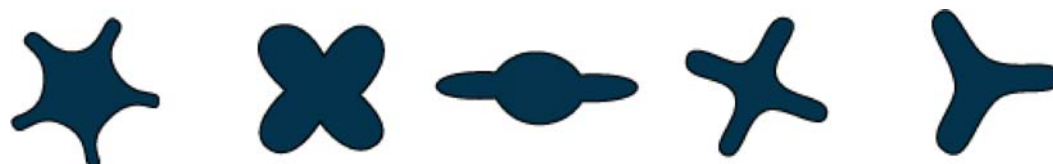


Mikrokapsule



Obr. 2.1 Průřez aditivem a mikrokapsulí

Samotný polymer funguje jako nosný prvek textilie a nemá kruhový průřez. Díky tomu, že je průřez tvarovaný, se ve výsledku docílí lepších vlastností celé IT. Zvýší se kapilarita, smáčení, filtrace, objemnost, ale i krycí faktor. Docílí se změny omaku a lesku. Sníží se tuhost a žmolkovatost. [8] Všechny tyto vlastnosti dále pomáhají k tomu, aby se docílilo vyššího komfortu pro uživatele. Na obr. 2.2 je názorná ukázka toho, jak může vypadat průřez polymeru.



Obr. 2.2 Tvary průřezu polymerů

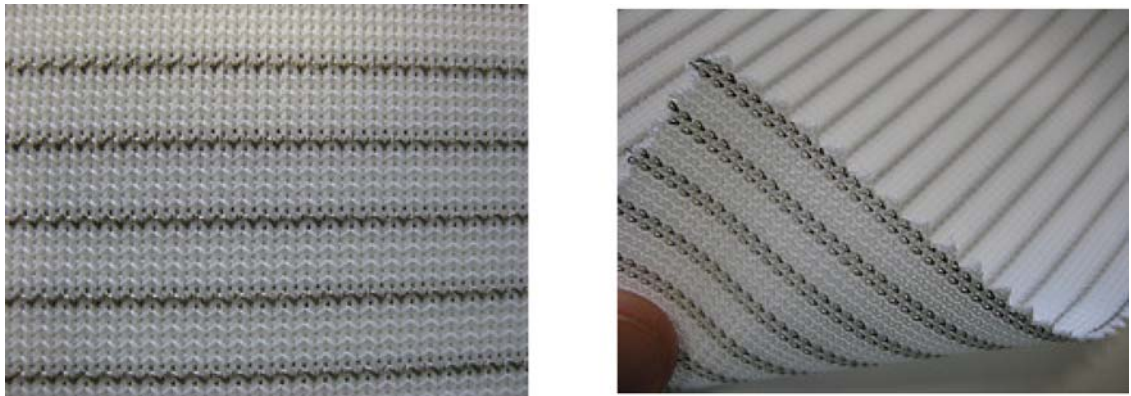
Pokud není k dispozici správný materiál pro daný problém, tak se nemůže počítat se 100% úspěchem řešení problému. Mezi materiály formálně označované jako inteligentní patří: piezoelektrické materiály, elektrostrikční materiály, elektoreologické materiály, magnetoreologické materiály, termoresponzivní materiály, pH citlivé materiály, UV citlivé materiály, chytré polymery, inteligentní gely, inteligentní katalyzátory a slitiny s tvarovou pamětí. [4]

Projev IT není omezen jen na jeden druh látky či procesu, ale mohou se vzájemně doplňovat a efektu může být dosaženo pomocí složitějších inteligentních struktur, které jsou schopny spustit daný efekt pouze společně. Příkladem inteligentních struktur mohou být senzory, aktuátory - akční prvky - a kontrolní oblast. [5] Pro srovnání s lidským tělem a funkcemi jednotlivých struktur senzory mají funkce nervů, kterými se šíří impulzy pro reakci, kterou provedou svaly, které jsou aktuátory. Celý tento proces je zaznamenáván a řízen mozkem, tedy kontrolním prvkem.

## 2.1 Vodivé materiály

Vodivost materiálu je postavena na vlastnostech materiálu samotného vlákna. Používají se jako senzory a indikátory. Při práci se světlem v textiliích a to v nejrůznějších formách pak volíme optická vlákna. Je-li vyžadována vyšší přesnost, lze použít optická vlákna, která přenášejí světelný signál. [8] Optické vlákno je dielektrická struktura (tzv. vlnovod), většinou válcové symetrie, jejíž podélný rozměr je mnohonásobně větší než příčný. Vlákno je složeno z optického jádra o větším indexu lomu a optického obalu o nižším indexu lomu. Vlákno přenáší světlo ve směru své podélné osy. [9] Mezi vlastnosti optických vláken patří citlivost

na deformaci, chemikálie, tlak, tah a elektrické a magnetické pole. Vodivým materiálem lze nazvat i polymery, konkrétně takové vodivé polymery, které jsou vyrobeny z elastomerních materiálů obsahujících nanočástice kovů. Kov v polymeru přináší možnosti a vlastnosti jako je deformace, kontakt a vodivost. [8] Mezi jedny z nejmladších vodivých materiálů patří vodivá vlákna PANI (polyanilin). PANI je ušlechtilý jako stříbro. [10] Toto vlákno tvoří konvenční polymer Lycry s přidavkem bavlny pokrytým polyanilinem a polypyrolinem. Tato kombinace materiálů přináší nové vlastnosti, a to piezorezistivitu a termorezistivitu. Pro výrobu vodivých materiálů vložených do IT se v neposlední řadě používají kovové drátky, které jsou vyráběny tažením za tepla. Při výrobě se používá Taylorův proces, při tomto procesu se kov pokrývá sklem. Tato vrstva má tloušťku 10 mikrometrů. [11] Příklad vodivé tkanice je vidět na obr. 2.3.



Obr. 2.3 Vodivá tkanina (převzato z [51])

## 2.2 Materiály měnící fázi

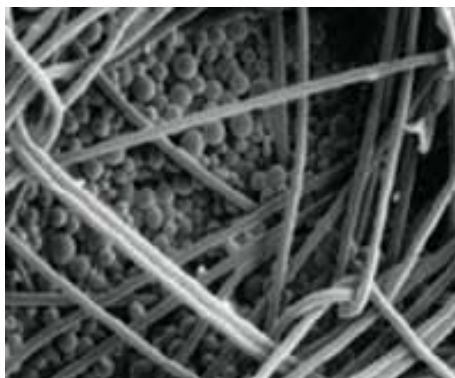
Termín „materiály měnící fázi“ označuje materiály, které reagují na teplotu. Od těchto materiálů se požaduje přizpůsobení okolní teplotě tak, aby se člověk cítil co nejpohodlněji a nemohl zpozorovat změny v teplotě. Aktivní používání takových textilií vyžaduje tepelnou rovnováhu mezi teplem vytvořeným tělem při sportu a teplem uvolňovaným do okolí. Normální oděvy na běžné nošení takové podmínky nesplňují. Teplo vytvořené tělem během mimořádné námahy se neuvolňuje v potřebné míře do okolí, a tak se při nošení textilie vytváří nepříjemný tepelný režim. Při přestávkách mezi činnostmi je vytvářeno mnohem nižší teplo a to přináší reálnou možnost podchlazení. [6]



## Princip funkce a využívané materiály měnící fázi

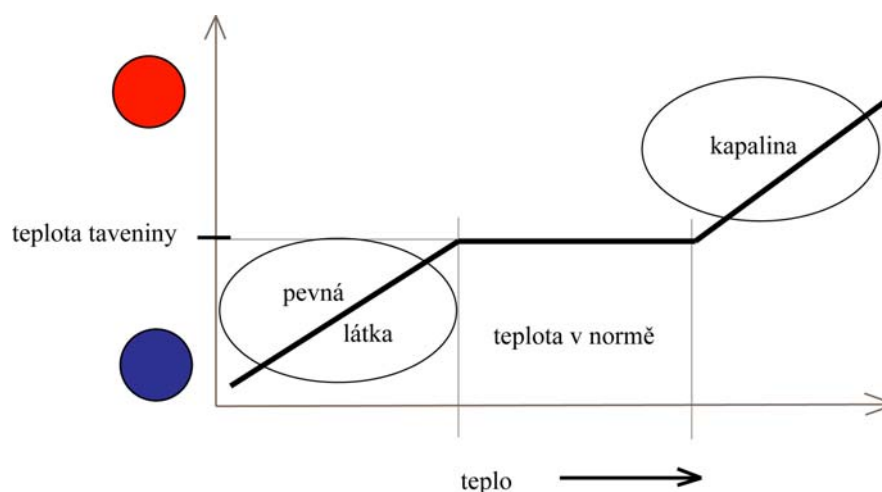
Každý materiál pohlcuje během ohřevu teplo a jeho teplota stále roste. Tepelná energie akumulovaná v materiálu se pak během obráceného děje uvolňuje do prostoru a materiál chladne. Během ochlazování pak teplota materiálu klesá. Běžný textilní materiál pohlcuje teplo kolem 1 kJ/kg při vzrůstu teploty o 1 K (1 °C). Pokud se porovnává pohlcování tepelné energie materiálů s fázovým přechodem (FP) s materiály bez FP, zjistí se, že materiály s FP při tání absorbují mnohem více tepla, než materiály bez FP, a při tuhnutí se toto teplo zase uvolňuje. [1] To je způsobeno tím, že tento fázový přechod má za příčinu změnu struktury a skupenství látky a tedy i změnu energie a následně i změnu teploty. V praxi to znamená, že při fázové transformaci materiál teplo pojme a následně při reverzním fázovém přechodu teplo uvolní. [7] Dochází-li k tavení parafinu, pak je při jeho FP absorbována energie 200 kJ/kg. Aby textilie absorbovala stejné množství tepla, teplota by musela vzrůst o 200 K, do okolí se uvolní velké množství tepla pohlcené při tání parafinu. Porovná-li se měrná tepelná kapacita textilií s parafinem, je zřejmé, že po aplikaci parafinu s fázovým přechodem do textilií se tepelná kapacita soustavy podstatně zvětší. [1] Během celého procesu tavení parafinu zůstává teplota FP parafinu i jeho textilního okolí konstantní. Nedochází pak k nežádoucímu růstu teploty, jako je tomu při ohřevu bez FP. Stejně je tomu při procesu tuhnutí neboli krystalizaci. Během celého krystalizačního procesu se teplota FP rovněž nemění. Velký přenos tepla během tavení a během krystalizace beze změny teploty z materiálů s FP vytváří materiály pro akumulaci tepla.

Parafíny se využívají v textilních oborech buď v kapalném, nebo v pevném stavu. Aby se zabránilo rozředění parafinu v kapalném stavu, je uzavřen do malých kuliček mikrometrových rozměrů, nazývaných FP mikrokapsule. Mikrokapsulovaný parafin se vpravuje do akrylových vláken, do polyuretanových pěn či do povrchových vrstev textilií. Umístění parafinových kuliček mezi vlákna textilie je uvedeno na obr. 2.4.



Obr. 2.4 Struktura látky regulující na teplotu (převzato z [1])

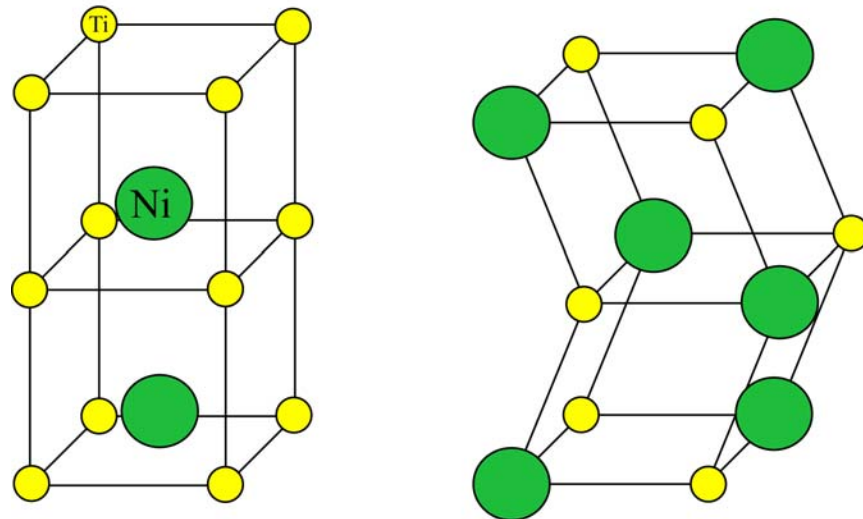
Zjednodušeně je celý proces názorně popsán na obr. 2.5. Princip těchto IT spočívá v tom, že se nastaví přechodové zóny na teplotní úroveň, jaké je třeba. Pokud se tyto teplotní úrovně překročí, pak IT v teple akumuluje teplo a v chladu akumulované teplo uvolňuje.



Obr. 2.5 Princip materiálu měnící fázi (překresleno z [11])

### 2.3 Materiály s tvarovou pamětí

Materiály s tvarovou pamětí se rozdělují do dvou skupin materiálů, ty na podněty reagují rozdílně. Do první skupiny patří materiály tvarově stabilní při dvou nebo více teplotách. Při různých teplotách mohou nabývat různých tvarů, bylo-li dosaženo jejich teploty přechodu. Do druhé skupiny materiálů s tvarovou pamětí patří elektro-aktivní polymery, které mění tvar vlivem působení elektrického pole. V posledním desetiletí došlo k významnému rozvoji elektro-aktivních polymerů (EAP), které vykazují podstatnou změnu v rozměrech, tvarech a v silovém působení na široce využívané mechanické aktuátory. [1] Na začátku procesu je materiál před aktivačním bodem. Látka má sklovitý stav, pod tímto označením se skrývá nízkoteplotní pevná struktura, tvrdost a nízká propustnost. Poté, co látka překročí teplotu aktivačního bodu, dostává se do tzv. kaučukového neboli viskoelastického stavu. Při tomto stavu nastává Micro-Brownův pohyb, což je nahodilý pohyb částic suspendovaných v tekutině. Při tomto kaučukovém stavu se v látce vytvářejí mezimolekulární průchody v důsledku již zmiňovaného Micro-Brownova pohybu. Dále roste propustnost pro vlhko i teplo. Pokud se zvýší teplota ještě více, nastane plastický stav, tzv. viskózní tekutina. [8] Fázová změna z pevné na pevnou fázi je zobrazena na obr. 2.6. Při této změně se krystal symetrické centrální tetragonální soustavy přemění do zkroucené krychle. Tato zkroucená krychle se liší od počátečního stavu především svou tvrdostí, která se ve výsledku zmenší. Následkem tohoto zmenšení vznikla i deformace, kdy již nejsou strany krystalu souměrné.



Obr. 2.6 Fázová změna krystalu z pevné na pevnou fázi (překresleno z [11])

### Materiály pro tvarovou paměť

Kostrou textilií s tvarovou pamětí jsou slitiny s tvarovou pamětí. Využívá se zde slitiny niklu a titanu, tuto slitinu nazýváme nitinol. Byla vyvinuta k zajištění vyšší ochrany proti vlivu tepla. Mezi její vlastnosti patří kromě tvarové paměti i superelastická, biokompatibilita a nekorodovatelnost [11]. Dále jsou zde slitiny měď-zinek-hliník a měď-hliník-nikl. Vedle slitin se využívají polymery neboli blokové a segmentové kopolymery. Do této kategorie se zařazují polymery fotosenzitivní a termosenzitivní. Materiály z fotosenzitivních polymerů jsou citlivé na sluneční záření. Termosenzitivní materiály jsou citlivé na vyšší teploty. Do skupiny polymerů s tvarovou pamětí se řadí i biodegradabilní polymery. [8] Biodegradabilní materiály jsou vyráběny z použitých nápojových PET lahví. Tyto materiály jsou následně používány pro biodegradabilní netkané textilie. [12] Důležitou vlastností těchto materiálů je teplota, při které reagují a následně se stávají aktivními a snadno se deformují. Při aktivační teplotě působí ve slitinách síly, které vrací slitinu do předchozího tvaru a zvyšují její tuhost. Aktivační teplotu je možné měnit poměrem obsahu niklu k titanu ve slitině. Dále jsou zde slitiny mědi se zinkem, které jsou schopny aktivace dvěma způsoby. Tyto slitiny jsou díky tomu schopny vratné změny tvaru. Mohou rovněž reagovat na změny vyvolané změnami fyzikálních polí. [1]

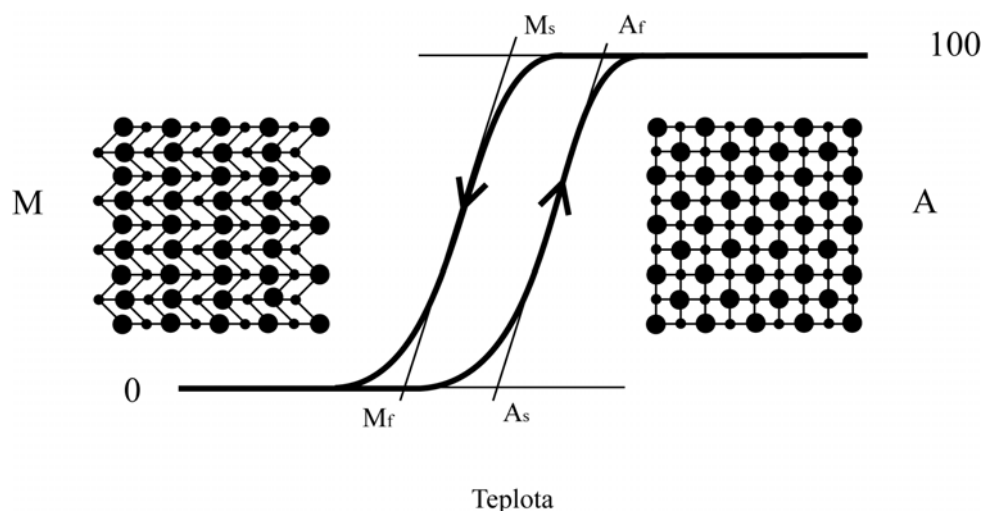


Obr. 2.7 Slitiny niklu a titanu – slitiny s tvarovou pamětí (převzato z [13])

Polymery s tvarovou pamětí, původní označení shape memory polymers (SMP), mají stejný efekt jako slitiny niklu a titanu, ale coby polymery jsou mnohem kompatibilnější s textiliemi. První SMP materiály byly vytvořeny na základě polynorborenu s teplotou skelného přechodu  $T_g$  v intervalu  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pozdější skupiny SMP byly založené na směsích styrenu, butadienu a polyethylenu. Byly vyvinuty s teplotním skelným přechodem v rozsahu  $46\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$  a rozšířenou možností využití. [1] Využití těchto materiálů s tvarovou pamětí je také v medicíně, kde se z nich následně vyrábí rovnátka, dentální aparáty, chirurgické nástroje, katetry, kostní protézy a šrouby.

### **Využití materiálů s tvarovou pamětí v oblasti inteligentních textilií**

Aby se tyto SMP mohly využívat v inteligentních oděvech, musí se teploty pro spínání pohybovat v blízkosti tělesné teploty. V praxi jsou slitiny s tvarovou pamětí používány ve tvaru pružiny. Pod aktivační teplotou je pružina v rovině, nad ní však z roviny vystoupí, jak je vidět na obr. 2.8. Pružina vložená mezi dvě vrstvy textilie se vyboulí, pokud se ocitne nad aktivační teplotou. Vzdálenost mezi textiliemi se zvětší a tímto způsobem se získává ochrana proti přehřátí [1].



Obr. 2.8 Deformace SMP (překresleno z [11])

- A<sub>f</sub> - teplota, kdy končí transformace z M na A (ohřev)
- A<sub>s</sub> - teplota, kdy začíná transformace z M na A (ohřev)
- M<sub>f</sub> - teplota, kdy končí transformace z A na M (ochlazení)
- M<sub>s</sub> - teplota, kdy začíná transformace z A na M (ochlazení)
- A - fáze před deformací
- M - fáze po deformaci

Polyuretanové folie se vkládají mezi vrstvy oděvů. Jestliže teplota vnější vrstvy oděvu dostatečně poklesne, polyuretanová folie reaguje tak, že se zprohýbá a vzdálenost mezi vrstvami textilií se rozšíří. Deformace textilie je právě tak velká, aby překonala odpor textilií a síly působící při pohybu uživatele. Deformace folií působí stejně i při ohřátí textilií. [14]

Některá aktivní inteligentní vlákna jsou elektricky vodivá, obsahují fázové přechody (FP) a grafitové částice, které jsou rovněž elektricky vodivé. Elektrický odpor vláken se pak mění s teplotou objemu vláken. Jak se materiál ohřívá, roztahuje se a snižuje se vodivost mezi grafitovými částicemi. Tyto materiály mohou automaticky řídit zapínání a vypínání elektřiny a udržovat tak stálou teplotu. [1]

## 2.4 Chameleonní materiály

Toto označení je odvozeno od chameleona, ten má schopnost přizpůsobit se okolí a stát se „neviditelným“. Budoucí vývoj těchto materiálů se má ubírat tímto směrem a cílem je vynalézt tak dokonalé chameleonní materiály, aby fungovaly jako naše přírodní mimikry. Armáda má již tyto chameleonní textilie k dispozici v podobě prototypů a nyní je vše ve fázi

testování. V současné době tento typ IT funguje na základě reakce na vnější podmínky vratným barevným projevem.

Materiály s barevným (chameleonním) projevem patří mezi materiály, které barevně emitují, odstraňují barevné projevy nebo je mění vlivem vnějšího působení. Materiály s barevným projevem se dělí podle podnětů, které je vyvolávají na:

**fotochromní** – stimulované světlem;

**termochromní** – vybuzené teplem;

**elektrochromní** – vyvolané elektrickým polem;

**piezochromní** – stimulované tlakem;

**solvatochromní** – vybuzené kapalinami nebo plyny [1]

**karsolchromní** – reagující na změny elektronového svazku [2].

Změna barevnosti vlivem teploty je jednou z metod přidání funkčnosti buď do tiskové barvy, nebo do polymeru. Barevné změny vlivem teploty je možné dosáhnout více způsoby. V dnešní době je nejrozšířenějším způsobem docílení barevné změny pomocí tekutých krystalů. Mnohem levnější a vícestranně využitelné jsou pigmenty na bázi molekulárních komplexů s přenosem náboje. Základním principem těchto termochromních pigmentů je tří složková směs vhodného barviva, vývojky a rozpouštědla. Teplota tání rozpouštědla je hlavním faktorem, který určuje teplotu. Tato teplota se nazývá aktivační teplota, při které dochází ke změně barevnosti, protože interakce barvivo-vývojka a vývojka-rozpouštědlo jsou vzájemně v konkurenci. [17]

### **Využití chameleonních materiálů v inteligentních textiliích**

Fotochromní látky, které lze potenciálně použít v praxi, splňují několik základních kritérií. Musí být dostatečně reakčně stabilní. Správný fotochromní systém musí být schopný mnohonásobného reversibilního cyklu, aniž by nastala degradace. Jedním z problémů je rozpad fotochromního materiálu, dále degradace fotochromní látky při výrobě a v neposlední řadě i potíž s teplotní stabilitou v širokém rozsahu teplot. Celý jev je založen na změně v konfiguraci, která dále vyvolá změny v abstrakčním spektru a důsledkem toho je i změna barvy. [15]

Termochromní materiály mění barvu působením tepla. Zvláštní význam mají termochromní barviva, jejichž barva se mění pouze při určité teplotě. V textilních oborech se nyní využívají již zmíněné dva typy termochromních látek a to kapalné krystaly a látky s přeskupením molekul. V obou případech jsou barviva uložena v mikrokapsulích, které se

aplikují do textilií jako pigmenty vázané pryskyřicí. Nejužívanějšími typy barviv, které vykazují termochromismus jsou spirolactony, ačkoli jsou využívány i jiné typy barviv. Do těchto barviv je přidán bezbarvý barvivový prekurzor, který je smíchán s barevnou vývojkou. Roztok je mikrokapsulovaný a při nižší teplotě je v organickém rozpouštědle tuhý. Soustava se zbarví nebo odbarví ohřevem. Opačné změny vznikají při ochlazování směsí. [1] Pro tyto termochromní materiály a jejich vyhřívání využíváme Jouleovo teplo.

V okruhu elektrochromních látek jsou známy objevy z Univerzity v Norfolku, kde se zabývali rozvojem poznatků o vláknech chameleonního typu na základně různých velikostí elektrického pole na povrchu vláken, a následně i ovlivnitelnosti barvy nových monomerních nebo polymerních materiálů umístěných buď na povrchu, nebo uvnitř vlákna. Tento dokončený projekt se zaměřoval na vývoj oligomerických a molekulárních zbytků, které mění své optické vlastnosti. Tyto zbytky mění své absorpční koeficienty ve viditelném spektru. Změny byly zapříčiněny uložením statického nebo dynamického elektrického pole. Zkoumalo se zpracovávání filmu a účinek vlákna na vývoj anizotropní molekulární struktury a jejího vlivu na elektrické a mechanické vlastnosti elektrického vedení a modifikovatelných polymerů elektrického pole. To vyžadovalo vývoj nových a upravených technik a teorie. Nové teoretické a experimentální zálohy ve vlnovodu vazby vyústily ve vývoj velmi kvantitativního nedestruktivního třídímního určení lomivého indexu těchto anizotropních systémů. Dále může vývoj měřících metod třídímního celkového odporu pro vodivé polymery poskytnout bohaté přídatné informace o vodivém mechanismu, které pouhá měření vodivosti DC neposkytují. Práce vedla k novým metodologiím pro zformování transparentních elektrod a též pro vývoj nových výzkumných technik. Byly vyvinuty a charakterizovány nové chromoforní monomery k aplikaci na chameleonní vlákna. Tato vlákna byla při oligomerizaci poskytnuta pro mnoho různých barev v aplikaci elektrického pole. [16]

Také již existují i vlákna, která při styku s kapalinou mění svoji barvu. Kapalinou je většinou voda. Většina těchto chameleonních IT je v dnešní době používána v módě, ovšem ne v takovém rozsahu, jak bychom je mohli do budoucna používat v běžném každodenním životě. Stále chybí technologie k tomu, aby byl tento typ textilií stálý, pořád je tu velký prostor k jejich vylepšení.

## 2.5 Luminiscenční materiály

Luminiscenční materiály jsou téměř shodné s chameleonními. Tyto dva typy IT se ale liší buzením. Luminiscenční materiály samovolně emitují světelné záření, které je nad úrovní jejich tepelného záření. Na rozdíl od toho chameleonní IT mění pouze svou barvu v závislosti na okolních podmínkách.

Luminiscence vzniká působením jiného záření, respektive excitací atomů a následným návratem do základního stavu vyzářením fotonu. Z hlediska kinetiky se rozlišuje fluorescence a fosforescence. Luminiscence u fluorescenčních materiálů po odstranění zdroje ozařování vymizí, zatímco u fosforescenčních materiálů přetrvává a postupně odeznívá. Podle formy energie, kterou je luminiscence buzena, rozlišujeme materiály na bázi: [18]

**fotoluminiscence** – způsobena UV, viditelným nebo infračerveným světlem. Pro tento typ luminiscence existují dva druhy fotoluminiscenčních materiálů fluorescenční a fosforescenční. Fluorescenční s krátkou dobou dosvitu a fosforescenční s dlouhou dobou dosvitu.

**optická luminiscence** – vedení světla;

**elektroluminiscence** – způsobena elektrickým polem;

**radioluminiscence** – způsobena ionizujícím zářením;

**chemoluminiscence** – způsobena exotermickou chemickou reakcí;

**sonoluminiscence** – způsobena zvukovým polem;

**mechanoluminiscence** – způsobena mechanickým působením, třením, tlakem;

**bioluminiscence** – způsobena biochemickou reakcí v živých organismech. Reálným příkladem této luminiscence jsou světlušky. [18], [1]

### Využití luminiscenčních materiálů v IT

Fotoluminiscence je zářivá rekombinace excitovaných nosičů náboje. Je to děj, který je opačný k absorpci fotonu. Je to nerovnovážný proces, kdy foton, který představuje světlo, dodává energii nutnou pro přechod do excitovaného stavu. [19]

Fotoluminofory jsou často využívány v textiliích na oděvy pro noční kluby, k označování materiálu při ozařování ultrafialovým zářením a pro ochranu. Fosforescenční luminofory jako luminiscenční inkousty jsou využívány k výrobě pracovních oděvů pro práci na silnici za špatné viditelnosti. Označují se jimi šipky na podlaze, které slouží k orientaci při výpadku proudu. Tento jev je známý jako záření ve tmě. [1]



Elektroluminiscence je jev, který vzniká při průchodu elektrického proudu substráty. Tyto substráty tvoří povětšinou sirníky zinku. Takto umístěné substráty mezi dvěma elektrodami umožní excitaci světelných paprsků. Tento jev byl popsán už koncem 18. století jako Destriauův jev. Dlouhá léta nebyl komerčně využíván, protože vlivem vlhkosti docházelo k velmi rychlé degradaci substrátů. Teprve ke konci 20. století se vědcům podařilo tyto chemické směsi hermeticky zapouzdřit transparentní hmotou podobnou sklu, a tak vznikl materiál, který je označován jako fosforový prášek. Jednotlivá zrnka tohoto zapouzdřeného materiálu mají velikost od 5  $\mu\text{m}$  až do 20  $\mu\text{m}$ . Tento prášek je následně smíchán s polymerem, a tím vzniká fosforová polymerová pasta, která může být na plochy aplikována sítotiskem. Vývoj byl zpočátku zaměřen především na využití této technologie v projektech NASA a armády. K jejímu prvnímu komerčnímu využití došlo při použití elektroluminiscence k podsvícení ciferníků hodinek, především z důvodu její nepatrné energetické náročnosti na rozsvícení. V dalších letech došlo k rozvoji komerčního využití elektroluminiscence také v dalších oborech. Dnes je používána například k podsvícení displejů přístrojů, mobilních telefonů a různých elektronických zařízení. Od těchto malých formátů začala tato technologie postupně přecházet i do oblasti reklamy, kde je používána od aplikací malých formátů až po reklamní média a billboardy. [20]

Své místo si postupně budou získávat i „textilní“ zobrazovací jednotky a displeje založené na principu elektroluminiscenčních vláken. Tyto mohou být napojeny na takovéto systémy přímo na oděvu. V současné době řeší napájení takových zařízení několik evropských projektů, jejichž cílem je vyvinout zdroje napájení integrované přímo do oděvů. Jedná se o pružné solární články, piezoelektrické zdroje nebo mechanismy využívající energii pohybu uživatele a přeměňující ji v elektrický proud. Samotné využití takovýchto zdrojů má do budoucna velmi širokou uplatnitelnost. [21]

## 2.6 Fotovoltaické materiály

Objev fotovoltaického jevu je připisován Alexanderovi Edmondovi Becquerelovi, který jev zkoumal v roce 1839. Až roku 1904 byl tento jev fyzikálně popsán jedním z nejznámějších vědců a fyziků Albertem Einsteinem. Za tento objev spojený s rozvojem teoretické fyziky mu byla v roce 1921 udělena Nobelova cena. První patent na solární článek, který byl vyroben již z křemíku, podal v roce 1946 R. Ohlem. Ovšem až roku 1954 byl vyroben první článek podobný těm současným. Jeho účinnost byla 6 % a vznikl z krystalického křemíku. Jako další milník v historii se udávají šedesátá léta a to především

kvůli kosmickému výzkumu. FV články sloužili jako zdroj energie pro družice. Mezi další důležité aspekty v rozvoji fotovoltaiky patří také celosvětová ropná krize v roce 1973, díky které se začalo hodně mluvit o alternativních technologiích. Byly započaty výzkumy a vývoje zdokonalujících technologií, díky kterým jsou panely na takové úrovni jako dnes. [22]

Fotovoltaický článek funguje na principu toku elektrického proudu mezi dvěma propojenými deskami z polovodiče. Základem je tenká křemíková destička s vodivostí typu P, která je nosičem děr, chová se jako částice s kladným nábojem. Na této desce se při výrobě vytvoří tenká vrstva polovodiče typu N; zde nesou náboj elektrony. Obě vrstvy jsou odděleny P-N přechodem. Druhým způsobem je získávání napětí a proudu inverzním přechodem k elektroluminiscenci. Používané materiály jsou povětšinou organické a citlivé na světlo. Jsou to molekuly, polymery, dentrimery. Po absorpci světla přecházejí materiály do vybuzeného stavu. Při excitaci jsou elektrony ve stavech LUMO a díry ve stavech HOMO. Na připojených elektrodách vzniká napětí. [23]

Na základě těchto jevů přeměny světelné energie v elektrickou vznikly sluneční panely, jejichž účinnost se pohybuje od jednoho procenta pro amorfní materiály do 60 % pro krystalické. Solární buňky jsou vytvářeny také v tenkých vrstvách teluridů kademnatých, selenidů india aktivovaných mědí, a ve vrstvách materiálů komplexů mědi, india, galia a selenu. Účinnost těchto selenidových solárních buněk je mezi 11 a 14 procenty. Ty jsou vzhledem k malé hmotnosti a velké flexibilitě zvláště výhodné pro textilní aplikace. Zde jsou výhodné i organické solární buňky, mají však ještě malou účinnost do 5 %. Pro textilní aplikace jsou však velmi žádoucí, takže je jejich výzkumu a vývoji věnována velká pozornost a očekává se, že do deseti let budou využívány i pro textilní účely. [1]

### **Aplikace fotovoltaických materiálů v textilním průmyslu**

Reálné použití fotovoltaických materiálů a celého principu se donedávna zdálo být naprosto nereálné, ovšem na základě výzkumu se to stalo reálným a jeho směry se vydaly různými směry:

**Speciální nanostruktury**, tzv. supermřížky umožňující řídit šířku zakázaného pásu. Cílem výzkumu je vytvořit struktury z levných a dostupných materiálů jako je křemík.

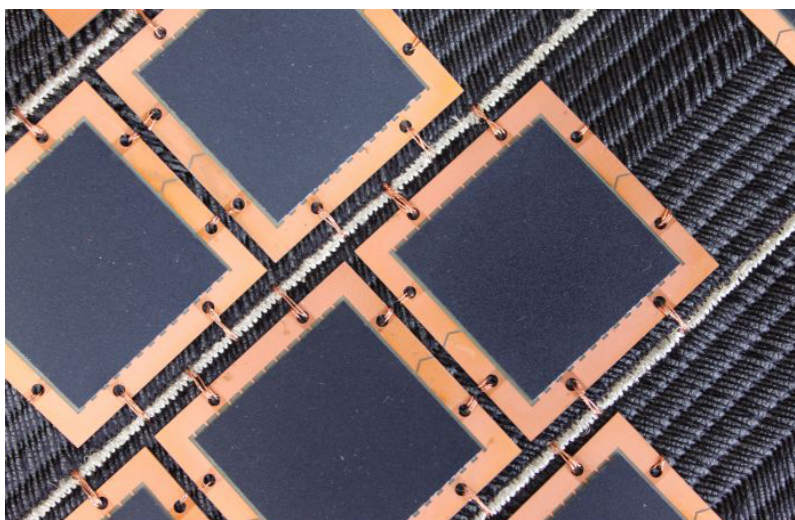
**Luminofory** konvertují široké sluneční spektrum do užší oblasti, která lépe odpovídá šířce zakázaného pásu použitého fotovoltaického článku.

**Termo-fotovoltaické články** - selektivní absorber ohříváný slunečním zářením vyzařuje dlouhovlnné záření v úzkém pásmu, které odpovídá šířce zakázaného pásu použitého fotovoltaického článku. [23]

Na základě těchto výzkumů vznikly i inovace v oboru IT. Celý systém musí být plně funkční, nesmí však nijak ovlivnit komfort užívání. Rozhoduje tedy struktura materiálů a také jejich hmotnost. Právě hmotnost se stala jedním z největších problémů.

Na základě Peltierova jevu, na jehož základě dokážeme transformovat energii, tak již můžeme využívat zavazadla, která jsou schopna dobít baterie mobilních telefonů a dalšího příslušenství. Jelikož existují i IT, které v sobě mají zabudované měřicí a indikační přístroje, máme pro ně tedy touto formou zdroj energie.

Názorný příklad je zobrazen na obr. 2.9, kde lze vidět jeden z nejnovějších počinů. Tím je kabelka, na které jsou připevněny miniaturní fotovoltaické články, které jsou vzájemně propojeny. Během dne je tato přenosná solární minielektrárna schopna generovat dostatečné množství elektrické energie potřebné pro dobítí mobilního telefonu a zabudované lithiové baterie, která akumuluje energii pro použití ve tmě. Při otevření kabelky jsou aktivována optická vlákna napojená na baterii a toto osvětlení vnitřního prostoru tak usnadní například hledání klíčů. Tato kabelka je příslibem pro efektivnější využití solárních článků v kombinaci s textilními materiály. S účinností 9 % je schopna generovat výkon 2 wattů, a to i při poměrně nízké expozici slunečnímu záření. Ambiciózním plánem výrobce je zvýšit účinnost další generace na dvojnásobek. [24]



Obr. 2.9 Využití miniaturních fotovoltaických článků na kabelce (převzato z [24])

V horizontu pěti let je možné, že se ve velkém rozšíří rozvoj organické fotovoltaiky. To znamená, že se nahradí křemík za organické polovodiče na bázi polymerů. Ukázku fotovoltaických článků na polymerní bázi lze vidět na obr. 2.10. Tyto polymerní materiály

velmi účinně absorbují světlo. Díky tomu se zmenší objem materiálu, celková spotřeba materiálu, zmenší se i hmotnost a cena. Fotovoltaické články z organických polovodičů lze navíc velmi levně vyrábět. Pro tento typ výroby se využívá zejména plošného a kontinuálního rotačního tisku na pružné a ohebné fólie, což výrazně rozšiřuje možnosti použití fotovoltaických článků zejména na nerovných a složitě tvarovaných plochách. Nedostatkem organických fotovoltaických článků je zatím jejich malá účinnost mezi 3 až 5 % a pokles jejich výkonu s časem. [25]



Obr. 2.10 Ohebný fotovoltaický článek na polymerové bázi (převzato z [25])

Současným největším nepřítelem fotovoltaických článků na polymerní bázi je jejich účinnost, která se bude postupem času zvyšovat na hodnoty klasických fotovoltaických článků. U těchto článků jsme se zatím dokázali vypracovat na účinnost pohybující se kolem 20 %. V budoucnosti je možné dosáhnout účinnosti až 40 %.

## 2.7 Membrány

Multidisciplinární výzkum vedl k úspěšnému vývoji technologie řezných nástrojů laminátů a různých mikroporéznicích a hydrofilních membrán. Membrány jsou vytvářeny z polymerů a jsou jedno- nebo vícevrstvé; nejvíce šestivrstvé. Jsou různého původu, např. z biopolymerů jako je celulóza, ale i ze syntetických materiálů jako jsou polyfluorokarbonáty, polyuretany nebo jejich deriváty. Na povrch textilií se membrány nanášejí tak, aby utvářely jejich nové vlastnosti. [26].

### Využití membrán v inteligentních textiliích

Membrány tvoří jednu z mnoha částí nových materiálů, které zvyšují pohodlí nošeného oděvu. Uplatnění najdou v oblasti sportovního oblečení. Membrány zajišťují prodyšnost a zároveň nepromokavost oděvu.

Nejnovější membrány jsou složeny ze dvou částí. Hlavní lící část je zhotovena z rozpínajícího se polytetrafluorethylenu. Tato hlavní lící část je kombinována s oleofobní vrstvou, která chrání membránu před přírodními oleji z těla. Oleofobní vrstva v sobě má repelenty proti hmyzu, kosmetické přísady, jelikož právě tyto látky membrány znehodnocují, jsou-li použity samostatně. Vnější část tvoří Goretex. Tento materiál je registrovanou značkou. Goretex se skládá z úzké pórovité membrány z expandovaného polytetrafluoretylenu, která je nalaminována mezi jiné textilie, nejčastěji na nylon nebo polyester. Goretex je povrstven hydrofobním přípravkem DWR (Durable Water Repellency), který vodu nutí vytvářet kapičky a stékat z povrchu materiálu. Umožňuje tak nošení obleků i v dešti, zajišťuje prodyšnost a předchází smáčení vrchní vrstvy obleku. [1]

Jiným úspěšným použitím membrán v inteligentních textiliích je lotosový jev. Lotosový jev spočívá v super-hydrofobním povrchu membrány, který pak odpuzuje vodu a rovněž i olejovité produkty. Výsledkem je, že výrobky zcela ztrácejí afinitu s kterýmikoli částicemi a nelze je ani zaprášit. Jiné označení těchto výrobků je samočisticí výrobky. [11]

## 2.8 Vyhřívání materiály

Samotné vyhřívání textilií je realizováno různými materiály. Většinou se jedná o odporový drát, který tvoří „topné panely“ s vysokou hustotou. Tato technologie není žádnou novinkou - byla používána již za 2.světové války v armádě a letectví. Vyhřívání materiály se používají v různých odvětvích jako je například stavitelství. Zde se používá odporový drát pro vyhřívání betonu při betonování v zimě. Tímto způsobem dokážeme vytápět i domácnosti. [27]

### Využití vyhřívání textilií

Je znám výzkum setu pro přežití, kde se objevily i vyhřívání textilie. Tyto byly realizovány z vodivého stříbra. Příze ze stříbra byla vpletena do oblečení tak, aby rovnoměrně zajišťovala vyhřívání. O energii pro vodivá vlákna se staraly integrované baterie. [28] Inteligencí těchto tkanin se rozumí dodávané teplo, formou odporového drátu, které je regulovatelné. Díky tomu přináší nositeli komfort. Odporový drát není jediná možnost vyhřívání těchto textilií. Existuje inteligentní vlákno, které umí topit samo. Dokáže generovat teplo až 200 °C. Na výrobu bylo použito laminovací technologie, která umožňuje vysokou vodivost molekul. Tento princip vyhřívání je již dostupný na běžném trhu, na obr. 2.11 je zobrazena ukázka. [29]

Další možností realizace vyhříváných textilií je za pomoci natištěného vodivého motivu metodou tzv. sítotisku. Nevýhodou těchto vodivých motivů je náchylnost na poškození při užívání a údržbě tkaniny. Funkčnost je založena na stejném principu jako u aplikace odporového drátu do tkaniny. Více o této metodě sítotisku je uvedeno v kapitole 3.2.2.

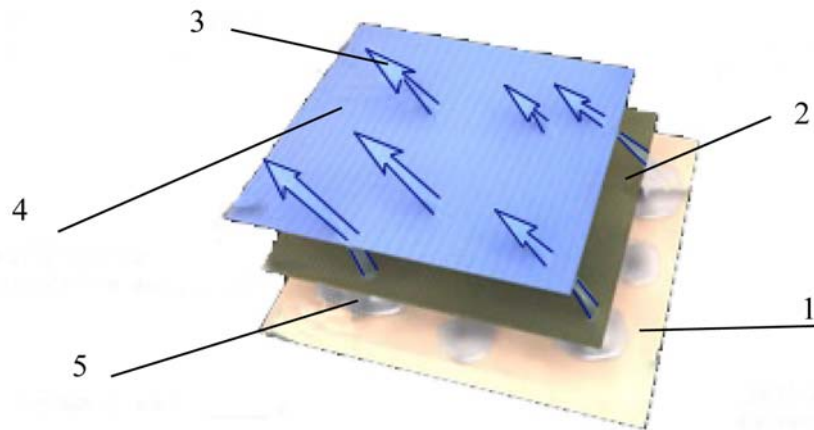


Obr. 2.11 Výrobek obsahující technologii samo topícího vlákna (převzato z [29])

## 2.9 Termoprádlo

Vznik výroby termoprádla jako odvětví bylo podmíněno nároky sportovců, kteří měli jasné požadavky na vytvoření takové textilie, která neabsorbuje vodu a následně ji dokáže odvádět od těla do dalších vrstev oblečení, nebo tuto vlhkost dokáže odpařovat přímo do okolního vzduchu a tím i následně zaručit termoregulaci organismu. [30] Vlákna, která se na termoprádlo používají, jsou jak přírodní, tak chemická. Pracuje se zde s bavlnou, vlnou, viskózou, polyesterovým vláknem, polyamidovým vláknem, polypropylenovým vláknem, prolenem a moirou. Vlastnosti, které od termoprádla vyžadujeme, zajišťují prolen a moira. Prolen neboli tvarované polypropylenové vlákno má schopnost nejmenší vodivosti a udržení mimořádné izolační síly, nejmenší absorpci vlhkosti a maximální transport vlhkosti. Prolen je možné dobře směšovat s bavlnou a viskózou. Díky této kombinaci poskytuje odpovídající komfort. Moira je vyrobena z vysoce technizovaného polypropyleny. Mezi její vlastnosti patří nenasákavost, dobré odvádění vody a hřejivost v zimním období. Toto vlákno se v České republice stalo synonymem pro funkční prádlo. Princip termoprádla je zobrazen na obr. 2.12. Mezi výhody termoprádla patří nenasákavost a s ní spojené rychlé schnutí, umění

transformace vlhkosti na vodu, spojení několika druhů úpletů dohromady; funkční prádlo funkčně na těle nestudí. Jeho nevýhodou je ovšem náchylnost použitých pletenin k mechanickému poškození, chybějící antibakteriální úprava a snížení trvanlivosti na úkor vlastností, které od termoprádla vyžadujeme. [31]



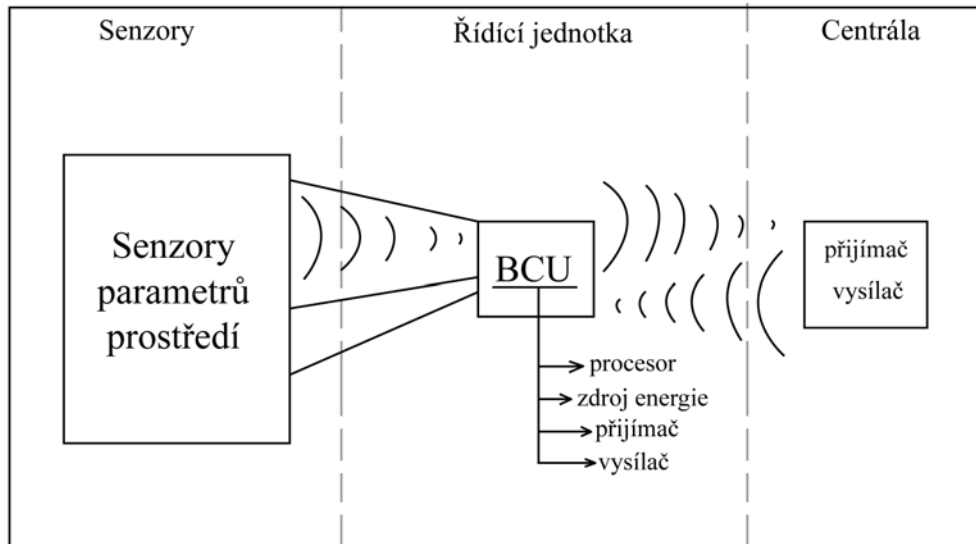
Obr. 2.12 Princip funkčního prádla (překresleno z [30])

- 1 - lidská pokožka
- 2 - termoprádlo přímo na těle
- 3 - vlhkost odpařující se z povrchu
- 4 - další vrstva funkčního oblečení
- 5 - tělesný pot

### 3 E-textilie

Textilie se stává inteligentní díky mikro a nano elektronice, která je integrována do struktury tkaniny či pleteniny. Tato elektronika malých rozměrů cítí, reaguje a adaptuje se. Všechny tyto funkce jsou provedené tak, aby byl celý systém vhodný k nošení. Tyto IT se skládají z několika částí, které následně tvoří funkční systém, jak lze vidět na obr. 3.1.





Obr. 3.1 Schéma IT s nanoelektronikou

**senzory** – tělesných funkcí, koncentrace nejrůznějších plynů, relativní vlhkosti, teploty

**akční členy** – jsou určeny k využití zpracované informace

**vodivé cesty** – realizované např. vyšíváním nebo sítotiskem

**řídicí jednotka** – obsahuje procesor, přijímač a vysílač. Zde je uložen i zdroj energie, nejčastěji v podobě baterií.

E-textilie se využívají v nejrůznějších odvětvích, jedním z nich je lékařství. Zde se předpokládá možnost využití e-textilií při měření EKG v podobě EKG trička nebo jako diagnostické a monitorovací zařízení pro všechny věkové skupiny. Další možností využití této technologie je v armádě a u všech záchranných složek a to na monitorování tělesných funkcí, koncentrace nebezpečných plynů, vlhkosti a dalších. V neposlední řadě je zde možnost integrace GPS systému pro monitorování polohy. Tato technologie je dostupná již i pro obvyčejné občany v podobě navigačního systému pro zrakově postižené, jež má za účel docílit větší svobody pohybu pro zrakově postižené, nebo je pak dále dostupná ve formě integrovaného komunikátoru pro cyklisty.

### 3.1 Senzory

Senzor je vstupní blok měřicího řetězce, který je v přímém styku s měřicím prostředím. Citlivá část senzoru je označována jako čidlo. Senzor snímá měřenou neelektrickou veličinu a převádí ji na měřenou ve většině případů elektrickou veličinu. [32]

Senzorový element se skládá z následujících komponentů:

**Substrát** – nejčastěji se používá  $Al_2O_3$  v různých modifikacích; zde se požaduje dobrý elektrický izolant i za vysokých teplot, nízký koeficient teplotní roztažnosti, dobrý vodič



tepla. Dále se vyžaduje, aby jeho elektro-fyzikální vlastnosti nezávisely na složení okolní atmosféry.

**Měrné elektrody** – jejich umístění je libovolné, řídí se požadavky na kontaktování. Jako kontaktní materiál se nejčastěji používá platina, zlato a stříbro.

**Aktivní vrstva** – je vrstva nejčastěji na bázi kovu o tloušťce vrstvy 100-500 nm, která je ve styku s měřeným prostředím a reaguje na změny. [37]

Obecně existuje mnoho možností jak a podle čeho senzory rozdělit. Nejčastěji se provádí rozdělení podle druhu převodníku, podle snímané veličiny a podle výstupní veličiny.

**Převodník** – je realizován zvoleným fyzikálním dějem. Jedná se například o převod mechanickoelektrický a jevy termorezistivní, termoelektrické, pyroelektrické, piezoelektrické, piezorezistivní, Hallův jev, magnetorezistivní, magnetostrikční, magnetoanizotropní, vnitřní a vnější fotoelektrické jevy atd.

**Snímané veličiny** – jsou geometrické, mechanické, teplotní, elektrické, magnetické, chemické, biologické a intenzita vyzařování.

**Výstupní veličiny** – nejčastěji se používá elektrický signál. Dále se ovšem využívají i optické a mechanické veličiny. Výstupní signál lze dále rozdělit na analogový a digitální.

Další dělení senzorů lze formulovat podle styku s měřicím prostředím. Zde jsou dvě skupiny senzorů bezdotykové a dotykové. Senzory jsou rozděleny podle toho, chová-li se výstup senzoru jako zátěž s definovanými parametry nebo jako zdroj signálu. Poté se hovoří o senzorech aktivních a pasivních.

**Aktivní** – nazývané také jako generátorové. Působením měřené veličiny se senzor chová jako zdroj energie, která je nejčastěji elektrická. Příkladem mohou být senzory pracující na principu převodu termoelektrickém, piezoelektrickém, indukčním atd.

**Pasivní** – působením měřené veličiny, která je často elektrická se mění některý z parametrů senzoru např. indukčnost, kapacita, odpor, imitance. Další měřenou veličinou může být optická, jako je změna barvy. Pro další zpracování signálu pomocí elektronických obvodů je nutné veličinu dále transformovat na analogový, napětový nebo proudový signál, přičemž měřicí veličinou je amplituda, kmitočet, fáze aj. U pasivních senzorů je pro tuto transformaci na rozdíl od aktivních senzorů nezbytné napájení. [61]

## Senzor relativní vlhkosti

Senzor relativní vlhkosti se používá buď samostatně, nebo je již obsažen v senzorech plynů či v senzorech tělesných funkcí, ale vždy ve spojení se senzorem teploty. Senzor relativní vlhkosti udává poměr mezi skutečným a maximálním nasyceným obsahem vody ve vzduchu. Relativní vlhkost vyjadřuje procentní nasycení suchého vzduchu vodní parou při dané teplotě. Suchý plyn má relativní vlhkost 0 % a nasycený plyn vodní párou 100 %. Relativní vlhkost se často vyjadřuje jako poměr parciálního tlaku vodní páry k parciálnímu tlaku nasycené vodní páry při stejné teplotě. [34]

Pro integraci tohoto senzoru se používá kapacitní princip měření, který je umístěn na jeden substrát, jak je vidět na obr. 3.2. Jeho součástí je odporový snímač teploty a zároveň kapacitní snímač, jehož výstup je závislý na relativní vlhkosti plynu. Kapacitní čidla pracují na principu hydrokopických vlastností polymeru, který je ve funkci elektrolytu mezi kontakty kondenzátoru. Polymer nanesený mezi elektrodami má přístup ke vzduchu, jehož vlhkost je měřena, a v závislosti na relativní vlhkosti plynu absorbuje vodu ze vzduchu. Polymer s absorpcí mění své vlastnosti, čímž se mění i kapacita kondenzátoru. Díky velké dielektrické konstantě polymeru stačí i malé množství absorbované vody k tomu, aby se projevily změny v kapacitě kondenzátoru. Změna kapacity pak připadá asi na 0,1 % z celkové kapacity kondenzátoru na změnu o 1 % relativní vlhkosti. Tuto výstupní kapacitu z čidla následně vyhodnocuje většinou mikroprocesor, který ze známé závislosti senzoru vypočítá relativní vlhkost měřeného plynu. Kapacita kondenzátoru se většinou pohybuje mezi 100 pF a 500 pF. [35]



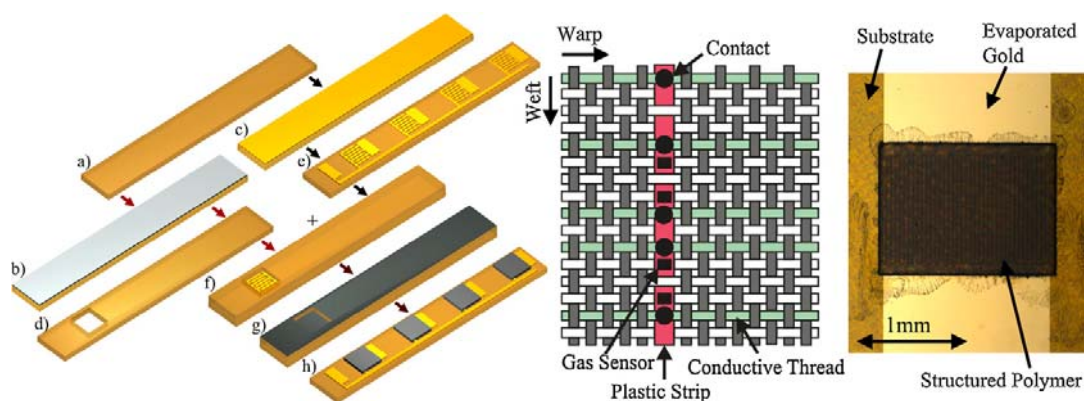
Obr. 3.2 Kapacitní senzor vlhkosti a teploty (převzato z [35])

## Chemické senzory

Do této skupiny senzorů patří senzory plynů a rozpouštědel. Senzory plynů se používají pro detekci výbušných plynů jako je metan, propan, butan a páry ředidel, dále pro detekci plynů vznikajících při hoření, jako jsou oxidy dusíku, síry a uhlíku, a také při detekci vedlejších produktů při hoření plastů, kde vzniká fosfen. V neposlední řadě dokáží tyto senzory zaznamenat plyny znečišťující prostředí a detekovat plyny jako je smog, průmyslové škodliviny a produkty automobilových motorů. Principem detekce je změna vlastností funkčních vrstev senzorů interakcí s vnějším prostředím. Podle charakteru plynu i vybrané sensorové vrstvy se mění elektrické, optické a další fyzikální či chemické vlastnosti vrstvy, které se převedou na elektrický signál úměrný parciálnímu tlaku daného plynu v prostředí. Sensorovými vrstvami jsou složité makromolekulární látky vhodně vyrobené pro detekci daných plynů, či soustavy vrstev, na nichž proběhne selektivní chemická reakce. [33]

Je znám výzkum ze Švýcarského federálního institutu technologie v Curychu, kde se zabývali experimentální výrobou plynových senzorů za použití polymerních substrátů, ze kterých vyrobili tzv. chemické rezistory. Tyto chemické rezistory nabízejí výhody v podobě jednoduché struktury a zařízení i snadného zpracování signálu v porovnání s plynovými kondenzátory nebo tranzistory, které se používají převážně v této problematice. Existující chemické rezistory jsou vyrobeny z vodivých polymerů nebo z kovových oxidů. Kovové oxidy mohou pracovat při zvýšených teplotách kolem 200 °C až 300 °C. Vodivé polymery pracují při pokojové teplotě a mohou detekovat jen určitý plyn. [34]

Nové mikrovýrobní metody umožňují nízkonákladovou výrobu plynových senzorů ve velkém množství. Z toho důvodu byly použity filmy jako substrátový materiál. Díky tomu je možno vyrábět plynové senzory na flexibilních ohebných substrátech ve vysokém počtu. Jako materiál pro substrát je možno použít PEN, PET, papír nebo PI v kombinaci s vodivými polymery a kovovými oxidy. Pokud se chemické rezistory integrují do tkaniny, chemické rezistory se pak skládají ze substrátu, který je tvořen z proužků flexibilního základu s tenkými filmovými zařízeními, která jsou s textilními vlákny připeletena do látky. Tyto senzory mohou být použity jak k monitorování okolí, tak k detekci tělesných parametrů. Takto vytvořené e-čidlo se skládá z externích černo-uhlíkových plynových senzorů. Vodivými polymery jsou čtyři nevodivé polymery ve směsi s černým uhlíkem aby vodivé výplně. Po integraci bylo použito textilní pásky, která vytváří membránu, skrz kterou byl puštěn syntetický vzduch obsahující koncentrace rozpouštědel, následně byla měřena odezva snímače. Celá struktura senzoru a způsob integrace do textilie je zobrazen na obr. 3.3. [34]



Obr. 3.3 Ilustrace výrobního procesu (vlevo), systém integrace čidla do textilie (uprostřed), zvětšený plynový senzor (převzato z [34])

### Senzor životních funkcí

Tyto senzory neumí jen monitorovat tepovou frekvenci a frekvenci dýchání v podobě otřesů, ale monitorují i teplotu člověka a jeho okolí, vlhkost v pracovním oděvu a zároveň vlhkost prostředí, ale i krevní tlak a držení těla. V neposlední řadě tyto senzory dokáží testovat parametry lidské krve či potu. [33]

Tepovou frekvenci lze určit i pomocí IR diody, která také dokáže měřit složení krve. To je možné díky oximetrickým sensorům, kterým neinvazivně měří funkční nasycení krevního hemoglobinu. V porovnání s nenasycenou pohlcuje krev nasycena kyslíkem světlo jiným způsobem. Množství krvi pohlceného světla různých vlnových délek je užito k výpočtu poměru okysličeného hemoglobinu k celkovému množství hemoglobinu v tepenné krvi. [39]

Jeden z prvních objevů byla technologii Smart Fabric, která je založena na senzorech, které jsou vetkány do textilie. Výrobek jako takový byl složen z lehkého pásu, který se dá nosit kolem hrudníku a je schopen poskytnout komplexní biologická data. Tento výrobek nebyl ovšem integrován přímo do oblečení jako takového - byl to pás. [40]

Když se tato technologie při integraci aplikovala přímo do oblečení, vzniklo několik problémů. Tím nejzásadnějším byla nedostatečná dlouhodobá stabilita. Aby mohl tento typ technologie bezchybně fungovat, musel být připoután k osobě tak, aby se přístroj nehýbal a neměnila se kontaktní impedance. Z důvodu pohybu nositele při integraci do oděvu nebylo možno zajistit správnost funkce. [43]

Současné principy skutečné integrace do oblečení jsou založeny na více systémech. Jedním z nich je monitorování srdeční frekvence pomocí sensorických elektrod, které jsou v přímém kontaktu s pokožkou bez použití elektro-gelu. Ty jsou složeny z ocelového drátku, který je následně ovinut kolem bavlněné příže. Tento ocelový drát je nerezavějící, není toxický, má nízký obsah niklu, což nezpůsobuje alergie. Monitoring spočívá v registraci

otřesů, které působí na ocelový drátek. Tyto otřesy jsou následně zaznamenávány akcelerometrem. Zlepšení vodivosti elektrického signálu směrem k elektrodě zajišťují elektrolytické vlastnosti potu. Podobným způsobem je řešeno monitorování dechové frekvence. Monitorování činnosti srdce je možno také pomocí vyšívané EEG elektrody, které jsou zobrazeny na obr. 3.4. [42], [43], [50]



Obr. 3.4 Vyšité EEG elektrody (převzato z [44])

Dalším systémem jsou bezkontaktní senzory integrované do textilie. Jsou realizovány na základě vývoje senzorů na bázi textilií. Touto technologií se odboural problém s dlouhodobou stabilitou. Tyto senzory dokáží bezkontaktní měření EMG a EKG.

V rámci monitorování funkcí lidského těla vyvinuli evropští vědci textilie, které sledují svalové přetížení, a následně zabraňují opakovanému přetížení. Dále se pokračuje ve zkoumání těhotenského pásu, který monitoruje tlukot srdce dítěte. [44]

### **Senzor polohy**

Určení polohy jako takové se všeobecně provádí pomocí GPS systému. Tento systém musí mít pro svou funkčnost možnost přístupu k vysílacímu a přijímacímu signálu družic. Pokud ovšem tento přístup nemá, je GPS systém nefunkční. Doplnkem tohoto systému se stalo sledovací zařízení integrované do podrážky obuvi. Senzor sledovacího zařízení dokáže zaznamenávat rychlost pohybu, vzdálenost, kroky, jak dlouho osoba stojí na místě, případně možný pád. [45]

Ve vývoji jsou snímače polohy integrované do módních doplňků, jako je náramek, který je na obr. 3.5. Tento náramek využívá technologii, která sleduje jak pohyb nositele, tak i pohyb celé skupiny lidí, ve které se nositel pohybuje. Do budoucna je v plánu integrovat toto

zařízení do náušnic, prstenu či pásku. Takto integrované senzory budou sledovat také tepovou frekvenci, dýchání, krevní glukózu, spálené kalorie a kvalitu okolního vzduchu. [46]



Obr. 3.5 Náramek s integrovaným senzorem polohy (převzato z [46])

Senzor pohybu v podobě GPS potřebuje anténu pro vysílání a přijímání polohy. Tyto antény pro inteligentní obleky jsou vyrobeny z e-textilních materiálů. Jsou složeny z tkaniny s tenkou flexibilní kovovou vrstvou a voděodolnými pěnovými foliemi. [47]

### 3.2 Vodivé spojení

Vlastnosti vodivého spojení jsou jasně dané: vysoká elektrická vodivost, rezistivita nabývající hodnot mezi  $10^{-6}$ - $10^{-8}$ , dobrá tepelná vodivost, dobré mechanické a technologické vlastnosti. Elektrické vodiče se rozdělují na dvě skupiny a to na:

**Vodiče 1. druhu** – zde se hovoří o elektronové vodivosti, tyto látky jsou na bázi kovů.

**Vodiče 2. druhu** – zde existuje iontová vodivost, figurují zde roztoky a taveniny iontových solí.

Nejpoužívanějšími materiály jsou:

**Měď** – odolná proti korozi, náchylná na vodíkovou nemoc. Používají se také její slitiny mosazi a bronzy.

**Hliník** – málo pevný, na vzduchu velmi stálý, má 60 % elektrické vodivosti mědi.

**Stříbro** – z kovů má největší elektrickou a tepelnou vodivost, je velmi tvárné, dobře chemicky odolné, ale je drahé.

Dále se může používat zlato, platina atd. Další možností vodivého propojení je pomocí pájecí pasty, která se používá při výrobě desek plošných spojů. Pro vytváření vodivých spojení v inteligentních textiliích se používají následující způsoby spojení: vyšívání, sítotisk. [48]

Z elektrického hlediska je vodivost nejdůležitějším faktorem spojení. Z toho důvodu je elektrický odpor dostatečně nízký, aby tok elektrické energie přenesl data nebo energii jako

takovou. V případě e-textilií jsou vodivá spojení navržena tak, aby vykazovala podobné fyzikální vlastnosti, jako vykazují tradiční textilie. E-textilie jsou i po integraci vodivých spojení ohebné, pružné a po vyprání zachovávají dobrou elektrickou vodivost. V důsledku údržby textilií dochází ke stárnutí, která způsobuje následné zhoršení vodivosti. [49]

### Vyšívání vodivými přízemi

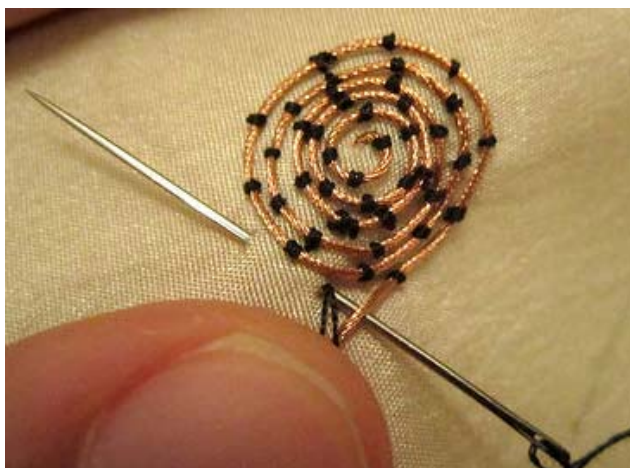
Vyšívání se používá převážně k tradičnímu textilnímu zpracování, kdy se pomocí této metody spojují jednotlivé kusy textilií, případně se vyšívání používá jako ozdobný prvek textilního výrobku. Nyní se tato technologie rozvíjí dál v podobě vytváření vodivého spojení na textiliích. Realizace vodivého spojení je pomocí vodivé příze, která se skládá z textilního vlákna a vodivého vlákna. V případě textilního vlákna se používají převážně syntetická vlákna, jako je polyester nebo polyuretan. Na vodivá vlákna se většinou používá nerezová ocel. Díky tomu, že se tloušťka jednotlivých nití dá jednoduše upravit, vznikají tenké i silné příze, které se dále používají podle četnosti namáhání. Procentuální složení vodivé příze může být například 80 % polyuretanu a 20 % Inox ocelového vlákna [51] Účelem vodivé příze je vytvořit materiál, který bude mít nejlepší kombinaci vodivých a nevodivých vlastností. Pokud má vlákno převážně vodivé vlastnosti, pak ztrácí své typické textilní vlastnosti jako je pružnost a stává se vodivým. Elektrický odpor takovýchto přízí se pohybuje od 0,2441 ohmů na jeden metr. [52]



Obr. 3.6 Směšování textilních a vodivých (červený) vláken (převzato z [53])

Příze se dají vyrobit také jen za použití vodivých vláken. Jako materiál na samostatná vodivá vlákna, bez přidání textilních vláken, je možno použít již zmíněnou nerezovou ocel, stříbro nebo měď. Vyšívání se provádí pomocí přichycování vodivé příze textilní přízí. To se používá z důvodu špatné elasticity vodivé příze a její křehkosti. Vyšívání pouze vodivými vlákny je zobrazeno na obr. 3.7.





Obr. 3.7 Způsob připevňování vodivé přize k textilií (převzato z [54])

### Sítotisk

Technika sítotisku se používá v mnoha odvětvích. V oděvnictví se používá sítotisk k tisknutí barevných potisků. Tisk na textilie je realizovaný pomocí textilních barev. Jelikož je potřeba vytvořit vodivé spojení, vyměnily se textilní barvy za vodivé pasty. Princip je založen na stejném postupu, kdy se nanáší vodivá pasta přes síto s předlohou.

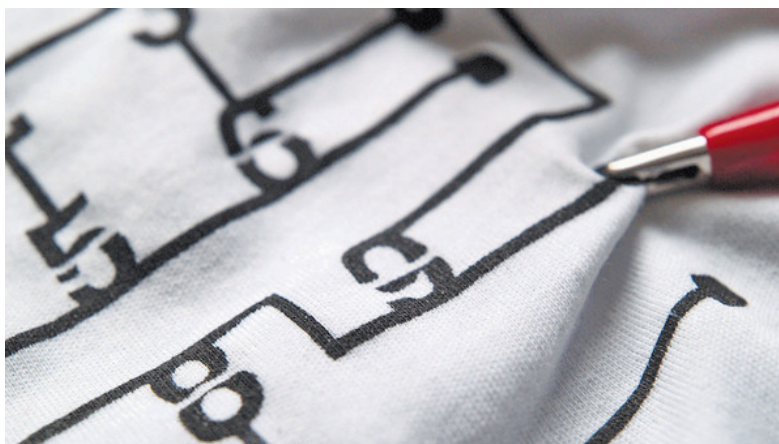
V mikroelektronice se využívá sítotisku pro vytváření vodivé nebo dielektrické sítě pro hybridní integrované obvody. Pasivní síť se realizuje prostřednictvím funkčních past s tixotropními vlastnostmi. Před tiskem dojde k rozmíchání pastové hmoty, tím se zlepšuje tixotropnost pasty, kterou zajišťuje pojivová složka, což znamená, že viskozita celé pasty se mění v závislosti na mechanickém tlaku. Nejnižší viskozity pasty se dosahuje v okamžiku odskoku síta, kdy dochází k přenosu pasty na substrát. Těrka u sítotisku protlačuje pastu sítom. Důležitý parametr je sklon těrky, který je  $83^\circ$ -  $45^\circ$  od vodorovné polohy. Dále se klade důraz na hustotu ok. V neposlední řadě je důležitá orientace a odtrh síta. Odtrh se většinou nastavuje v rozmezí 0,2-1 mm. [55]

Pro aplikaci v e-textiliích je nutné skloubit textilní sítotisk a sítotisk, který se používá v mikroelektronice, při výrobě desek plošných spojů. Z toho důvodu jsou kladeny vysoké nároky i na textilií. Pokud se používá metoda sítotisku ve spojení s e-textiliemi, pak musí být látka, na kterou se tiskne, dostatečně pevná a mít nulovou pružnost. Pro tento typ realizace vodivých cest se tedy používají tkaniny, které minimalizují případné poškození a přerušení vytištěných vodivých cest, které by bylo zapříčiněno špatnými vlastnostmi podkladu.

Je znám lak na bázi vody, do kterého se přimíchává uhlík. Tento lak dokáže vést elektřinu a je neizolovaný. Je pouze v černé barvě. Nanáší se na textilií pomocí techniky sítotisku.



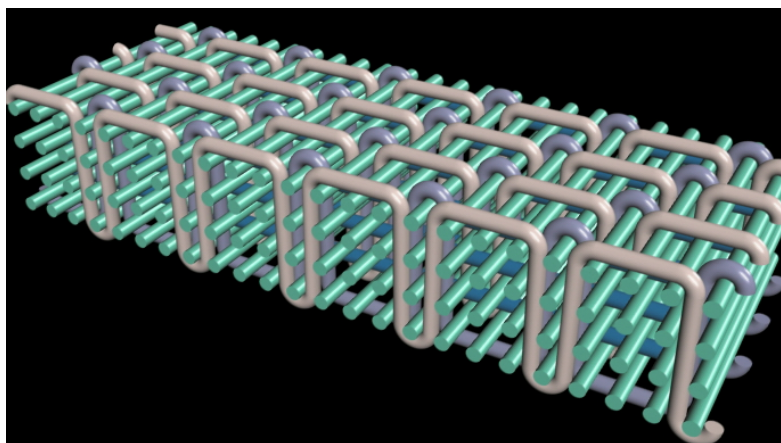
Do budoucna se uvažuje o použití tohoto laku na vymalování vodivé zdi, ke které není potřeba vypínače. [56]



Obr. 3.8 Použití laku na bázi vody s přimíchaným křemíkem (převzato z [56])

### Vodivé tkaniny

K vytvoření vodivých tkanin je zapotřebí vodivých přízí, které jsou popsány ve výše zmiňované kapitole 3.2.1. Vodivá textilie má celý svůj povrch vodivý, což je největší rozdíl oproti vyšívání jednotlivých vodivých spojení. Struktura textilie se rozděluje na osnovní a útkové nitě. Osnovní nitě jsou celé z textilních vláken. Útkové nitě jsou tvořeny z vodivých přízí, ve kterých je z větší části podíl textilních vláken. Vodivá příze je pouze v útkové části tkaniny z důvodu většího namáhání osnovy. Toto namáhání by zapříčinilo rychlejší ztrátu vodivých vlastností příze. Do těchto tkanin lze integrovat i LED diody. Na obr. 3.9 je zobrazen 3D model tkané textilie. [57]



Obr. 3.9 3D model tkané textilie s vodivou přízí (převzato z [57])

### 3.3 Kontaktování

Kontaktování je označení pro spojení. Toto spojení umožňuje přenos elektrického proudu či signálu. Mezi důležité parametry spojů patří elektrická vodivost, proudová hustota, v neposlední řadě i spolehlivost a životnost. Kromě dodržení těchto parametrů je při výrobě spojů důležité splnit i další kritéria. Mezi nimi figuruje technologická slučitelnost a rozměrové umístění, ekologická akceptovatelnost, zachování integrity signálu, vykazování minimálních ztrát, splnění požadavků na indukčnost, kapacitu, stínění a mechanické vlastnosti. Elektrické spoje jsou dotykové, ovíjené, zařezávané, svařované, pájené, lepené a realizované pomocí konektorů. [58], [59]

Elektricky vodivé spoje jsou nejčastěji součástí elektrických zařízení. Obecně lze způsoby realizace spojů rozdělit na mechanické a metalurgické.

**Mechanické** – spojení realizované pomocí různých typů pérových kontaktů, různými konektory.

**Metalurgické** – vytvořené svařováním a pájením. [59]

#### Pájení

Pájení je proces, při kterém jsou dvě nebo více částí spojeny roztaveným kovem pomocí pájky. Tento roztavený kov má nižší teplotu tavení než spojované části. V elektrotechnice se užívá tvrdého a měkkého pájení. Rozdíl mezi těmito dvěma typy pájení je v teplotě, hraniční hodnota je 500 °C. Pro vodivá spojení prováděná pájením se užívá výhradně měkkého pájení, na které se používají měkké pájky. To jsou slitiny, které vyhovují svými elektrickými a mechanickými vlastnostmi. Konkrétně se používá SnPb. V dnešní době probíhá z ekologických důvodů nahrazování pájek s obsahem olova. Vznikly náhrady těchto pájek v podobě bezolovnatých pájek a vodivých lepidel. [59]

Pro vytvoření kvalitního pájeného spoje je potřeba dodržet následující podmínky:

**Smáčivost** – schopnost povrchu podporovat vytváření slitiny na rozhraní základního materiálu a pájky, následně vytvořit mechanicky odolný spoj s nízkým elektrickým odporem.

**Teplotní odolnost** – vývodů, připojovacích plošek, desek plošného spoje a pouzder součástek je potřebná v takové výši, aby po dobu potřebnou pro zapájení nedošlo k poškození součástky ani desky plošných spojů. [59]

Pájení se v elektronice provádí třemi základními způsoby a to ruční páječkou, pájením vlnou a pájením přetavením. Pro aplikaci pájení v IT je možno použít jen pájení ruční

páječkou z důvodu tepelných nároků na proces pájení. Samotná teplota se může pohybovat až kolem 400 °C. U bezolovnatých pájek se teplota snížila na 195 °C až 227 °C. A i tak hrozí riziko propálení textilie, jak je možno vidět na obr. 3.10. [59], [60]



Obr. 3.10 Pájení ruční páječkou (převzato z [60])

Možností jak se tomuto nebezpečí propálení samotné vodivé textilie vyhnout je použít pájení přímo na samotné vodivé příze, ve kterých nejsou obsažené textilní příze. Toto měděné vodivé vlákno v podobě příze je pak možno připájet k dalším elektrotechnickým součástkám. Toto měděné vlákno má daleko větší pružnost než měděný drát.



Obr. 3.11 Měděné vlákno spojené s elektrotechnickými součástkami pomocí pájení (převzato z [60])

### Elektricky vodivá lepidla

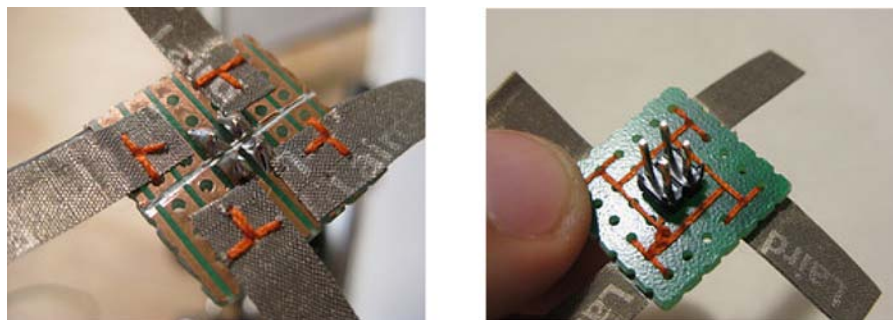
Lepidla, která jsou na bázi pryskyřic, jsou výrazně stabilnější než pájky. Nevodivá epoxidová pryskyřice slouží jako základní hmota. Vodivost je způsobena kovovými plnidly. Kovové částičky stříbra a zlata, které jsou součástí plnidla, jsou obvykle v 60% koncentraci, aby se vzájemně dotýkaly a zajišťovaly požadovanou vodivost. Po nanesení tohoto lepidla následuje vytvrzení. To se provádí v konvenční peci, infračerveným nebo ultrafialovým zářením, nebo horkým vzduchem. K dobrému vytvrzení potřebují lepidla teplotu v rozmezí 80 °C až 180 °C po dobu 30-180 minut. Před aplikací lepidla musí být plochy pro aplikaci velmi dobře očištěny, a to chemicky i mechanicky z důvodu dosažení dostatečné kvality elektrických a mechanických vlastností spojů. Samotnou aplikaci je třeba provést

v přiměřeném množství. Elektricky vodivá lepidla mají jednu významnou výhodu oproti pájkám. Lepidlo je možno připravit s izotropní a anizotropní vodivostí. [59]

**Izotropní vodivost** – elektrická vodivost je stejná ve všech směrech. Tato vodivost se používá u pájek. Tato lepidla se používají při montáži jednoduchých součástí, jako jsou rezistory, kapacitory. Dále se lepidla s izotropní vodivostí používají na deskách plošných spojů pro připojení vývodů integrovaných obvodů na připojovací plošky na desce plošného spoje, není-li rozteč vývodů příliš malá. Základní vazební složku tvoří nejčastěji epoxidové pryskyřice. [59]

**Anizotropní vodivost** – lepidlo vykazuje vysokou elektrickou vodivost jen v jednom směru a v ostatních směrech se chová jako izolant. Toho se dosáhne pomocí poměrně nízké koncentrace vodivých částic v plnivu, která se obvykle pohybuje v rozmezí 25-30 %. Toho je potřeba k tomu, aby se vodivé částičky vzájemně dotýkaly jen tak, aby nevytvořily souvislou vodivou síť. Dosažení vodivosti jen v jednom směru se docílí pomocí stlačení v požadovaném směru. Základní vazební složkou lepidel s anizotropní vodivostí bývají většinou termoplastické pryskyřice. [59]

Elektricky vodivá lepidla se mohou dávkovat následujícími základními způsoby: sítotiskem, šablonovým tiskem, hroty nebo dávkovačem. V oblasti IT se používají vodivé pásy, na kterých je naneseno elektricky vodivé lepidlo. Tyto pásy se poté mohou spojovat s další částí vodivého spojení. [59], [60]

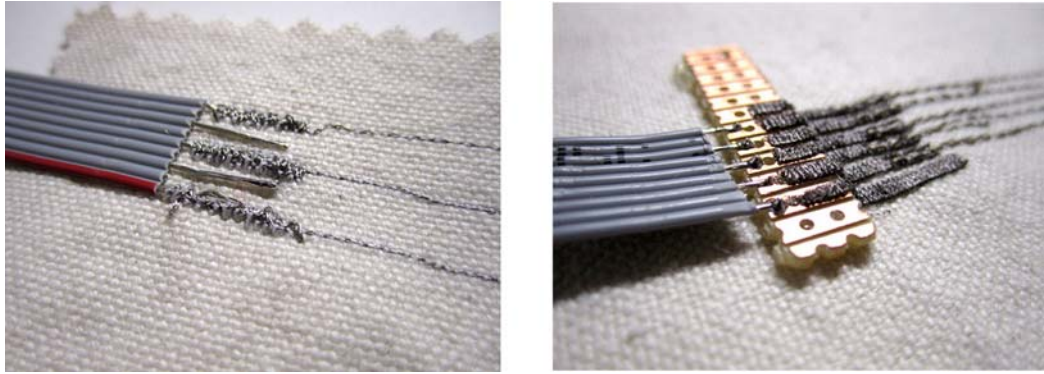


Obr. 3.12 Požití elektricky vodivého lepidla na kontaktování v IT (převzato z [60])

### Textilní způsoby kontaktování

Textilní spojovací techniky jsou rozličné. Ve většině případů se používá šití, které je realizované různými druhy stehů. Vodivé spojení šitím lze vytvořit díky vodivým přízím, to je názorně ukázáno na obr. 3.13. K tomuto druhu spojení lze ještě přidat metodu pájení pro zlepšení pevnosti a vodivosti. Přidáním pájky na takovýto spoj se sníží elektrický odpor ve spoji. Tato kombinace se ovšem nedá použít všude z důvodu poškození textilie. [60]





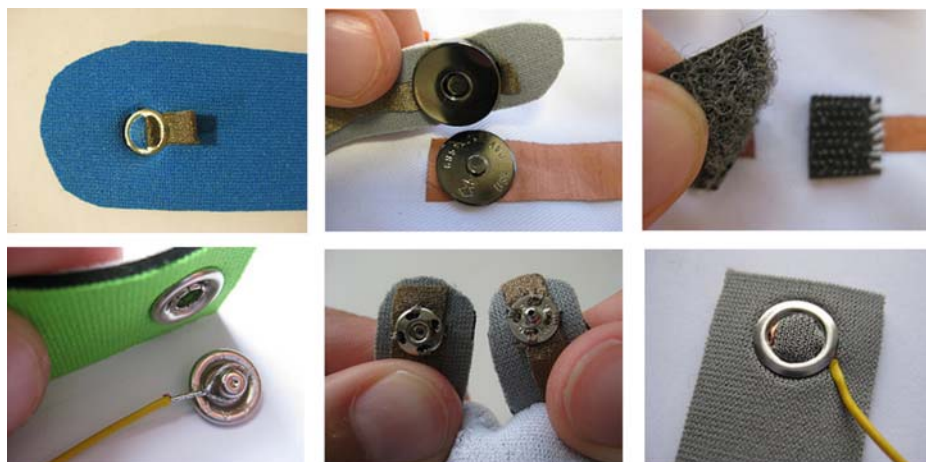
Obr. 3.13 Kontaktování šitím s možností použití pájení (převzato z [60])

Jednou z nejspolehlivějších metod kontaktování je pomocí vodivého závitu, kdy je třeba spojit měkkou část s tvrdou. Jinými slovy lze toto zařízení dát tam, kde se spojuje tkanina s elektrotechnickými součástkami. Tato metoda je náročná na čas šití. Po přišití je vhodné toto spojení chránit pomocí pružného lepidla či silikonem. [60]



Obr. 3.14 Vodivý závit (převzato z [60])

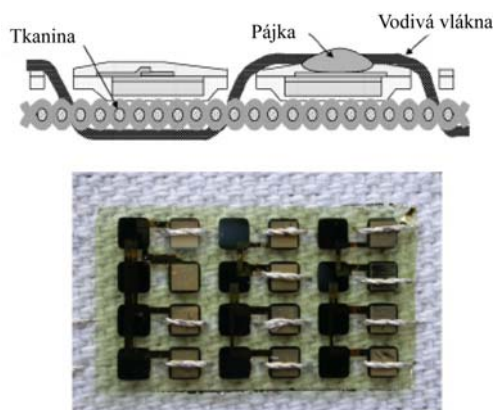
Jednou z dalších možností je použití textilních aplikací z kovu. Tyto aplikace mají v tradiční textilní výrobě stejný úkol jako při použití v IT, tedy kontaktování. Jen s tím rozdílem, že v tradiční výrobě textilních výrobků nejsou vodivé. V dnešní době se například používá vodivý suchý zip, kontaktování pomocí magnetů, kovové aplikace, patentky a druky, mezi které se následně vloží elektrický vodič. Všechny tyto textilní prostředky je možno vidět na obr. 3.15.



Obr. 3.15 Textilní způsoby kontaktování (převzato z [60])

### 3.4 Řídící jednotka

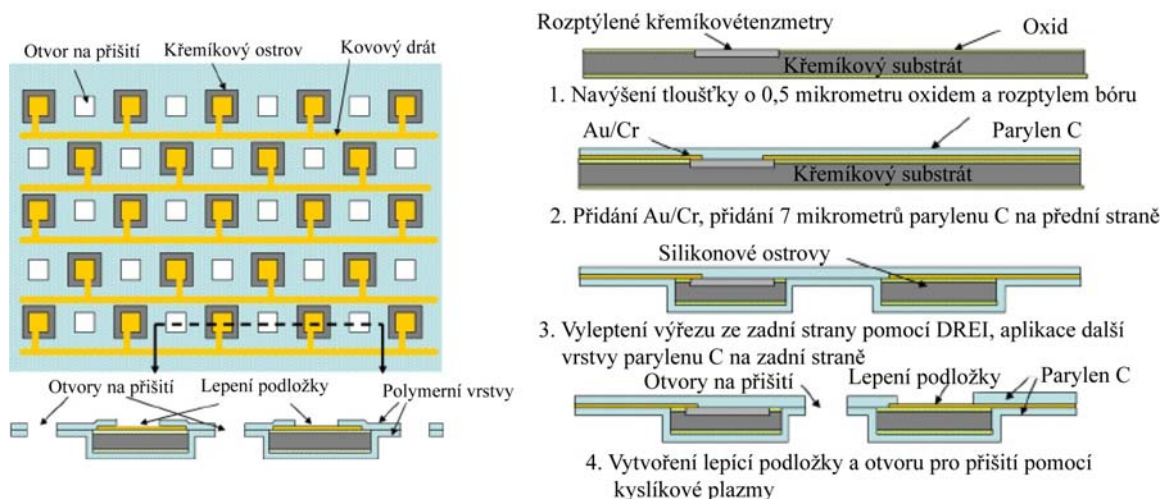
Řídící jednotka pro e-textilie v sobě obsahuje nejčastěji přijímač, vysílač, zesilovač, antény, tištěné spoje, mikroprocesor, modul Bluetooth a baterie [62]. Tyto jednotlivé komponenty plní svůj účel v rozdílných elektronických přístrojích, kde na ně nejsou kladeny takové nároky, jako jsou kladeny při integraci do textilních výrobků. V rámci dostatečné integrace do textilie vzniká s řídicí jednotkou problém. Materiály, které jsou použity pro výrobu komponentů pro řídicí jednotku, nevykazují dostatečnou flexibilitu a pružnost. Tento problém se vyřešil pomocí technologie na bázi silikonu, která se dále rozvíjela do podoby pružné kůže [63].



Obr. 3.16 Silikonová kůže (převzato z [64])

Nejdůležitější výhodou této technologie je kompatibilita se stávající MEMS a komunikační technologií. Tyto snímače mohou být vyrobeny na křemíkové desky před vytvořením pružné kůže. Díky vynálezu pružné kůže se dá více využít technologií na bázi křemíku. Prvním krokem ve výrobě kůže je natření polymerové vrstvy na přední stranu štítku. Poté je polymerové vrstva navzorkována, následuje osazení kovových plátků.

V dalším kroku je silikonový štítek zeslaben a zezadu vleptán skrz. Toto vyleptání vytvoří pole silikonových ostrůvků. Je realizováno pomocí hloubkového reaktivního iontového leptání. Nakonec je zadní strana polymeru natřena Parylenem C z důvodu zapouzdření silikonových ostrůvků. Postup výroby silikonové kůže je zobrazen na obr. 3.17. Předběžné zkoušky vykazaly perfektní trvanlivost prototypů. Byla zkoušena především flexibilita. Kůži lze bez poškození ohnout přibližně na jeden centimetr. Případná údržba v podobě praní tuto silikonovou kůži také nepoškodí. [64]



Obr. 3.17 Postup výroby silikonové kůže (převzato z [64])

### 3.5 Zdroj energie

Současné řešení zdroje energie pro e-textilie je nejčastěji realizováno prostřednictvím lithium-iontové baterie. Tento způsob zajištění napájení pro elektrická zařízení je známý již od roku 1912, kdy s nimi experimentoval G. N. Lewis. Typ tehdejšího lithiového článku neměl schopnost se nabíjet. Od roku 1970 byla tato technologie komerčně dostupná. V osmdesátých letech následoval vývoj nabíjitelných článků. Byl však neúspěšný, neboť články byly nebezpečné a snadno explodovaly. Obrat ve vývoji nastal teprve, když bylo chemicky velmi nestabilní kovové lithium nahrazeno kysličníkem lithia a kobaltu. V praxi je dnes možno se setkat se dvěma typy Li-ion akumulátorů, které se liší provedením záporné elektrody. V obou je přídavek uhlíku a to buď v mikrokrystalické formě, anebo ve formě grafitu. Tyto lithium-iontové články mají v současné době největší možnou dobíjecí účinnost, která se pohybuje kolem 80-90 %. Využití Li-ion baterií je považováno jako primární způsob zdroje energie. [65]

Sekundární napájení e-textilií je v podobě mikroelektronických zdrojů. Na energii se mohou převádět otřesy z chůze a energie, která se při chůzi vytváří, akustický tlak či případně

změny teploty mezi lidským tělem a okolím. Zde mluvíme o přímém napájení. O nich se začalo uvažovat proto, že se lithium-iontové baterie mohou vybit. Mikroelektronické zdroje už dokáží vyrobit dostatečné množství energie pro některé systémy. Jelikož tyto systémy potřebují méně energie než v minulosti. V budoucnosti tyto zdroje úplně nahradí Li-ion baterie. A to i přes to, že tyto technologie mají mnohem menší účinnost než klasické baterie. Existují ale také systémy, kde tato energie z mikroelektronických zdrojů nevystačí. Zde budou stále používat Li-ion baterie.

V neposlední řadě je možno využít i dalších principů získání energie, jako je solární generátor, magneticko-dynamický efekt, piezo-dynamický efekt a elektromagnetické vlny.

[42]



## Závěr

Cílem mé práce na téma „Inteligentní textilie“, bylo přehledně podat informace o inteligentních textiliích, jejich vlastnostech, formách zpracování a technologických postupech.

Úkolem bylo nadefinovat elektronické systémy se zaměřením na senzory, které jsou vhodné pro integraci do textilií. Dalším požadavkem bylo popsání a navržení způsobu kontaktování elektronických systémů na inteligentní textilie. Tyto úkoly jsou splněny v rámci třetí kapitoly této práce. Je zde definováno konkrétní řešení použitých elektronických systémů se zaměřením na senzory a způsobu kontaktování.

Důvodem pro vytvoření této práce bylo rychlé rozvíjení problematiky. Stěžejním dokumentem odborné literatury pro sepsání této bakalářské práce byla výzkumná práce pana Ing. Vojtěcha Heřmanského, CSc. [33], ze které nebylo možné striktně vycházet. Proto bylo potřebné na problematiku nahlížet z globálního hlediska, především pomocí elektronických informačních zdrojů.

Přínosem této práce je především zhodnocení a shrnutí nejnovějších požadavků v této oblasti a naznačení možného budoucího vývoje.

Na základě dvacetiletého rozvoje inteligentních textilií je možno předpokládat i další vývoj v této oblasti, který bude pokračovat minimálně stejnou rychlostí. Stejně očekávání se týká i e-textilií, kde použité technologie budou směřovat ke snížení poruchovosti a následně i zvýšení spolehlivosti. To vše je možné uskutečnit díky rychle se rozvíjející vědě a výzkumu.

Nejvíce objevů pochází z NASA. První prototypy inteligentních textilií využívá kosmonautika a armáda. Dále následují záchranné složky. Do budoucna tomu nebude jinak. Přednostně budou nejnovější objevy využívat právě tyto instituce.

Nejvyšší prioritu má lékařství. Hovoří se zde například o vytvoření textilie, která bude uvolňovat léky přímo do pokožky člověka. Pro monitorování se budou používat bezdrátové senzory monitorující činnost srdce a dýchání. Využití této technologie bude možné v běžném životě, kdy budou tyto senzory integrované do tkanin. Při potížích se automatiky přivolá lékařská pomoc. Dále předpokládám, že běžně používané přístroje budou začleněny do textilie v podobě flexibilních modulů s možností přemísťování do všech druhů oděvů.

Využití inteligentních textilií je možno použít i při promítání. Samotné plátno bude promítat díky integrovaným vláknům. Tyto textilní displeje budou dosahovat velkých rozměrů a vysoké kvality obrazu. V menších velikostech budou tyto displeje dotykové.

Tato technologie má v budoucnosti za úkol ulehčit lidstvu co nejvíce vykonávané činnosti a tím zvýšit komfort života a případně ho pomocí těchto technologií i prodloužit.

Domnívám se, že mé výsledky tato veškerá fakta dokazují a věřím, že i nadále se bude pokračovat ve zpracování této problematiky.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] SODOMKA. Současný stav v oboru inteligentních a interaktivních textilií [online]. 2006, 14. 2. 2007 [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: [www.mateo.ntc.zcu.cz/doc/Stav.doc](http://www.mateo.ntc.zcu.cz/doc/Stav.doc)
- [2] KOVAČIČ. Inteligentní textilie [online]. 2005, 12. 1. 2005 [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: [http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/inteligentni\\_textilie.pdf](http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/inteligentni_textilie.pdf)
- [3] PUSINOVÁ. Inteligentní textilie [online]. 2013, 18. 4. 2013 [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: [pakostova.pellican.cz/clanky/intel.doc](http://pakostova.pellican.cz/clanky/intel.doc)
- [4] ONDRUCH, Pavel. Inteligentní materiály aneb smart materials [online]. 2011, 28. 11. 2011 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/inteligentni-materialy-aneb-smart-materials>
- [5] INURU. Nové technologie: Co jsou Inteligentní materiály aneb smart materials [online]. 2012, 17. 10. 2012 [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <http://www.inuru.com/index.php/nove-zdroje/technologie/599-iteligentni-materialy-smart-materials>
- [6] W. Bendkowska, J. Tysiak, L. Grabowski, Int J. Clothing Science and Technology, 2005, 17 (3-4), 209-214.
- [7] ING. ŽEMLOVÁ, Tereza, Ivo ING. JIŘÍČEK, CSC. a Václav PROF. ING. JANDA, CSC. Materiály pro akumulaci tepla ze spalování biomasy [online]. 2010, 30. 8. 2010 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla/6740-materialy-pro-akumulaci-tepla-ze-spalovani-biomasy>
- [8] ZELOVÁ, Kateřina. HI TECH oděvy [online]. 2011, 4. 1. 2011 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: [http://www.kod.tul.cz/predmety/VTK/prednasky/hi\\_tech%20\[Režim%20kompatibility\].pdf](http://www.kod.tul.cz/predmety/VTK/prednasky/hi_tech%20[Režim%20kompatibility].pdf)
- [9] KAŠÍK, Ivan a Pavel PETERKA. ÚSTAV FTONIKY A ALEKTRONIKY VA ČR. Optická vlákna -páteř moderních omunikací [online]. 2011 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: [http://www.ufe.cz/~peterka/opera/11\\_Kasik\\_Peterka\\_CCF\\_opticka\\_vlakna.pdf](http://www.ufe.cz/~peterka/opera/11_Kasik_Peterka_CCF_opticka_vlakna.pdf)
- [10] ABUŠINOV, Alexandr. Biobaterie z papíru a soli [online]. 2009, 06.12.2009 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/printclanek/voda/79505/>
- [11] DRAŠAROVÁ, Jana. Vysokofunkční textilie: Technologie [online]. 2009, 8. 4. 2009 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: [http://www.ft.tul.cz/depart/kde/studium/predmetyPRILOHY/9\\_technologie\\_SMART0.pdf](http://www.ft.tul.cz/depart/kde/studium/predmetyPRILOHY/9_technologie_SMART0.pdf)
- [12] PH.D. LUBASOVÁ, Daniela. Biodegradabilní materiály [online]. 2011, 2. 7. 2011 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <https://int.cxi.tul.cz/cs/Bidegradabilita>
- [13] HAPPY MATERIALS, s.r.o. Newsletter no.9 - Advanced materiály: Textilie s tvarovou pamětí [online]. 2012 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: [http://img.mailone.cz/\\_server/email/happymat\\_50c700fb1ad96/50c7021301b76.jpg](http://img.mailone.cz/_server/email/happymat_50c700fb1ad96/50c7021301b76.jpg)
- [14] Smart & intelligent textiles [online]. 2008, 12. 2. 2008 [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: <http://www.indiantextilejournal.com/articles/FAdetails.asp?id=852>
- [15] BC. ZEMAN, Vojtěch. Kinetika fotochromních reakcí v tenkých polymerních filmech [online]. Brno, 2008 [cit. 2013-05-04]. ISBN FCH-DIP0149/2007. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/13573/Zeman-DP.pdf?sequence=1>. Diplomová práce. vysokíe učení technické v Brně. Vedoucí práce Mgr. Martin Vala, Ph.D.
- [16] GREGORY, Richard V. Dynamic Color Change Chameleon Fiber Systems [online]. 2004, 5. 10. 2004 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://www.ntcresearch.org/pdf-rpts/AnRp04/M01-CL07-A4.pdf>
- [17] PÁNEK, Ondřej. Termochromní pigmenty na bázi molekulárních komplexů [online]. 2012, 1. 6.2012 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/termochromni-pigmenty-na-bazi-molekularnich-komplexu>
- [18] VŠETEČKOVÁ. Smar materiUoly vUlce info [online]. 2011, 23. 2. 2011 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: [http://www.happymaterials.com/imgs/articles/192-1\\_Smart\\_materiUoly\\_vUlce\\_info.pdf](http://www.happymaterials.com/imgs/articles/192-1_Smart_materiUoly_vUlce_info.pdf)
- [19] DIAN, Juraj a Ivan JELÍNEK. VIDITELNÁ FOTOLUMINISCENCE MATERIÁLŮ NA BÁZI KŘEMÍKU [online]. 2009, 17. 2. 2010 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2010\\_08\\_770-777.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2010_08_770-777.pdf)
- [20] DOLEŽAL, Ivan. Výroba elektroluminiscenčních plakátů [online]. 2011, 12. 4. 2011 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011\\_04\\_778-783.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011_04_778-783.pdf)

- 2013-05-11]. Dostupné z: [http://www.svettisku.cz/buxus/generate\\_page.php?page\\_id=6473](http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=6473)
- [21] BERAN. ČESKÁ TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA PRO TEXTIL. Budoucnost je v textilu...: ..textil je budoucnost! [online]. 2010, 21. 2. 2010 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://www.ctpt.cz/dwn.php?ID=1164>
- [22] BC. NOVOTNÝ, Tomáš. VYUŽITÍ OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ REALIZACÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY DRÁSOV [online]. Brno, 2009 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/11598/Diplomová%20práce%20veřejná.pdf?sequence=1>. Diplomová. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. JIRÍ KRŽÍŽ, Ph.D.
- [23] FICEK, Tomáš. Vliv proměnné intenzity na účinnost fotovoltaického panelu [online]. Brno, 2012 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: [http://is.muni.cz/th/252914/pedf\\_b/Bakalarska\\_prace.txt](http://is.muni.cz/th/252914/pedf_b/Bakalarska_prace.txt). Bakalářská. MASARYKOVA UNIVERZITA. Vedoucí práce doc. RNDr. Petr Sládek, CSc.
- [24] Solar Handbag - Kabelka, která vám dobije mobil [online]. 2013, 12. 3. 2013 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: [http://www.happymaterials.com/imgs/articles/262-2\\_Foto\\_Diffus\\_Design\\_Lisbeth\\_Holten\\_main.jpg](http://www.happymaterials.com/imgs/articles/262-2_Foto_Diffus_Design_Lisbeth_Holten_main.jpg)
- [25] Organická a tištěná elektronika dobývají svět [online]. 2011, 24. 3. 2011 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/42991.pdf>
- [26] BRZEZIŃSKI, Stefan, Grażyna MALINOWSKA, Teresa NOWAK, Hubert SCHMIDT, Danuta MARCINKOWSKA a Agnieszka KALETA. Structure and Properties of Microporous Polyurethane Membranes Designed for Textile-Polymeric Composite Systems [online]. 2005, 15. 11. 2005 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://fibtex.lodz.pl/archive.htm>
- [27] Jak funguje naše oblečení [online]. 2013 [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: <http://www.gerbing.cz/show.php?show=124>
- [28] ROGERS, Dan. Smart textile survival kit to be unveiled [online]. 2010, 26. 5. 2010 [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: <http://www.plusplasticelectronics.com/SmartFabricsTextiles/smart-textile-survival-kit-to-be-unveiled-14098.aspx>
- [29] JANG, Clare. Kolon Glotech to show 'Heatex' the self-heating smart fiber [online]. 2012, 8. 3. 2012 [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: <http://us.aving.net/news/view.php?articleId=241738>
- [30] Termoprádlo - funkční prádlo [online]. 2007 [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: <http://www.velitec.com/cs/termopradlo/co-je-termopradlo>
- [31] LACKOVÁ, Kateřina. PRŮZKUM TRHU TERMOPRÁDLA PRO HOROLEZCE [online]. Liberec, 2009 [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: Termoprádlo - funkční prádlo [online]. 2007 [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: <http://www.velitec.com/cs/termopradlo/co-je-termopradlo>. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní. Vedoucí práce Ing. Hana Štočková.
- [32] ORLÍKOVÁ, Soňa. Inteligentní senzory [online]. 2003, 4. 3. 2003 [cit. 2013-05-26]. Dostupné z: <http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CDYQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.roznovskastredni.cz%2Fdwnl%2Fpel2003%2F1%2FOrlikova.ppt&ei=pV-iUZuaO9OGhQfviIGwBg&usq=AFQjCNH8-vb0Pq5PDt69St3sm0C5ZU2IWw&sig2=p2htlQ6BJJfc8Ju2F6Gow&bvm=bv.47008514,d.ZG4>
- [33] ING. HEŘMANSKÝ, CSC., Vojtěch. EUREKA - SENSIT: Senzorové systémy pro inteligentní textilie. Blatná, 2007. ISBN OE222. Výzkumná zpráva. Západočeská univerzita.
- [34] Měření vlhkosti vzduchu [online]. 2006, 27. 2. 2006 [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/cviceni/Navody%20na%20cviceni/07.Mereni%20vlhkosti.pdf>
- [35] ČERMÁK, Jan. SNÍMAČ VLHKOSTI VZDUCHU [online]. Brno, 2008 [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=7844](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=7844). Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce doc. Ing. PETR BENEŠ, Ph.D.
- [36] PROF. RNDR. OPEKAR, CSC., František. VŠCHT PRAHA. Senzory: 14. SENZORY PLYNNÝCH LÁTEK [online]. 2007 [cit. 2013-05-27]. ISBN 978-80-86238-20-3. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/anl/paci/PAC/prezentace/senzory.pdf>

- [37] DOC. VRŇATA, Matin. Polovodičové plynové senzory [online]. 2011, 14. 5. 2011 [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: [http://measure.feld.cvut.cz/system/files/files/cs/vyuka/predmety/A3M38MSZ/chem\\_senz\\_Vrnata.pdf](http://measure.feld.cvut.cz/system/files/files/cs/vyuka/predmety/A3M38MSZ/chem_senz_Vrnata.pdf)
- [38] KINKELDEI, T. Kinkeldei, N. MÜNZENRIEDER a G. TRÖSTER. An electronic nose on flexible substrates integrated into a smart textile [online]. 2012 [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925400512008374>
- [39] RIPKA, P. Bezpečnostní aplikace senzorů [online]. 2010 [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: [http://measure.feld.cvut.cz/system/files/files/cs/vyuka/predmety/A5M38SZS/06\\_bezpecnostni%20aplikace\\_IB.pdf](http://measure.feld.cvut.cz/system/files/files/cs/vyuka/predmety/A5M38SZS/06_bezpecnostni%20aplikace_IB.pdf)
- [40] ŠEVČÍK, David. Současný vývoj v oblasti inteligentních obleků (Recent developments in smart suits) [online]. 2011, 26. 8. 2011 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=11358>
- [41] Zypher ECHO BioHarness 3 BioModule & Strap. 2013. Dostupné z: [http://www.treckamerica.com/?\\_escaped\\_fragment\\_=product/zoom14v1/320483421/zypher-echo-bioharness-3-biomodule-%26-strap](http://www.treckamerica.com/?_escaped_fragment_=product/zoom14v1/320483421/zypher-echo-bioharness-3-biomodule-%26-strap)
- [42] ING. DRAŠAROVÁ PH.D., Jana. Co umí textil? [online]. 2007 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/clutex/data/HOSPIMedica/01Drasarova.pdf>
- [43] ROTSCH, C. TITV. The Institute for Special Textiles and flexible Materials [online]. 2012, 13. 6. 2012 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: [http://www.b2match.eu/smart-texweimar2012/system/files/TITV\\_and\\_Textile\\_Solutions\\_medicine\\_Handout.pdf](http://www.b2match.eu/smart-texweimar2012/system/files/TITV_and_Textile_Solutions_medicine_Handout.pdf)
- [44] Smart Fabrics Make Clever (Medical) Clothing [online]. 2008, 23. 10. 2008 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://www.sciencedaily.com/releases/2008/10/081021190640.htm>
- [45] SCHMIDT, Michael a Joachim WINTER. Určování polohy kolejových vozidel pomocí satelitů pro průmyslové dráhy [online]. 2003 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://edice.cd.cz/edice/>
- [46] TORGAN, PH.D., Carol. Self-Tracking Meets Ready-To-Wear: Make Room in Your Closet for Smart Clothes [online]. 2011, 6. 12. 2011 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://www.caroltorgan.com/self-tracking-smart-clothes/>
- [47] IEEE/ION PLANS 2012 Session B1: Receiver and Antenna Technology 1: E-textile Microstrip Patch Antennas for GPS [online]. 2012 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://www.plansconference.org/abstract.cfm?meetingID=36&pid=93&t=B&s=1>
- [48] VIK, Robert. Elektronické materiály a prostředí [online]. 2005, 12. 2. 2009 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: [https://portal.zcu.cz/wps/PA\\_Courseware/DownloadDokumentu?id=20712](https://portal.zcu.cz/wps/PA_Courseware/DownloadDokumentu?id=20712)
- [49] E-Textiles For Wearability: Review On Electrical And Mechanical Properties: Part two of a two-part paper on wearable electronic textiles [online]. 2010 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: [http://www.textileworld.com/Articles/2010/June/Web\\_Issue/E-Textiles.html](http://www.textileworld.com/Articles/2010/June/Web_Issue/E-Textiles.html)
- [50] DRAŠAROVÁ, Jana. Cesty ke SMART textiliím II [online]. 2009, 8. 4. 2009 [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: [http://www.ft.tul.cz/depart/kde/studium/predmetyPRILOHY/10\\_electro\\_SMART0.pdf](http://www.ft.tul.cz/depart/kde/studium/predmetyPRILOHY/10_electro_SMART0.pdf)
- [51] Conductive Yarns [online]. 2009 [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: <http://www.kobakant.at/DIY/?p=1978>
- [52] E-Textiles For Wearability: Review On Electrical And Mechanical Properties [online]. 2010 [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: [http://www.textileworld.com/Articles/2010/June/Web\\_Issue/E-Textiles.html](http://www.textileworld.com/Articles/2010/June/Web_Issue/E-Textiles.html)
- [53] Nonwovens / Technical Textiles [online]. 2010 [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: [http://www.textileworld.com/articles/2010/april/issue/etextiles\\_feature.html](http://www.textileworld.com/articles/2010/april/issue/etextiles_feature.html)
- [54] Embroidered Fabric Speaker [online]. 2013 [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: <http://www.instructables.com/files/deriv/FYX/M2VQ/H9T4QY4I/FYXM2VQH9T4QY4I.LA.RGE.jpg>
- [55] POLEDNÍK, Tomáš. VODIVÉ VRSTVY REALIZOVANÉ NA NÍZKOTEPLTNÍ KERAMICE [online]. Brno, 2012 [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: [https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/12501/hlavni\\_dokument.pdf?sequence=1](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/12501/hlavni_dokument.pdf?sequence=1). Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. PETR KOSINA.

- [56] HEATHCOTE, Edwin. Bare Conductive design studio's work is based on one sparky idea [online]. 2012 [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: <http://www.ft.com/intl/cms/s/2/88b73e40-19f3-11e2-a179-00144feabdc0.html#axzz2UiB3TPdt>
- [57] Weaving Conductive Fabric [online]. 2012 [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: <http://www.kobakant.at/DIY/?p=3649>
- [58] SKOČIL. Elektrické spoje [online]. 2012, 11. 11. 2012 [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: [https://portal.zcu.cz/wps/PA\\_Courseware/DownloadDokumentu?id=78402](https://portal.zcu.cz/wps/PA_Courseware/DownloadDokumentu?id=78402)
- [59] 8a-Kontrola pájených spojů [online]. 2008, 30. 5. 2013 [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: [http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/bmts/08a\\_propojovani\\_v\\_elektronice.pdf](http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/bmts/08a_propojovani_v_elektronice.pdf)
- [60] Hard/Soft Connections [online]. 2009 [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: <http://www.kobakant.at/DIY/?p=1272>
- [61] Obecné rozdělení senzorů [online]. 2002 [cit. 2013-05-31]. Dostupné z: [http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s\\_1\\_2.htm](http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_1_2.htm)
- [62] E-Nanoflex Sensor System – physiological data textile sensor [online]. 2012 [cit. 2013-06-01]. Dostupné z: <http://www.robaid.com/bionics/e-nanoflex-sensor-system-physiological-data-textile-sensor.htm>
- [63] Intelligent textiles [online]. 2013 [cit. 2013-06-01]. Dostupné z: <http://www.ece.eng.wayne.edu/~yxu/doc/researches/Intelligent%20textiles.htm>
- [64] KATRAGADDA, Rakesh B. a Yong XU. A novel intelligent textile technology based on silicon flexible skins [online]. USA, 2008 [cit. 2013-06-01]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924424707005912>
- [65] NEJEDLÝ, Libor. STUDIUM VLIVU PŘÍMESOVÝCH LÁTEK NA VLASTNOSTI ELEKTRODOVÝCH MATERIÁLU LITHNO-IONTOVÝCH BATERIÍ [online]. Brno, 2009 [cit. 2013-06-01]. Dostupné z: [https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/3515/Bakalářská\\_práce-Libor\\_Nejedlý.pdf?sequence=1](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/3515/Bakalářská_práce-Libor_Nejedlý.pdf?sequence=1). Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce doc.Ing. Marie Sedlářiková, CSc.