

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Inteligentní a žáruvzdorné textilie a možnosti jejich využití**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan KRASINSKÝ**  
Osobní číslo: **E11N0023K**  
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Intelligentní a žáruvzdorné textilie a možnosti jejich využití**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Charakterizujte vlastnosti inteligentních textilií.
2. Uveďte materiálový základ a druhy inteligentních textilií.
3. Specifikujte vlastnosti žáruvzdorných textilií a materiály pro jejich výrobu.
4. Zhodnoťte využití inteligentních a žáruvzdorných textilií v praxi.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Sodomka, L., Fiala, J.: Fyzika a chemie kondenzovaných látek s aplikacemi, Liberec, Adhesiv, 2003
2. Militký, J.: Inteligentní textilie, realita nebo fikce
3. Raab, M.: Materiály a člověk, Praha, Encyklopedický dům, 1999
4. internetové zdroje


Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Eva Kučerová, CSc.  
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2012

Termín odevzdání diplomové práce: 9. května 2013

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



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

## **Anotace**

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na rozbor materiálů určených k výrobě inteligentních textilií a vysvětlení důležitých parametrů žáruvzdorných textilií. Hlavním cílem je ukázat různé charakteristiky a vlastnosti materiálového základu pro výrobu inteligentních textilií. Aby bylo možné vyrobit takovou textilií, musíme k tomu použít vybrané materiály, které takové vlastnosti vykazují a o nichž se píše v této práci. Dalším diskutovaným tématem jsou žáruvzdorné textilie a materiály používané na jejich výrobu. V průběhu práce jsou pak diskutovány vhodné způsoby využití inteligentních a žáruvzdorných textilií v praxi.

## **Klíčová slova**

Intelligence, inteligentní materiál, inteligentní textilie, hořlavost

**Abstract**

This diploma thesis is focused on the analysis of materials for the manufacture of smart textiles and explanations of important parameters refractory textiles. The main aim is to show different characteristics and features of the base material for manufacturing of smart textiles. In order to produce such a fabric, we have to use the selected material which exhibit such properties as described in this diploma thesis. Another topic discussed are heat-resistant fabrics and materials used in their manufacture. In the thesis are discussed appropriate ways of intelligent textiles and refractory in practice.

**Keywords**

Intelligentsia, smart materials, intelligent textiles, flammability

## **Prohlášení**

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

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

.....

podpis

V Plzni dne :

Jan Krasinský

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Evě Kučerové, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Také bych rád poděkoval všem lektorům za vynikající přístup ke studentům, jejich odborné přednášky a celkové přípravě k zvládnutí magisterského studia.

## Obsah:

<b>SEZNAM SYMBOLŮ</b> .....	<b>9</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 VLASTNOSTI INTELIGENTNÍCH TEXTILIÍ</b> .....	<b>11</b>
1.1 INTELIGENTNÍ MATERIÁLY .....	11
1.2 KLASIFIKACE INTELIGENTNÍCH TEXTILIÍ .....	12
1.2.1 Fázová přeměna.....	13
1.2.2 Tvarová paměť.....	14
1.2.3 Světelné projevy .....	15
1.2.4 Luminescence.....	16
1.2.5 Elektrické vlastnosti vláken.....	16
<b>2 MATERIÁLOVÝ ZÁKLAD PRO INTELIGENTNÍ TEXTILIE</b> .....	<b>18</b>
2.1 VLÁKNA .....	18
2.1.1 Přírodní vlákna.....	19
2.1.2 Chemická vlákna.....	20
2.1.3 Vodivá vlákna .....	24
2.1.4 Optická vlákna .....	25
2.1.5 Keramická vlákna.....	26
2.2 SENZORY .....	26
2.3 PARAFÍNOVÉ VOSKY .....	26
2.4 TERMOCHROMNÍ MATERIÁLY .....	27
2.5 SLITINY S TVAROVOU PAMĚTÍ.....	28
2.6 INTELIGENTNÍ TEXTILIE V PRAXI.....	28
2.6.1 Solární textilie.....	29
2.6.2 Elektronické textilie.....	31
2.6.3 Využití senzorů v textiliích.....	33
2.6.4 Textilie s tvarovou pamětí.....	35
2.6.5 Textilie s fázovou přeměnou.....	36
<b>3 MATERIÁLY PRO VÝROBU ŽÁRUVZDORNÝCH TEXTILIÍ</b> .....	<b>39</b>
3.1 HOŘLAVOST TEXTILIÍ .....	39
3.1.1 Limitní kyslíkové číslo .....	39
3.2 NEHOŘLAVÁ ÚPRAVA TEXTILIÍ .....	40
3.3 VLÁKNA SE SNÍŽENOU HOŘLAVOSTÍ.....	40
3.3.1 Čedičová vlákna.....	40
3.3.2 Skleněná vlákna .....	41
3.3.3 Uhlíková vlákna .....	42
3.3.4 Aramidová vlákna .....	42
3.3.5 Speciální vlákna.....	43
3.3.6 Azbestová vlákna.....	43
3.3.7 Keramická vlákna.....	44
3.4 MOŽNOSTI VYUŽITÍ ŽÁRUVZDORNÝCH TEXTILIÍ.....	44
<b>4 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>51</b>
<b>5 ZÁVĚR</b> .....	<b>52</b>



## **Seznam symbolů**

EAP	elektroaktivní polymery
FP	fázový přechod
IM	inteligentní materiál
PCM	fázová přeměna materiálu
PE	polyethylen
PES	polyester
PVC	polyvinylchlorid

## Úvod

Inteligentními textiliemi rozumíme tkaniny vyrobené z vláken požadovaných vlastností a produkty z nich vyrobené. Lze je definovat jako textilie, které jsou schopné reagovat na vnější podmínky, toho je dosaženo např. tím, že jsou do nich vloženy elektronická zařízení nebo speciální vlákna. Mnoho druhů textilií se vyskytuje v pokročilých typech oděvů užívaných pro ochranu a bezpečnost a přídavnou módu a komfort.

Jedním z hlavních důvodů rychlého rozvoje inteligentních textilií jsou vojenské aplikace. To je proto, že inteligentní textilie lze použít např. pro konstrukci bund v extrémních zimních podmínkách nebo ke změně barvy k oklamání nepřítele. Současný vojenský průmysl si uvědomuje výhody vyměňování poznatků s různými průmyslovými odvětvími, neboť spoluprací lze dosáhnout lepších výsledků získaných v týmové spolupráci.

Inteligentní textilie poskytují rozsáhlé možnosti využití, které je možné uskutečnit v textilním průmyslu, a to jak v oboru technických textilií, tak i oboru módy a odívání. Tento rozvoj je výsledkem aktivní spolupráce mezi různými obory, jako jsou inženýrské obory, přírodověda, konstrukce, výzkum a vývoj, obchod a marketink. Náš každodenní život bude v nejbližších letech ovlivňován inteligentními materiály, které proniknout i do textilií a oděvů.

# 1 Vlastnosti inteligentních textilií

## 1.1 Inteligentní materiály

Stále častěji se můžeme setkat s pojmem smart materials nebo s českým výrazem inteligentní materiály. Co je za tímto slovním spojením, jaké materiály a vlastnosti si pod ním můžeme představit? Pojďme se na chytré materiály podívat z fyzikálního pohledu.

Jedna z prvních otázek, která člověka napadne, je, proč něčemu říkáme inteligentní materiál. Inteligentní materiály v současnosti žádnou inteligencí nedisponují a to ani tou umělou, která se uchytila v robotických zařízeních či softwarových aplikacích. Avšak mezi inteligencí samotnou, která je typická právě pro člověka, a inteligentními materiály je jistá spojitost, která dala vzniknout popisovanému označení „inteligentní materiál“ (IM). Jedním z mnoha projevů inteligence je schopnost řešit nově vzniklé situace a patřičně na ně reagovat. Podle starší definice jsou inteligentní materiály takové materiály, které včas reagují na změny ve svém okolí, zde již spojitost s inteligencí vidíme.

Definice inteligentních materiálů byla rozšířena o materiály, které přijmou, přenesou nebo zpracují podnět a odpoví pomocí vytvoření užitečného efektu. Tímto efektem může být i signál, podle kterého se následně jiné materiály chovají. Příkladem podnětů, které mohou na IM působit, jsou tlak, napětí, teplota, chemické látky, elektrické pole, magnetické pole, hydrostatický tlak, různé druhy záření a mnohá další. Samotný podnět může být způsoben např. absorpcí protonu, chemickou reakcí, posunem nebo rotací segmentů v molekulární struktuře, vznikem a pohybem krystalografických vad, změnou polohy prostorového uspořádání atomů nebo vznikem či střídáním napěťových polí. Produkovaným efektem může být změna barvy, indexu lomu, rozdělení tlaku i napětí nebo změna objemu.

Dalším důležitým ukazatelem pro materiál, který má být považován za „chytrý“, je přijímání podnětů a reakce na podněty v podobě tvorby užitečného efektu, který musí být navratitelný. Tato definice vylučuje materiály, jež se změnou teploty nevratně zdeformují. Naopak materiály s tvarovou pamětí již této definici vyhovují.

Mezi materiály označované jako inteligentní patří:

- **piezoelektrické materiály** - mohou při deformaci svého tvaru vlivem mechanické energie vytvářet elektrické pole. Patří sem například krystal křemene ( $\text{SiO}_2$ ) nebo keramické materiály jako titanát bária ( $\text{BaTiO}_3$ ),
- **elektrostriční materiály** - tyto materiály působí opačným způsobem, než materiály piezoelektrické, působením elektrického pole se deformují,
- **elektroreologické materiály** - jsou to především kapalné materiály, u nichž se využívá toku nebo deformace působením elektrického pole,
- **magnetoreologické materiály** - při vystavení magnetickému poli mění tyto materiály své vlastnosti, např. viskozita u kapalin,
- **termoresponzivní materiály** - jsou schopné vratně reagovat na změnu teploty,
- pH citlivé materiály, UV citlivé materiály, chytré polymery, inteligentní gely, inteligentní katalyzátory a slitiny s tvarovou pamětí.

IM nemusí být využívány pouze samostatně, je možné je začleňovat do rozličných struktur, v nichž pak účinkem IM dochází k nějaké akci. Takovéto struktury je poté možno označovat za inteligentní struktury. Příkladem inteligentních struktur mohou být senzory (nervy), aktuátory - akční prvky (svaly) a kontrolní prvky (mozek).

Po výše uvedených informacích jen málokoho překvapí, že IM nacházejí uplatnění v robotice a lékařství. IM však nalézají uplatnění ve všech vědních a technických oborech. Mezi nová řešení obsahující IM patří materiály se schopností samoregenerace, systémy s řízeným uvolňováním léčiv, tělní implantáty, obvazy na bázi hydrogelů, nové druhy senzorů, textilie se schopností termoregulace nebo změny barvy, umělé orgány a mnohá další.

## 1.2 Klasifikace inteligentních textilií

Inteligentní textilie jsou textilie, které odpovídají a reagují na vnější podmínky a podněty mechanického, tepelného, chemického, elektrického, magnetického a zářivého působení. Podle funkční činnosti dělíme inteligentní textilie do tří skupin [9]:

**Pasivní inteligentní textilie:** skupinu pasivních inteligentních textilií tvoří textilie, které jsou

pouhými detektory (senzory) vnějších podmínek a podnětů.

**Aktivní inteligentní textilie:** skupina aktivních inteligentních textilií má jak senzory, tak i aktuátory. Aktuátory reagují na zjištěný podnět (signál) buď přímo, nebo prostřednictvím centrální řídicí jednotky. Aktivní inteligentní textilie mají např. tvarovou paměť, mění barvu (chameleonský jev), jsou odolné proti vodě, propouštějí páru (hydrofilní neporézní), zásobníky tepla, jsou superinteligentní termoregulovatelné, pohlcují páru, vydávají teplo a tvoří i elektricky vytápěné obleky. Tyto inteligentní obleky jsou schopné získávat informace o dávkách záření apod.

**Super (ultra)inteligentní textilie:** super inteligentní textilie jsou schopny zachytit podněty, reagovat na ně a přizpůsobit svou funkci na vnější podmínky a podněty. Silně inteligentní nebo superinteligentní textilie mají v sobě jednotku, která pracuje podobně jako mozek nebo jako centrální počítač s poznávací schopností, s hodnotící schopností a se schopností vytváření podnětů odezvy a činnosti aktuátorů. Vytváření a produkce superinteligentních textilií je nyní již skutečností díky spojení tradičních textilních a oděvních technologií s dalšími vědními odvětvími jako jsou materiálové vědy, strukturální mechanika, sensorová a aktuátorová (pohonová) technika, elektronické a informační technologie, umělá inteligence, biologie a další fyzikálně technické vědy.

Nová vlákna, textilní struktura a součástky miniaturizované elektroniky umožňují vyrábět inteligentní textilie využitelné jako skutečně užitečných technických oděvů, jako jsou oděvy kosmonautů, pilotů, lékařů, chemiků a dalších. Tyto inteligentní oděvy se také mohou používat pro běžné nošení, protože jsou schopny poskytovat pomoc při řešení neobvyklých situací, neboť jsou vyrobeny pro různé způsoby použití, jako například k detekci ionizujícího záření.

### 1.2.1 Fázová přeměna

Látky, které absolvují proces změny skupenství, jsou známy jako materiály s fázovou změnou (PCM). 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 chlazení teplota materiálu pak klesá. Běžný textilní materiál pohlcuje teplo kolem 1 kJ/kg při vzrůstu teploty o 1 K (1 °C). Pokud porovnáme

absorpci tepla procesu tání PCM s hodnotou pro normální proces zahřívání, větší množství tepla je absorbováno, pokud PCM taje. Například parafínový PCM absorbuje energii kolem 200 kJ/kg během procesu tání. Teplota tání parafínu se pohybuje podle způsobu použití, nejčastěji je to teplota blízká se teplotě lidského těla. Pro tepelnou pohodu uživatele textilie je definován *tepelný komfort oděvu* - průměrná teplota pokožky je při pocitu komfortu 33,3 °C, na pokožce nesmí být přítomen kapalný pot. Chlad je pocíťován při 31 °C, při 29 °C nastává podchlazení. Při růstu teploty pokožky působí 35,5 °C silné pocení a při 40 °C odumírají buňky. Lidské tělo má velkou samoregulační schopnost. Vlivem chladu se stahují kapiláry v pokožce. To způsobí omezení průtoku krve a tím zmenšení výměny tepla s okolím.[3]

Teplotní stavy parafínů jsou uvedeny v tabulce č. 1 v následujícím oddíle. Velké množství tepla pohlceného při tání parafínu se uvolní do okolí při jeho ochlazení. Porovnáme-li měrnou tepelnou kapacitu textilií s parafínem, je zřejmé, že po aplikaci parafínu s fázovým přechodem do textilií se tepelná kapacita soustavy podstatně zvětší. Během celého procesu tavení parafínu teplota FP parafínu i jeho textilního okolí zůstává konstantní. Nedochází pak k nežádoucímu růstu teploty, jak je tomu při ohřevu bez FP. Stejně je tomu při procesu tuhnutí (krystalizaci). Během celého krystalizačního procesu se teplota FP rovněž nemění. Velký přenos tepla během tavení a během krystalizace beze změny teploty vytváří z materiálů s FP materiál pro akumulaci tepla.[1]

### 1.2.2 Tvarová paměť

Materiály s tvarovou pamětí existují ve dvou typech neboli skupinách. Do první skupiny patří materiály tvarově stabilní při dvou určitých teplotách. Při různých teplotách mohou nabývat různé tvary, pokud bylo dosaženo jejich teploty přechodu.

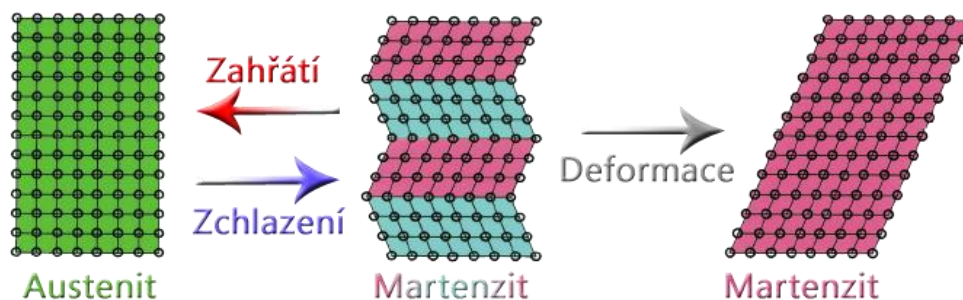
Do druhé skupiny materiálů s tvarovou pamětí patří elektroaktivní polymery, které mění tvar vlivem působení elektrického pole. Princip EAP je velmi jednoduchý. Vlivem napětí přivedeného na elektrody, mezi kterými je EAP, dochází k uspořádanému přenosu některých iontů a molekul. EAP pak vykazují podstatnou změnu v rozměrech, tvarech a v silovém působení. Na rozdíl od běžných aktuátorů (mechanických pohonů, akčních členů) je hodně typů EAP schopných pracovat i v režimu čidel. EAP poskytují rozsáhlou škálu základních mechanismů aktuátorů jak silových, tak i posouvacích.

Změna tvaru může být také aktivována magnetickým polem, hodnotou pH, UV zářením, dokonce i voda může být spouštěcím podnětem.[1]

Efekt tvarové paměti má dva základní projevy:

**Jednocestná paměť** je běžný paměťový efekt, to znamená, že z austenitu materiály přejdou do martenzitu nebo spíše do směsi více různých martenzitů, po zahřátí materiály přejdou zpět do jediného austenitu (vrátí se do původního tvaru). Slitina si pamatuje jenom jednu polohu (austenit), proto je to paměť jednocestná.

**Dvoucestnou paměť** je možné „vytrénovat“ z jednocestné, jak je ukázáno na obr. 1. Funguje to tak, že po ochlazení slitina přejde přednostně přímo do jedné varianty martenzitu a tím změni tvar, po zahřátí se zase vrátí (ke změně tvaru stačí změna teploty). Změna teploty je závislá na šířce teplotní hystereze. Ta může být v rozmezí 1 °C - 60 °C a závisí na druhu materiálu.[11]



Obr. 1: Efekt dvoucestné tvarové paměti [11]

### 1.2.3 Světelné projevy

Jiné typy inteligentních materiálů jsou schopné působením vnějších podmínek vratných barevných projevů. Z těchto důvodů se nazývají chameleonské textilie (vlákna)[1].

Materiály s barevným (chameleónským) projevem patří mezi materiály, které barevně září, odstraňují barevné projevy nebo je mění vlivem vnějšího působení. Materiály s barevným projevem dělíme podle podnětů, které je vyvolávají na:

- **fotochromní** - stimulované světlem
- **termochromní** - vybuzené teplem
- **elektrochromní** - vyvolané elektrickým polem
- **piezochromní** - stimulované tlakem
- **solvatochromní** - vybuzené kapalinami nebo plyny.

### 1.2.4 Luminescence

Rozdíl mezi barvivovými a luminiscenčními textiliemi spočívá v jejich buzení. Barvivové materiály mění pouze svou barvu, kdežto luminiscenční materiály sami světlo vydávají vnějším působením. Existuje několik typů luminiscencí a to:[12]

- **fotoluminescence** vybuzená působením světla. Fotoluminiscenční materiály jsou dvojího druhu - fluorescenční materiály s krátkou dobou dosvitu a fosforescenční materiály s dlouhou dobou dosvitu;
- **optikoluminescence**, kde jde navíc o vedení světla;
- **elektroluminiscence** je vnějším buzením elektrické pole;
- **chemiluminiscence** je buzena chemickými reakcemi;
- **mecholuminiscence** vzniká mechanickým působením, třením, tlakem apod.;
- **sonoluminiscence** vzniká působením zvukového pole.

### 1.2.5 Elektrické vlastnosti vláken

Elektrická vodivost

Elektrická vodivost je schopnost vést elektrický proud.

Elektrická vodivost je dána vztahem:

$$G = \frac{I}{U} \text{ [ S ]} \quad (1)$$

Lze ji vypočítat z vlastností vodiče podle vztahu:

$$G = \sigma \frac{S}{l} \text{ [ S ]} \quad (2)$$

Vodivost vlákna  $\sigma_E$  o délce  $l_v$  a ploše příčného řezu  $S_v$  je poměr plošné hustoty proudu  $\frac{I}{S_v}$  a intenzity elektrického pole  $\frac{U}{l_v}$ .

$$\sigma_E = \frac{I \cdot l_v}{U \cdot S_v} = \frac{G \cdot l_v}{S_v} \text{ [S} \cdot \text{m}^{-1}\text{]} \quad (3)$$

Většina textilních vláken se chová jako izolanty. To je zapříčiněno tím, že všechny elektrony jsou vázány buď k jádrům atomů, nebo jsou sdílené v kovalentních vazbách.



## Elektrostatický náboj

Tímto pojmem označujeme nashromáždění elektrického náboje na povrchu dvou různých těles nebo předmětů a jejich výměnou mezi nimi při vzájemném kontaktu.

Tvorba statické elektřiny se dá rozdělit do tří fází:

- při kontaktu dvou povrchů dochází k pohybu elektrického náboje tak, že se na jednom povrchu hromadí přebytek elektronů
- na kontaktním místě vznikne elektrická dvojvrstva, ale elektrostatická elektřina nevzniká, protože díky kontaktu je systém elektricky neutrální
- při mechanickém oddělení dojde ke vzniku statické elektřiny.

Elektrostatický náboj způsobuje nežádoucí přilnavost a špinavost textilií.

## 2 Materiálový základ pro inteligentní textilie

Inteligentní neboli funkční materiály jsou obvykle součástí inteligentního systému, který má schopnost vnímat své prostředí a jeho účinky, a pokud je to možné, reagovat na tyto vnější podněty přes aktivní kontrolní mechanismus. Inteligentní materiály a systémy zaujímají vysoce interaktivní technologický prostor, který také zahrnuje oblasti senzorů a akčních členů.

Neexistuje jednotné řešení složení textilií, vhodné pro všechny aplikace. Potřeba je spíše posílit praktickou realizaci stávajících materiálů přizpůsobených konkrétnímu zákazníkovi a požadavkům trhu.

### 2.1 Vlákna

Textilie patří mezi nejstarší uměle vytvořené materiály užívané lidstvem. Jejich počátky se kladou do období před 14 tisíci lety. Textilní vlákna jsou základním stavebním prvkem všech textilií a textilních výrobků.

Vlákna můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin [2]:

*Přírodní vlákna* - rostlinná - ze semen (bavlněná)

- ze stonků - lýková (lněná, konopná, jutová)

- z listů (sisalová, konopná)

- z plodů (kokosová)

- živočišná - keratinová - ze srsti (vlna ovčí, velbloudí)

- fibroinová - ze sekretu hmyzu (bourec morušový - hedvábí)

- anorganická - azbestová vlákna

*Chemická vlákna* - přírodní polymery (celulóza, kaučuk)

- syntetické polymery (vinil, polyester, polyamid)

- anorganická - kovová

- skleněná

- keramická

*Základní vlastnosti vláken:*

- délka vyjadřovaná v mm, popř. v palcích (inch = 25,4 mm)

- jemnost (délkovou hmotnost), vyjadřovaná v mg/m, (kg/m) · 10<sup>6</sup>, popř. v jednotkách speciálně pro bavlnu - Micronaire, pro vlnu v μm – mikrometrech, pro přírodní hedvábí pak Td (titr denier)
- zkadeření, provedené různým způsobem, vyjádřené obvykle relativně v %, obdobné vyjadřování je pro obloučkovitost vlněných vláken
- sorpce, vyjádřenou relativně jako obsah vody ve vlákne v %
- lesk, barva a její odstín
- tepelněizolační vlastnosti, a to ne pouze u dutých vláken, kde izolačním prvkem je vzduch, ale i u objemového útvaru, kde tepelnou izolaci vytváří vzduch mezi vlákny
- mechanické vlastnosti, jako pevnost a tažnost, udávané buď jako jednotky absolutní, častěji však jako relativní hodnoty mN/tex. [13]

Výrobky z textilních vláken a textilní materiály stále více pronikají do technického využití a často jsou přímo využívány jako konstrukční materiály s ohledem na jejich specifické vlastnosti (relativně vysokou pevnost, nízkou hmotnost, chemickou odolnost, vysokou tažnost či značnou žáruvzdornost (např. při výrobě kompozitů). Pro použití vláken k výrobě polotovarů nebo textilií musí být vlákna vhodně zpracována a upravována – k tomu slouží speciální technologie.

### 2.1.1 Přírodní vlákna

#### *Bavlna*

Jeden z nejdůležitějších materiálů pro výrobu textilních vláken. Ty se získávají z plodu bavlníku. Mezi největší producenty bavlny patří Čína, Indie, Pákistán a Brazílie. V dnešní době má bavlna své významné místo jako zdroj vlákna, ale je často nahrazována vlákny syntetickými.

Výrobky mají příjemný omak a mohou sát značné množství tekutiny. Bavlna má dobrou pevnost v tahu, která se za mokra ještě zvyšuje.[14]

#### *Vlna*

Vlákna vyrůstají z kůže zvířat, ale textilně zpracovávanými jsou vlákna z ovcí, koz, velbloudů, králíků a zajíců. Svým chemickým složením jsou to vlákna keratinová. Mají specifické vlastnosti jako je tažnost a zotavovací schopnost.

Vlna se stříhá jednou či dvakrát do roka a vlákno se získává česáním a mykáním. Vyčištěná vlna určená k dalšímu zpracování je na obr. 2. Vlna je poměrně dražší než jiná textilní vlákna.[15]



Obr. 2: Merinová vlna 14,6  $\mu\text{m}$ [15]

### *Hedvábí*

Přírodní neboli pravé hedvábí je tvořeno výměškami žláz motýla bource morušového (*Bombyx mori*). Tyto výměšky na vzduchu rychle tuhnou. Z nich motýl vytváří kukly neboli kokony, které je vidět na obr. 3. Vlákno se získává rozmotáním kukly. Průměrná délka vlákna se pohybuje od 300 - 600 metrů. Přestože přírodní hedvábí bylo vytlačováno syntetickým hedvábím, dodnes si však udržuje nezastupitelné místo na oděvním trhu, a to hlavně pro své užité vlastnosti – saje pot, v létě příjemně chladí a naopak v zimě hřeje.

Umělé hedvábí, které je tvoří materiály syntetické, nebo přírodní polymery, případně sklo atd., nahradilo přírodní hedvábí všude tam, kde je předčív určitými specifickými vlastnostmi, například pevností, izolační schopností, specifickou hmotností apod.[16]



Obr. 3. Kokony bource morušového [16]

### **2.1.2 Chemická vlákna**

Chemická vlákna jsou definována jako textilní vlákna získaná chemickou cestou. Z výše uvedeného rozdělení vláken je patrné, že chemická vlákna se vyrábějí

- z přírodních polymerů
- ze syntetických polymerů

## Vlákna z přírodních polymerů

Vlákna z přírodních polymerů jsou vytvořená uměle, z přírodních polymerů, resp. modifikací přírodních polymerů.

### *Vlákna na bázi celulózy*

Nejčastějším přírodním polymerem využívaným pro účely výroby chemických vláken z přírodních polymerů je celulóza. Pak hovoříme o vláknech:

- z regenerované celulózy: Podstatou těchto vláken je čistá celulóza a vlákna mají vlastnosti podobné přírodním vláknům celulózovým.
- z derivátů celulózy: Vlákna jsou složená z derivátů (převážně z acetylcelulózy). Vlákna jsou termoplastická, méně navlhavá apod.

Mezi tato vlákna patří viskózní vlákna, měďnato-amonná vlákna a lyocelová vlákna, která se vyrábí z regenerované celulózy.

### *Viskózní vlákna (CV)*

Začátkem 20. století přišla první viskózní vlákna na trh jako podstatně levnější náhrada za přírodní hedvábní a později za bavlnu a vlnu. Technologickým procesem je chemická přeměna přírodního polymeru (dřevná celulóza), jehož poslední fází je zvláknění alkalického viskózního roztoku do kyselé lázně, kde dochází ke vzniku vlákna a k utváření jeho struktury. Viskoza se velmi často směsuje s vlnou, polyesterem, polyamidem a jinými vlákny.[17]

### *Acetátová vlákna (DAC a TAC)*

Acetátová vlákna jsou výrobky z vysoce kvalitní celulózy. Základem výrobního postupu je přeměna sloučeniny celulózy s kyselinou octovou na acetátovou celulózu. Po průchodu vlákně hmoty spřádací tryskou se aceton vypaří a vlákno se dluží na přibližně dvojnásobnou délku.

Podle obsahu kyseliny octové se rozlišují dva druhy vláken:

- Diacetát (zvaný také *2,5 acetát* nebo jen *acetát*) s obsahem 54 % - 55 % kyseliny octové

- Triacetát s 61,5 % kyseliny octové

Acetát je lehčí než přírodní hedvábí, kterému se vzhledem i omakem velmi podobá. Pevnost za sucha je oproti hedvábí asi poloviční a za mokra se snižuje o 20 % - 30 %. Vlákno je podstatně levnější než přírodní hedvábí. Tkaniny z acetátu se nemačkají.[18]

### **Vlákna ze syntetických polymerů**

Tato vlákna jsou vyráběna ze syntetických polymerů. Základem je monomer, který je polymeračními procesy polymerizován. Z malých jednotek jsou vytvářeny dlouhé řetězce - polymery.

Polymerační reakce:

- polykondenzace - definovaná jako stupňovitá reakce, při níž se odděluje nízkomolekulární látka. Vznikají polyestery nebo polyamidy.
- polyadice - je stupňovitá reakce bez oddělení nízkomolekulární sloučeniny. Vznikají například polyuretany.
- polymerace - reakce je definovaná jako řetězová, bez odpadu nízkomolekulární látky. Příkladem je výroba polyetylénu.

Podle geometrie makromolekul dělíme polymery na lineární, rozvětvené a prostorově síťované. Mnohé z lineárních polymerů mají tu vlastnost, že tvoří při tuhnutí z roztoků nebo tavenin tenká vlákna vhodná pro textilní zpracování. Prostorové polymery tuto vlastnost nemají.[5]

#### *Polyamidová vlákna (PA)*

Jsou vyráběna v několika verzích. Nejrozšířenější jsou vlákna polyamidu 6 (PA 6) a vlákna polyamidu 6.6 (PA 6.6). Polyamid 6 objevil v roce 1938 P. Schlack. V ČR se vyráběl pod názvem Silon. Polyamid 6.6 patentovala firma DuPont v roce 1935. V USA vyráběn pod značkou Nylon.

Mají rozdílnou molekulovou strukturu, ale oba jsou zvlákněny z roztaveného polymeru do chladicí šachty a dále dluženy a různě upravovány. Výhodou těchto materiálů jsou dobré mechanické vlastnosti (odolnost proti opakovanému namáhání), vysoká pružnost a odolnost proti oděru, nízká hmotnost.[6]

### Aramidová vlákna

Označení aramid vzniklo ze slov **aromatický polyamid**. Aramidová vlákna jsou textilní vlákna z polyamidů s dlouhými uhlíkovými řetězci, v jejichž struktuře se vyskytují aromatická jádra.

Aramidová vlákna se rozdělují na dvě skupiny:

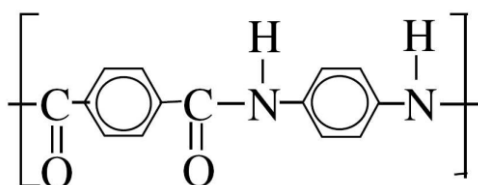
1. Para-aramidy - poly-p-fenylentereftalamidy (PPTA)
2. Meta-aramidy - metafenylen-izoftalamidy (MPIA)

Vlákna se vyznačují velkou odolností proti chemikáliím a vysokým teplotám, jsou nevodivá a odolná mechanickému namáhání.

### Kevlar®

Patří do skupiny para-aramidů. Jde také o materiál vyvinutý firmou DuPont a uvedený na trh v roce 1971. Syntetizuje se z monomeru para-fenyldiaminu a terephthaloyl chloridu. Původně byl vyvinut jako náhrada za ocel pro výstupy v pneumatikách, ale jeho vlastnosti jej posunuly k dalším aplikacím.

Kevlar® je materiál nevodivý, odolný proti odření, vysokým teplotám a organickým rozpouštědlům. Má vysokou pevnost v tahu a vysoký modul pružnosti. Netaví se a je špatně zápalný. Nevýhodou tohoto materiálu je jeho navlhavost.[6]



Obr. 4. Chemická struktura Kevleru

### Polyesterová vlákna (PES)

Vlákno bylo vynalezeno v Anglii v roce 1941 a průmyslově se začalo vyrábět v roce 1947. Polymer vzniká polykondenzací dvou vstupních komponent a vzniká polyetylentereftalát, který se zvlákňuje do chladicí šachty. Vlákno je dále dluženo a upravováno.

Polyester je ve srovnání s polyamidem relativně tuhé vlákno. Zvyšuje tuhost výrobku a snižuje jeho mačkovost. Má velmi nízkou sorpci, proto po fyziologické stránce je nevhodný. Teplota měknutí/teplota tání je 230 °C - 260 °C. Používá se především jako směšová komponenta s bavlnou, vlnou nebo lnem. Rouno ze stříže je vhodné do tepelně izolačních vrstev oděvních výrobků.[6]

## Elektroaktivní polymery (EAP)

Elektroaktivní polymery jsou definovány jako organické materiály, které mohou reagovat na elektrický podnět změnou tvaru nebo rozměru. Termín EAP je používán k označení třídy materiálů, které mají multifunkční vlastnosti.

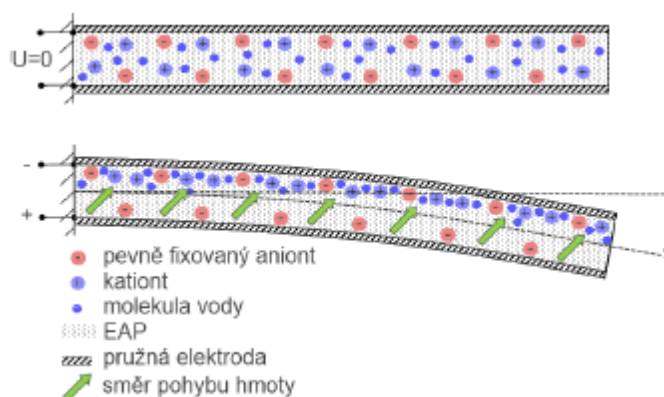
S ohledem na jejich možnosti ovládání mohou být EAP rozděleny do dvou skupin:

- iontové EAP - aktivovány elektricky indukovanou difúzí iontů nebo molekul
- elektronické EAP - aktivovány vnějším nebo vnitřním polem

Do první skupiny patří například vodivé polymery a do druhé skupiny řadíme piezoelektrické polymery.

Jako elektroaktivní polymery se používají polypyrrol, polythiofen, polyanilin, polyfenylen, poly (p-fenylenvinylen). [7]

Princip si můžeme ukázat následovně. Vlivem přivedeného napětí na elektrody, mezi kterými je EAP, dojde k přenosu některých iontů a molekul vody. Jedna strana EAP se zvětšuje, naproti tomu se druhá strana smršťuje. To následně vede k ohybové deformaci, jak zobrazuje obr. 5.[8]



Obr. 5. Princip EAP [8]

### 2.1.3 Vodivá vlákna

Velký zájem průmyslových odvětví přetrvává o syntetická vlákna s elektrovedivými vlastnostmi. Skupina vláken obsahujících kovové částice (Fe, Cu, Ag) případně přize s obsahem kovových vláken nebo syntetická vlákna s nanosenou kovovou povrchovou vrstvou (Cu, Ag) jsou dnes již velmi dobře známa a pro účely odvádění elektrostatického náboje široce využívána. Syntetická vlákna s obsahem kovových, uhlíkových nebo grafitových mikro a nanočástic jsou pro účely elektrického ohřevu také běžně využívána. Novou skupinou jsou vodivá vlákna na bázi elektrovedivých polymerů se speciální molekulární strukturou



konjugovaných elektronů v makromolekule polymeru. Struktura polymeru umožňuje pohyb elektronů po přiložení napětí. [7]

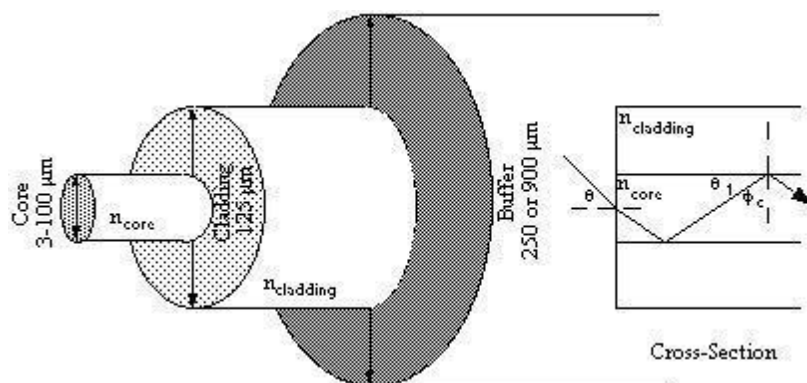
Vodivá vlákna se například vyrábí jako standardní polyesterové vlákno, které je na povrchu vodivě upraveno např. uhlíkem – PES/carbonvlákno, nebo jako celokovové vlákno – např. stříž antikoro.

#### 2.1.4 Optická vlákna

Optická vlákna jsou schopna přenášet po své celé délce světelný paprsek a to i na značné vzdálenosti. Vlákno je složeno z jádra a pláště, jak ukazuje obr. 6. Důležitým parametrem vláken je index lomu. Ten vyjadřuje rychlost šíření paprsku světla. Index lomu se vypočítá vydělením rychlosti světla ve vakuu rychlostí světla v hmotném prostředí. Běžná hodnota indexu lomu optického vlákna se pohybuje kolem 1,48[-].

Optická vlákna mají dnes široké spektrum využití. Nejčastěji je jich využíváno v telekomunikaci. V této oblasti jsou používána optická vlákna na bázi skleněných materiálů, jako je např. křemen ( $\text{SiO}_2$ ), ale jsou použita i např. skla fluorozirkonátová nebo fluoroaluminiová.

Další možné využití optických vláken je v senzorech, nebo sami pracují jako senzory. Jako senzory mohou snímat deformace, tlak a teplotu. Zde může být použito optických vláken skleněných, ale také vláken vyrobených z polymerů specifických vlastností podobných skleněným vláknům. Z polymerů jsou to například polymetymetakryláty (PMM) nebo polymetylsiloxany. [19]



Obr. 6. Optické vlákno [19]

### 2.1.5 Keramická vlákna

Keramická vlákna jsou polykrystaliny nebo amorfni keramické výrobky z nekovových anorganických látek. Vlákna se vyrábí dvěma způsoby. První způsob je výrobou z taveniny, kdy se tavenina rozstříkuje na rotační kotouče. Teplota taveniny dosahuje až 1600 °C. Druhý způsob je chemickou cestou.[2]

Keramická vlákna se dělí na dvě skupiny:

1- oxidová keramická vlákna - základní surovina k výrobě je oxid hlinitý ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), u některých variant s příměsí oxidu boritého ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) nebo zirkoničitého ( $\text{ZrO}_2$ ). Někteří výrobci používají směsi hlinitého a křemičitého oxidu ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ), která se označuje **mullit**.

2 - neoxidová keramická vlákna - všechny druhy této skupiny se vyrábí na bázi křemíku, nejčastěji ve směsi s uhlíkem (SiC). Neoxidová vlákna snesou oproti oxidovým vláknům i dlouhodobě až o 20 % vyšší teploty.[20]

Užitné vlastnosti keramických vláken jsou:

- velká teplotní odolnost a stabilita
- vysoká tuhost
- malá tepelná roztažnost
- malá závislost pevnosti na teplotě

## 2.2 Senzory

Senzory na bázi textilních vláken mohou být uplatněny k monitorování tělesných funkcí, biologických parametrů, chemických, elektrických nebo fyzikálních podnětů z okolí až např. po detekci nebezpečných bojových látek při vojenských operacích. Teplotní senzory, kardiologický monitoring nebo detekce dýchání patří dnes již k prověřeným aplikacím a nabízejí možnost praktického využití.

Senzory můžeme rozdělit na pasivní a aktivní. Pasivní jsou schopny detekovat vnější podněty a stavy změnou svých vlastností a nejsou schopny předat signály k dalšímu zpracování. Na druhou stranu aktivní senzory jsou schopny tyto signály předat dál.[7]

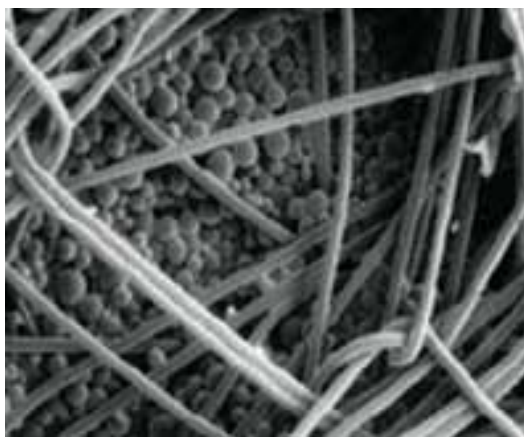
## 2.3 Parafinové vosky

Nejrozšířenější PCM v textiliích jsou parafinové vosky s různými fázemi změny teploty (tání a krystalizace). Tyto vlastnosti některých z PCM jsou shrnuty v tabulce 1.

Tab. 1. Fázové změny materiálů [1]

Fázová změna materiálu	Teplota tání ve °C	Teplota krystalizace ve °C	Tepelná kapacita v J/g
Ikosan	36,1	30,6	247
Nonadekan	32,1	26,4	222
Oktadekan	28,2	25,4	244
Heptadekan	22,5	21,5	213
Hexadekan	18,5	16,2	237

Tyto materiály s fázovou změnou jsou umístěny do mikrokapslí, které jsou 1 μm -30 μm v průměru. Ve srovnání s našimi vlasy je velikost kapsle obvykle asi polovinu průměru vlasů. Materiály s fázovou změnou mohou být začleněny do textilu pouze uzavřené v těchto kapslích tak, aby se zabránilo rozpuštění parafinu. Na obr. 7 je ukázáno, jak jsou parafíny v kapslích rozmístěny v textiliích. Skořepina materiálu kapsle musí být oděru a tlaku odolné, žáruvzdorné a odolné vůči některým chemikáliím. Komerčně dostupné PCM jsou například Outlast®, Comfortemp® a Thermasorb®.[1]



Obr. 7. Parafín v textiliích [1]

## 2.4 Termochromní materiály

Termochromní materiály mění barvu působením tepla. Zvláštní význam mají termochromní barviva, jejichž barva se mění pouze při určité teplotě. V textilních oborech se využívají prozatím dva typy termochromních látek a to tekuté krystaly a látky s přeskupením molekul. Tekutý krystal je stav hmoty, jehož vlastnosti jsou přechodem mezi kapalným a pevným

skupenstvím. U termotropních krystalů dochází k fázovému přechodu v závislosti na teplotě nebo elektrickém poli. Pak rozeznáváme tekuté krystaly:

- Nematické - Ke změně optických vlastností dochází působením elektrického pole. Tento druh tekutých krystalů se využívá pro zobrazovací techniku, defektoskopii, mapování elektrických polí a detektory neviditelných záření.
- Cholesterické - Ke změně zbarvení dochází vlivem změny teploty. Využití nachází u barevných indikátorů teploty, v defektoskopii.

Tekuté krystaly v důsledku orientace molekul mění svou barvu.

V případě látek s přeskupením molekul jsou barviva uložena v mikrokapsulích. Tyto barviva se vyrábí pod obchodním názvem LEUCO nebo SWAY. Tyto inkousty mění barvu změnou teploty, pod aktivační teplotou jsou inkousty barevné a nad aktivační teplotou jsou číré nebo lehce zbarvené. Vzhledem k tomu, jak je inkoust chlazen nebo zahříván, může původní barva měnit odstín. Inkousty mohou být také použity v kombinaci s jinými pigmenty (tepelně citlivý pigment), měnící se od jedné barvy na jinou barvu. [21]

## 2.5 Slitiny s tvarovou pamětí

Mezi nejlepší slitiny s tvarovou pamětí patří slitina nikl-titanu (NiTi) pod obchodním názvem Nitinol. Složení je 50% niklu a 50% titanu a teplota transformace se pohybuje kolem 100 °C. Nitinol nepodléhá korozi a vydrží řádově miliony pracovních cyklů.[1]

Dále existuje celá řada slitin, které dosahují podobných vlastností jako Nitinol. Další vhodné jsou slitiny na bázi mědi např. *Cu-Zn-Al*, *Cu-Al-Ni*, *Cu-Zn-Si*, *Cu-Zn-Sn*, *Cu-Sn*, *Cu-Zn*, *Mn-Cu*. Jsou vyrobeny z relativně levných zdrojů a mají nižší náklady na výrobu než NiTi. I přes vyšší náklady a složitější výrobu mají slitiny NiTi mnoho unikátních vlastností. Patří mezi ně odolnost proti korozi a oděru, biomedicínské použití či větší tvarová paměť. Slitiny mohou být zpracovány do pásů, drátů i vláken. [1]

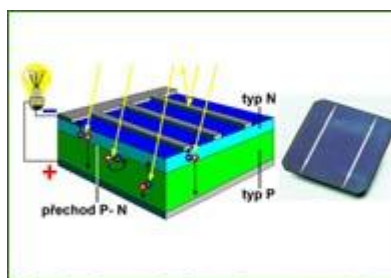
## 2.6 Inteligentní textilie v praxi

V oblasti inteligentních textilií se můžeme setkat s několika pojmy, které tyto materiály popisují. Je to pojem elektrotextil nebo také e-textil a dalším názvem popisující inteligentní textilie je smart textil (chytrý textil).

### 2.6.1 Solární textilie

Z celosvětových rostoucích obav ze závislosti na ropě, uhlí a jaderném palivu jako zdroji energie, roste zájem o alternativní zdroje energie. Obnovitelné zdroje jako sluneční záření mohou být využity i pro jiné formy výroby elektřiny, jež známe jako solární elektrárny. Sluneční světlo je přeměněno na elektrickou energii ve fotovoltaických článcích a ty svou konstrukcí a velikostí mohou být začleněny i do textilií.

Fotovoltaické materiály mají schopnost vytvářet elektrický proud vybuzený světlem. Princip vzniku elektrických jevů spočívá ve dvou pochodech. První z nich představuje oddělování náboje na P-N přechodech. Osvětlením článku vznikne v polovodiči fotoelektrický jev a v polovodiči se začnou z krystalové mřížky uvolňovat záporné elektrony. Na přechodu P-N se vytvoří elektrické napětí.[22] Princip fotovoltaického jevu je vyobrazen na obr. 8.



Obr. 8. Princip fotovoltaického jevu [22]

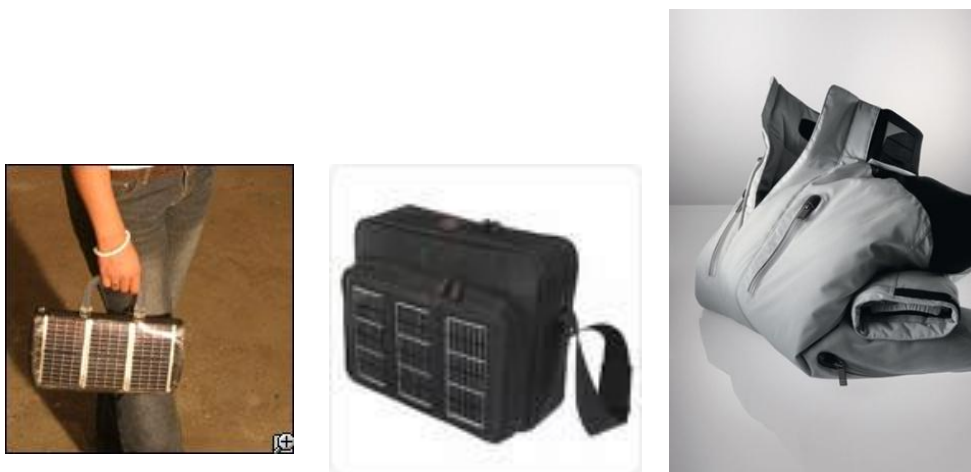
Druhý způsob je získávání elektrického napětí inverzním pochodem k elektroluminiscenci. Používané materiály jsou většinou organické, citlivé na světlo (polymery, dentrimery). Po absorpci světla přechází materiály do vybuzeného stavu. Při excitaci jsou elektrony ve stavech LUMO (nejnižší neobsazený molekulový orbital, z anglického „Lowest Unoccupied Molecular Orbital“) a díry ve stavech HOMO (nejvyšší obsazený molekulový orbital, z anglického „Highest Occupied Molecular Orbital). Na připojených elektrodách vzniká napětí. Účinnost je u těchto materiálů pouhých 4,4 %.

Čeští vědci z Vysokého učení technického v Brně pracují na speciální fotovoltaické textilií. Pracují s polymery, které vhodnou modifikací upravili natolik, že vykazují vlastnosti polovodičů a je možno je použít v elektronice. Zmíněné materiály je možné rozpustit a připravit z nich výrobky požadovaných vlastností. Výsledek ve formě pasty nebo inkoustu je možné na látku aplikovat potažením nebo vytisknutím, čímž se stane její součástí.[23]

Takové textilie zatím není možné prát v pračce, ale až se najde vhodná povrchová úprava, tak to bude jistě možné.

Úspěšný vývoj solárních článků představuje důležitý krok ve využití obnovitelných zdrojů, jejich stále větší rozšíření vede k začlenění solární výroby elektrické energie do textilií. Textilie jsou materiály s obrovským rozsahem využití.

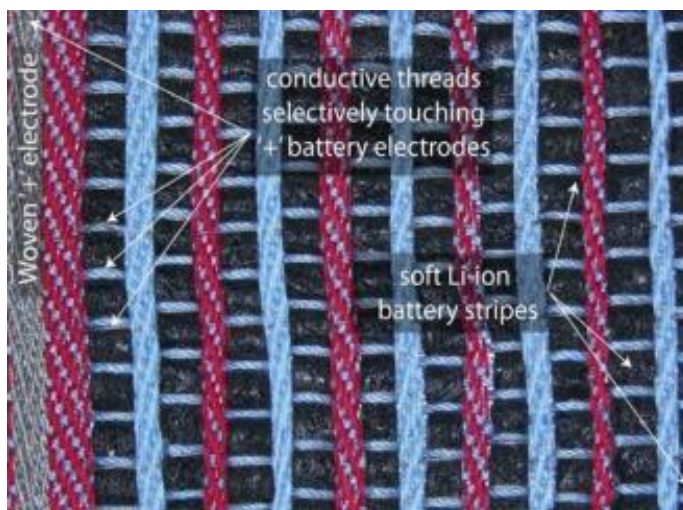
Využití solárních článků si již našlo několik uplatnění v textilním oboru. Tyto články jsou provedeny tak, aby byly flexibilní a pružné jako textilie, ve které jsou začleněny. Uplatnění takových textilií je mnoho, možnosti využití jsou na obr. 9. Využívat textilie nebo oblečení, které jsou sami o sobě zdrojem energie, je vhodné především na cesty nebo do míst, kde není možné využít energetické sítě. Takovým možným využitím je jejich používání jako přímého zdroje, případně k nabití baterie. Tímto způsobem pak můžeme dobít mobily, přehrávače nebo napájet elektronické přístroje jako například měřicí a indikační prvky v e-textilu.



Obr. 9. Ukázky použití solárních textilií. Vlevo a uprostřed v taškách a vpravo je solární panel umístěn v límci lyžařské bundy.[24,25]

### Textilie jako baterie

Výzkumníci z Polytechnické školy v Montrealu v Kanadě přišli s revolučním vynálezem. Vytvořili prototyp **flexibilní baterie**, která může být vetkána do tkaniny. Baterie byla vytvořena ze sendvičových vrstev polyethylenoxidové elektrody mezi lithium-iont fosfátovou katodou a anodou lithium titanu. Při mírném zahřátí se tyto termoplasty protáhnou do vláken, které je pak možné využít pro vytvoření textilie.



Obr. 10. Struktura textilie obsahující vlákna baterie [26]

Jemné pásky baterie jsou integrovány do tkaniny, jak je vidět na obr. 10, kde mají svou úložnou kapacitu. Vodivé nitě vpletené do látky propojují baterie a tak vzniká inteligentní textilie, která možná v budoucnu získá velmi užitečné uplatnění. Díky speciálním vodivým nitím není třeba používat elektrolyt (jinak běžná součást klasických baterií), což je pro vytvoření speciální textilie velmi výhodné. Jde tak o první lithium-iontovou baterii, která ke svému fungování tekutý elektrolyt nepotřebuje.[26]

Podle výzkumného týmu v čele s Maksimem Skorobogatiy může oděv poskytnout stovky voltů elektřiny, což lze využít např. pro nabíjení běžné drobné elektroniky v každodenním užívání. Významnost této technologie také podle vědců spočívá v možném využití ve zdravotnictví. Inteligentní textilie možná budou moci posloužit lidem s onemocněními, při nichž jsou závislí na určitých elektrických přístrojích, např. lidem se srdeční arytmií.

Nová textilie představuje velký objev, ale má i své nevýhody. Jde především o její vodotěsnost, aby se předešlo možným problémům při vystavení různým druhům kapalin.

### 2.6.2 Elektronické textilie

Integrace miniaturizovaných elektronických součástí, jako jsou čidla a mikročipy k zjišťování vnějšího působení a vyvolání patřičné odezvy je úkolem výzkumu řady předních výrobců. Výsledkem tohoto výzkumu jsou výrobky označené jako elektronické textilie (e-textil) či textronika.

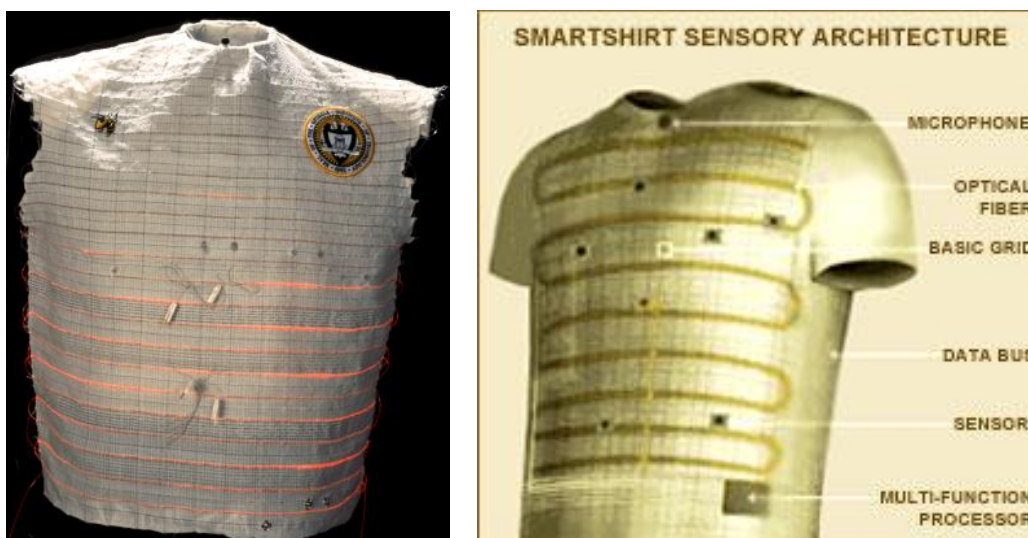
Během několika posledních desetiletí bylo dosaženo v tomto oboru velkých úspěchů, a to především v oblasti vojenských oděvů a v medicíně. Zavedením elektroniky do oděvů je možné sledovat a zaznamenávat činnost srdce, tlak a tep uživatele, dále dech, teplotu a další jiné možné činnosti oznamující nositelům textilií a lékařům případné poruchy organismu.

### Textilie, které monitorují lidské tělo

Lze uvést několik příkladů, jak je využito spojení textilu s elektronickými prvky, senzory a dalšími akčními členy pro potřeby medicíny.

Průkopníkem integrace elektroniky do textilu se stal výzkumný ústav Georgia Institute of Technology z Atlanty. Na konci roku 1990 navrhli nositelný základní systém, který se skládá z nositelné tkaniny s vetkanými vodivými a optickými vlákny. Poslední vyvinuté verze umožňují zapojení různých konvenčních senzorů ke sledování různých ukazatelů, jako jsou např. srdeční tep, rychlost dechu nebo tělesná teplota. Obr. 11. [27]

Významným produktem firmy Georgia Institute of Technology je inteligentní košile (SmartShirt), prototyp GTWM zhotovena pro bojové podmínky armády. Oblečení využívá optických vláken k detekci zranění a speciální čidla, která hlídají zdravotní stav. Lékařská čidla zabudovaná do košile tvoří ohebnou desku. Systém GTWM určuje přesnou polohu fyzikálního problému na těle a poskytuje informaci během několika sekund. To umožňuje zjistit, kdo potřebuje okamžitou pomoc v prvních hodinách boje, které jsou nejkritičtější v bojových akcích. Je také možné aplikovat do těchto oděvů čidla podle požadavků uživatele.[24]



Obr. 11. Vlevo: košile GWDT výzkumného ústavu Georgia Institute of Technology, vpravo je inteligentní košile firmy Sensatex.[24,27]



Využití inteligentních košil:

- zdravotní sledování nemocných a starších lidí
- sledování sportovců při zátěži
- monitorování personálu manipulujících s nebezpečnými materiály
- sledování polohy vojáků v akci
- monitorování pilotů nebo řidičů

Dalším využitím je speciální dětské tílko vybavené čidly. Tento oděv je koncipován jako nástroj prevence proti syndromu náhlého úmrtí novorozenců. Obleček je obdařen zejména senzorem dýchání a srdeční činnosti. Jejich údaje jsou shromažďovány prostřednictvím procesoru, který může aktivovat alarm v případě přímého ohrožení, jak je vidět na obr. 12. Čidla jsou rozmístěna tak, aby nenarušovala pohyb a spánek dítěte.



Obr. 12. Dětské tílko, výrobek ITV Denkendorf [24]

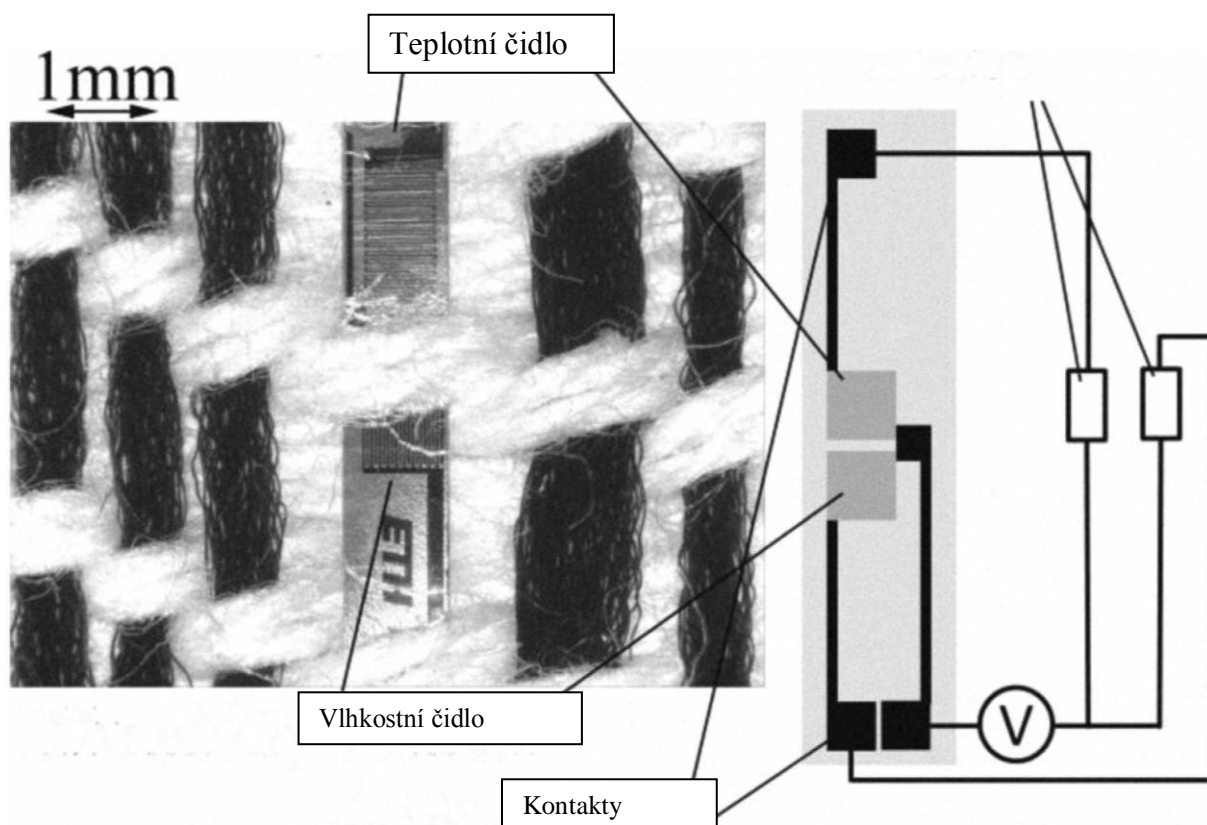
### 2.6.3 Využití senzorů v textiliích

#### *Teplotní a vlhkostní senzory v textiliích*

Možnost začlenit senzory do textilií již není takový neřešitelný problém, jako tomu bylo v minulosti. Potřeba spojit elektroniku a textil umožnila vznik tzv. e-textilu. První zařízení vyvinuté v této oblasti používají standardní křemíkové čipy nebo senzory, které jsou spojeny

s textilem lepením nebo šitím. Jedna z nevýhod těchto zařízení je rozdílná pružnost textilního materiálu a použité křemíkové technologie. Další nevýhoda je v objemnosti čipů a senzorů na bázi křemíkové technologie ve srovnání s použitými textiliemi. To vedlo k integraci elektronických funkcí přímo do vláken a přízí.

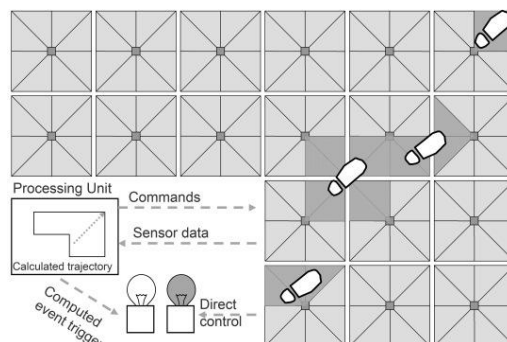
Výzkumné týmy vyvinuly takový senzorový systém, který lze tkát do textilií pomocí tkacího stroje a tyto senzory vydrží mechanické namáhání vyskytující se během tkacího procesu. Čidla jsou součástí pružného polymeru, který je vetkán do textilií, jak je vidět na obr. 11. Signál, který se má přenášet ze senzoru, je veden pomocí vodivých vláken. Vodivá vlákna jsou nalepena na kontaktní polštářky pomocí vodivého lepidla a spojena se čtecím a vyhodnocovacím zařízením. Schéma propojení je znázorněno na obr. 13. [28]



Obr. 13. Vetkaný senzor teploty a vlhkosti (vlevo), schéma snímací jednotky (vpravo) [28]

### Velkoplošné senzory pro detekci pohybu

Tento velkoplošný senzorový systém je založen na principu inteligentní textilie. Je zabudován v podlaze a je schopen detekovat pohyb osob po podlaze a také je schopen vypočítat případnou trajektorii pohybu uvedené osoby. Systém je schopen rozeznat mezi pohybem nebo případným pádem.



Obr. 14. Schéma systému velkoplošného senzoru [29]

Schéma systému je zobrazen na obr. 14. Celý prostor je rozdělen na trojúhelníkové části snímačů. Osm senzorů je připojeno na rádiový modul a snímané události jsou bezdrátově vysílány k přijímači, kde jsou vyhodnocovány. Na základě vyhodnocení v přijímači může být provedeno několik dalších operací jako například otevírání dveří, rozsvícení nebo zhasnutí světla, případně přivolání pomoci. [29]

#### 2.6.4 Textilie s tvarovou pamětí

Pro využití inteligentních textilií v oděvu je třeba, aby teploty potřebné k tvarové paměti materiálů se pohybovaly a spínaly v okolí 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. Vložením pružiny mezi dvě vrstvy textilií se nad aktivační teplotou vyboulí, zvětší se vzdálenost mezi textiliemi a tak se získává ochrana proti přehřátí.

Při užívání polyuretanových folií se tyto 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 natolik velká, aby překonala odpor textilií a síly působící při pohybu uživatele. Deformace folií působí stejně i při ohřátí textilií.

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 vodivost mezi grafitovými částicemi. Tyto materiály mohou automaticky řídit zapínání a vypínání elektřiny a udržovat tak stálou teplotu.

Slitiny s tvarovou pamětí skýtají také možnosti miniaturizace zařízení a soustav, u kterých je třeba snižovat počet součástí k rozšíření životnosti díky příznivým únavovým vlastnostem slitin.

Podobným vývojem prochází i EAP technologie, dříve než dojde životaschopným komerčním využitím. K dalšímu rozvoji je důležitý multidisciplinární přístup. K využití EAP pro inteligentní textilie je třeba vyvinout vláknové EAP aktuátory a senzory, aby se daly integrovat do textilií. Velikost změn rozměru, kterých je možné dosáhnout u EAP působením elektrického pole, umožňuje nové způsoby využití EAP pro konstrukci inteligentních textilií.

Poměrně jednoduchá příprava a vytvarování EAP materiálů, spolu s jejich nízkou hmotností a velkými deformačními posuvy, otevírá novou cestu v současném použití v tradičních výrobcích, právě tak jako k jejich potenciálním možnostem v budoucnosti.

### 2.6.5 Textilie s fázovou přeměnou

Tkaniny obsahující materiály s fázovou změnou - Phase Change Materials (PCM) jsou používány v různých aplikacích jako například v technických textiliích, domácím textilu a oblečení.

Technologie fázové změny pochází z NASA (National Aeronautics and Space Administration) výzkumného programu. Cílem tohoto programu je poskytnout astronautům a zařízením lepší ochranu proti extrémním výkyvům teplot v prostoru. Materiál nesoucí název Outlast je speciální textilie speciálně vyvinutá pro kosmonautiku. Vlastníkem ochranné známky je americká firma *Outlast Technologies, Inc.* založená roku 1990.

Outlast vyniká především výbornými termoregulačními vlastnostmi. Principem dosažení těchto vlastností jsou speciální miniaturní mikrokapsule, zapuštěné do látky. Tyto kapsle obsahují tzv. PCM. Tato technologie spočívá v tom, že na základě teplotních změn organismu, či ovzduší, se mění skupenství materiálu PCM. Během změny skupenství totiž dochází ke značné absorpci nebo naopak uvolnění energie, čili tepla, kterou tak PCM dodává nebo odebírá organismu.

Kromě původního, kosmonautického využití, se dnes Outlast používá prakticky ve všech

oblastech oděvního průmyslu. Využívá se však i ve zdravotnictví, průmyslu, či armádě.[1]

### Nositelná elektronika

Velká pozornost v celosvětovém měřítku je věnována výzkumu a vývoji v oblasti implementace pokročilých technologií do textilu a oděvů. Termíny jako nositelná elektronika, inteligentní oděvy atd. se stávají realitou. Mobilní komunikace otevřela odvětví informačních technologií nové trhy. Další fáze miniaturizace činí elektroniku skutečně oblékatelnou, to znamená, že jednotlivé funkční moduly elektronických systémů jsou integrovány na různých místech do oděvu a jsou propojovány do konkrétních komunikačních, počítačových a senzorových sítí.

Bylo učiněno velké množství pokusů integrovat do oděvů různé elektronické přístroje jako například mobilní telefony, MP3 přehrávače, minipočítače a iPad.

### Interaktivní textilní výrobky

V dnešní společnosti jsou komunikační technologie, interaktivní a přenosné přístroje nejlepšími zdroji pro inovaci a jsou předmětem rozsáhlého zájmu trhu. Integrace přenosné elektroniky s textiliemi se ukazuje jako nový přirozený a perspektivní zájem výroby.

Jako interaktivní byly například vytvořeny jednovrstvé textilní klávesnice s kapacitními čidly, v nichž jsou hedvábím vyšívané izolované bodové kontakty. Dotyk prstu s elektrodou zvýší celkovou kapacitu, což je možné uskutečnit jedním jednosměrným digitálním prepínačem u každé elektrody. Výsledkem je klávesnice, která je ohebná, trvanlivá s reakcí na pouhý dotek.[24] Existuje již celá řada výrobků založených na klávesnicích, jak ukazuje obr. 15. Mohou to být klávesnice k počítačům, telefonům, ale i klávesnice hudební.



Obr. 15. Kapacitní a ohebná klávesnice [24]

## Svítilí textilie

Svítilí textilie představují zajímavý vynález kombinující nejrůznější techniky. Navrhované řešení spočívá v integraci optických vláken se světelnými emisními diodami (LED). Optická vlákna jsou světlována a povrchovou abrazí se zajistí výstup světla z povrchu vláken. K realizaci této inovace je třeba světelného zdroje (např. LED) a zdroje elektrického (např. baterie).[29] Ukázka návrhů, jak mohou vypadat textilie, je na obr. 16.

Tyto svítilí textilie je možné využít pro nejrůznější účely:

- přenosné počítače, s využitím displeje ze svítilí textilie
- domácí textilie a móda

Další možné využití v této oblasti jsou tzv. chameleonské textilie. Jsou to textilie, které vyzařují nebo pohlcují části barevného spektra nebo pouze mění vratně svoji barvu na základě změn podmínek okolí. Podle vnějších podmínek, které způsobují změny ve vláknech textilií, jsou děleny na textilie: [3]

- termochromní - reagují na změny teploty
- elektrochromní - reagují na změny elektrického proudu
- piezochromní - reagují na změny tlaku
- solvatochromní - reagují na změny kapalin
- karsolchromní - reagují na změny elektronového svazku
- fotochromní - reagují na změny světla

Některá vlákna emitují barvu, jestliže jsou ozářena UV zářením (fluoreskují), jiná mění svoji barvu po ozáření viditelným světlem.



Obr. 16. Návrhy svítilích textilií [30]

## 3 Materiály pro výrobu žáruvzdorných textilií

### 3.1 Hořlavost textilií

Hořlavost textilií je náchylnost textilních materiálů ke vznícení a jejich chování při hoření. Běžné typy přírodních a syntetických vláken jsou hořlavé organické látky. Proces hoření je složitá soustava fyzikálně-chemických dějů. Pro hoření textilního materiálu je zapotřebí hořlavý materiál, dostatečná tepelná energie a dostatečné množství kyslíku.

Samotnou hořlavost materiálu ovlivňují vlastnosti:

- fyzikální - srážlivost, tavitelnost
- chemické - obsah C, O, N
- geometrické - tvar, hmotnost, vazba

Podle hořlavosti můžeme rozlišovat vlákna:

- hořlavá - tato vlákna hoří i po vyjmutí z plamene, jsou to např. bavlna, len, viskóza nebo polyakrylonitril;
- samozhášející - vlákna hoří, ale po vyjmutí z plamene pohasnou, v této skupině jsou např. vlna, přírodní hedvábí, polyester, polyamid, polypropylen;
- nehořlavá - vlákna této skupiny se v plameni pouze taví a po vyjmutí z něj ihned zhasínají např. PVC, oxidovaná PAN.

#### 3.1.1 Limitní kyslíkové číslo

Limitní kyslíkové číslo (Limiting Oxygen Index (LOI)) udává minimální koncentraci kyslíku v definované směsi dusíku a kyslíku, při níž vzorek ještě hoří.

Tato zkušební metoda byla zavedena v USA v roce 1977. Do skleněné trubice v přístroji, ve které prochází směs kyslíku a dusíku, je zavěšen zkoumaný vzorek, který je shora zapálen.

Výpočet % koncentrace se provádí podle vzorce

$$LOI = \frac{O_2}{O_2 + N_2} \cdot 100 [ - ] \quad (4)$$

kde  $O_2$  označuje objem kyslíku a  $N_2$  objem dusíku.

Čím je tato hodnota LOI větší, tím je odolnost proti hoření větší. Tabulka 2. udává přehled vybraných vláken a jejich LOI.

Tab. 2: LOI vybraných textilních vláken

Vlákno	LOI%	Vlákno	LOI%	Vlákno	LOI%
Pozakryl	17-18	Viskóza	17-19	Bavlna	18-20
Polethylen	17,5	Viskóza <b>FR</b>	30	Bavlna <b>FR</b>	31-32
Acetát	17-19	Polyamid	20-22	Vlna	24-25
Polypropylen	17-18	p-aramid	31	Vlna <b>FR</b>	33
Polyester	21	m-aramid	42-52	Zylon	68
Polyester <b>FR</b>	28	uhlík	60	Teflon	Nad 95

**FR** - použití retardéru hoření

### 3.2 Nechořlavá úprava textilií

Snížení hořlavosti textilií je možné docílit v podstatě dvěma způsoby:

- buď při výrobě textilií použít vláken se sníženou hořlavostí;
- nebo aplikovat povrchovou úpravu na již zhotovené textilie ze snadno hořlavých vláken.

Podle trvanlivosti dělíme úpravu na:

- *dočasnou* - tato úprava nemá stálost při praní a vodě. Je tedy vhodná pro textilie, které nepříjdou do styku s vodou. Mezi vhodné prostředky pro tuto úpravu patří anorganické soli, např.  $(\text{NH}_4)\text{HPO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)\text{CO}_3$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , borax. Touto úpravou se zhoršuje omak, povrch je drsnější.
- *polotrvalou* - má určitou odolnost proti vypírání, ta však neodpovídá normám pro trvalou nehořlavou úpravu. Tato metoda je založena na esterifikaci působením  $\text{H}_3\text{PO}_4$  nebo  $(\text{NH}_4)\text{HPO}_4$  na celulózu za přítomnosti dusíkatých sloučenin.
- *trvalou* - tato úprava musí odpovídat normám o stálosti ve vodě a praní. Nechořlavá úprava je založena na přípravcích se sloučeninami fosforu. Tyto přípravky musí být také hygienicky nezávadné a netoxické.

### 3.3 Vlákna se sníženou hořlavostí

#### 3.3.1 Čedičová vlákna

Čedičová vlákna patří mezi anorganická vlákna, která se vyrábí roztavením čedičové horniny. Základem vláken je čedič (basalt). Tato hornina je z velké části tvořena oxidem



křemičitým ( $\text{SiO}_2$ ). Pro výrobu čedičových vláken jsou vhodné tzv. kyselé čediče s obsahem  $\text{SiO}_2$  nad 46 %. S výrobou čedičových vláken se začalo po 2. světové válce.

Výrobní proces začíná roztavením horniny a její postupné zvlákňování při teplotě 1500 °C - 1700 °C. Vlákná se pro specifické účely dluží při teplotě 1300 °C. Tím získají tenkost pro textilní zpracování.[31]

Čedičová vlákna dokáží úspěšně nahradit azbestová vlákna pro své ekologické vlastnosti a nezanedbatelné zdravotní výhody.

Charakteristika vláken:

- velký tepelný rozsah použitelnosti
- nehořlavost, nízký obsah spalin
- minimální nasákavost
- dobrá chemická odolnost
- nízká tepelná vodivost
- vysoký elektrický odpor

### 3.3.2 Skleněná vlákna

Výroba skleněných vláken probíhá v tavících agregátech (sklářských vanách). Sklářská surovina se zahřívá na teplotu, při které dojde k tavení a homogenizaci sklářského kmene. To je směs sklářského písku a dalších složek. Roztavená sklovina protéká přes trysky. Kapky z trysky jsou navedeny na navíječku, která svou konstantní rychlostí protáhne roztavenou sklovinu na požadovaný průměr. Současně s protahováním se na vlákno nanáší tzv. lubrikace (nanášení vosků, olejů, želatin apod.), která dává vláknu vhodné vlastnosti pro další zpracování.

Skleněná vlákna jsou podle složení rozdělena do skupin. Pro textilní zpracování jsou vhodná skla skupin E (electric), S (strength), C (corrosion). Vlákná z E-skla jsou vhodná pro elektroizolační materiál. S-sklo vyniká svou odolností až do 1000 °C a je méně pružné. C-sklo vyniká svou odolností proti chemikáliím.[32]

Mezi vlastnosti skleněných vláken patří:

- vysoká pevnost,
- odolnost vůči vysokým teplotám,
- nehořlavost,
- dobrá chemická odolnost.

### 3.3.3 Uhlíková vlákna

Uhlíkové vlákno je název pro vlákno obsahující uhlík v různých modifikacích. Jsou to tenká vlákna o průměru 5 μm - 8 μm složená převážně z atomů uhlíku. Díky krystalovému uspořádání se vyznačují vysokou pevností.

Postup výroby uhlíkových vláken je nejčastěji z prekurzoru polyakrylonitrilových (PAN) vláken. Poté následují další úpravy:

- stabilizace - oxidace na vzduchu při teplotě 200 °C - 300 °C po dobu max. do 1 hodiny;
- karbonizace - převod prekurzoru na uhlíkové vlákno. Provádí se v dusíkaté atmosféře při teplotě 1000 °C - 1500 °C;
- grafitizace - nemusí se provádět, ale pokud se provede, vzniknou grafitová vlákna. Provádí se v inertní atmosféře při teplotě 2000 °C - 3000 °C;
- povrchové úpravy - provádí se pro zlepšení povrchu k dalšímu zpracování. Například se vlákna máčí v kyselině dusičné. [33]

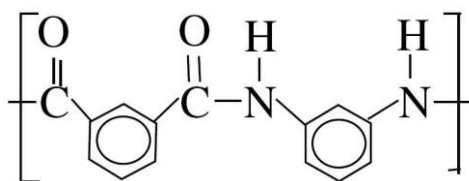
Tato vlákna jsou odolná proti vysokým teplotám, pokud jsou chráněna před oxidací. Stabilně vydrží do 1000 °C, ale pokud jsou chráněna před oxidací, teplotní odolnost se posouvá až ke 2000 °C. Mezi dalšími vlastnostmi je minimální tepelná roztažnost, chemická odolnost a elektrická vodivost.

### 3.3.4 Aramidová vlákna

Tato vlákna byla popsána v předchozím oddíle, zde je uvedeme jako zástupce možnosti při použití pro vysokoteplotní využití. Nejvýznamnějším produktem je materiál Nomex®.

#### Nomex®

je hlavní zástupce skupiny meta-aramidů. S výrobou nomexových vláken se začalo v 60. letech minulého století. Výrobcem je americká firma DuPont, která tento výrobek uvedla na trh v roce 1967. Nejlepší vlastností Nomexu je výborná odolnost proti vysokým teplotám, sám se netaví a nescapává. Působením tepelné zátěže na nomexová vlákna nedochází k jejich přetržení a nedochází uvolňování toxických látek. [6]



Obr. 17. Chemická struktura Nomexu®

### 3.3.5 Speciální vlákna

Jedním z vysoce užitných typů syntetických vláken je vlákno na bázi reaktoplastické melaninové pryskyřice. V současnosti je možné je svým významem zařadit vedle již dokonale vyvinutých aramidových nebo polyfenylensulfidových vláken, s tím jak narůstá současná potřeba dokonalejších a cenově příznivějších nehořlavých vláken.

Melaninové vlákno je materiál, ve kterém je alespoň 50 % hmotnosti vláknotvorné substance složené ze zesíťované melanin-formaldehydové pryskyřice.

Mezi nejvýznamnější vlastnosti těchto vláken patří:

- vysoká tepelná odolnost - počátek degradace při 350 °C
- vynikající bariérové vlastnosti proti přímému plameni- nehořlavost, samozhášivost
- vysoká rozměrová stabilita
- netavitelnost, vysoké LOI
- nízká tepelná vodivost
- dobré elektroizolační vlastnosti

Tato vlákna jsou vhodná ke kombinaci s jinými teplotně odolnými vlákny, jako jsou například aramidy. Při vysokých teplotách výborně tepelně izolují a po delší době uhelnatí bez vývinu jedovatých splodin.[7]

### 3.3.6 Azbestová vlákna

Azbest je přírodní vláknitý křemičitanový minerál. V přírodě se vyskytuje ve dvou hlavních skupinách: buď jako amfiboly nebo jako serpentiny. Jednotlivé druhy se liší zbarvením a svým chemickým složením. Azbestové minerály obsahují 40 - 60 % křemíku, zbylou část tvoří oxidy železa, hořčíku a dalších kovů. Nejběžnějším azbestovým materiálem je chrysolit ze serpentinové skupiny. Do skupiny amfibolů patří například tremolit nebo aktinolit.

Azbestová vlákna jsou odolná proti vysokým teplotám a většině chemikálií. Mají velkou pevnost v tahu. Velkou výhodou jsou nízké náklady při získávání surového azbestu.

Díky své vysoké tepelné odolnosti byla azbestová vlákna používána jako tepelně i elektroizolační materiál, brzdové obložení, ohnivzdorné textilie. Největší využití našel azbest ve stavebnictví.[34]

**Škodlivost azbestu** - začátkem 20. století byly poprvé zjištěny dopady na lidský organismus. Při rozkladu výrobků z azbestu se uvolňují drobná vlákna, která mohou způsobovat rakovinu

plic a jiné poškození zdraví.[35] Pro tyto špatné vlastnosti azbestu je v České republice, podobně jako v jiných zemích Evropské unie, uvádění výrobků z něj na trh zakázáno.

### 3.3.7 Keramická vlákna

Tento materiál byl popsán v kapitole 2.1.5. Pro připomínku uvádím jejich výhody, pro které se tato vlákna využívají v aplikacích se zvýšenou teplotou. Je to především vysoká tepelná odolnost a malá tepelná roztažnost.

## 3.4 Možnosti využití žáruvzdorných textilií

Žáruvzdorné textilie a vlákenné útvary jako vaty a netkané textilie mají své využití v mnoha oborech. Pro své vlastnosti, kterými se vyznačují, najdou uplatnění v aplikacích se zvýšenou teplotou. Uveďme dva hlavní směry využití textilií s velkou odolností proti vysokým teplotám.

Jako první směr je ochrana před vysokými teplotami a druhý směr je vysokou teplotu udržovat před ochlazením z okolí.

### Vysokoteplotní izolační textilie

Jsou to průmyslové textilie s širokou škálou použití.

Druhy textilií:

- *keramické textilie* - jsou vyráběné z keramických vláken a jsou vhodné pro aplikace, kde je dlouhodobá pracovní teplota do 1100 °C. Použití keramických vláken a produktů z nich vyrobených je vysoce efektivní způsob řešení celé řady vysokoteplotních aplikací. Keramické textilie vynikají vysokou chemickou stabilitou.

- *skleněné textilie* - jsou vyráběné ze skleněných vláken na bázi skla typu E s tepelnou odolností až 650 °C. Tkané skleněné textilie jsou vyráběny v různých šířkách a tloušťkách. Skleněné textilie lze snadno sešívat k dosažení neomezených rozměrů.

Porovnání některých vlastností těchto textilií je uvedeno v tabulce č. 3.

Využitelné aplikace:

- izolace potrubí
- izolace kabelových vedení a kabelů
- základní materiál pro prošívané izolace
- ohnivzdorné závěsy a textilní požární uzávěry
- izolace parních a plynových turbín
- ochrana výfukových potrubí
- ochrana při svařování
- použití v automobilovém a leteckém průmyslu

Tab. 3 Porovnání keramických a skleněných textilií:

Popis sledovaného parametru	Skleněná textilie	Keramická textilie
Max. krátkodobé zatížení v °C	650	1200
Max. teplota dlouhodobého použití °C	500	1100
Min. teplota použití °C	-100	-100
Bod tání v °C	1100	1760
Objemová hmotnost v kg/m <sup>3</sup>	600 - 800	600 - 800

### Flexibilní izolační štíty

Izolační štíty jsou vrstvené izolační materiály používané jako tepelná izolace všech typů strojů, zařízení a přenosných systémů, kde dochází ke kontaktu s vysokými teplotami a tam, kde potřebujeme omezit tok a tepelné ztráty. Nejčastěji se používají jako izolace vstřikovacích válců, ventilů, čerpadel, kompenzátorů, agregátů, mohou se též použít pro dilatační spoje, rozvaděče elektrické energie a zařízení s nepravidelnými tvary. Izolační štíty lze také použít jako izolaci výfukových systémům velkých spalovacích motorů.[36]

Tvar a tloušťka izolace je volena individuálně, v závislosti na tom, pro jakou aplikaci budou štíty použity. Ukázky aplikací jsou zobrazeny na obr. 18.

Výhody:

- úspory energie o 30 - 40 %
- udržení požadované teploty
- snížení hladiny hluku
- vysoká životnost a chemická odolnost
- možnost opakovaného použití



Obr. 18. Příklady využití izolačních štítů [36]

### Ochranné oděvy proti teple

Ochranné oděvy, které chrání jeho nositele před vysokými teplotami, se používají v různých provozech a průmyslových odvětví, kde hrozí riziko úrazu popálením.

#### *Oděvy proti sálavému teple*

Základní vlastnostmi oděvů proti sálavému teple chránících jejich uživatele je ochrana:

- proti přímému plameni a sálavému teple,
- proti prostupu tepla sáláním, vedením a prouděním.

Obleky proti sálavému teple můžeme podle konstrukce a míry ochrany dělit na:

- lehké - chrání krátkodobě a skládají se z několika částí,
- střední - chrání před účinky sálavého tepla a krátkodobě proti přímému plameni. Skládá se z kapuce, kabátu, kalhot a rukavic,
- těžké - poskytují celistvou ochranu proti sálavému teple a přímým plamenům. Jsou konstruovány jako kombinézy nebo dělené obleky.

Různé provedení obleků je předvedeno na obr. 19.

Technické charakteristiky různých obleků se liší podle výrobce. Teplota možného použití oděvu může dosahovat až 1300 °C. Oděvy jsou vícevrstvé a mohou se skládat například z těchto materiálových vrstev:

- vnější vrstva - hliníková folie, chrání před sálavým teplem a rozstříkem tavenin
- nehořlavá tepelná izolace
- parotěsná zábrana

- vnitřní vrstva - Nomex
- nosná vrstva - Kevlar nebo skelná vlákna



Obr. 19. Ukázka obleků proti sálavému teplu [37]

### ***Zásahové obleky pro hasiče***

Zásahové obleky chrání zasahující hasiče před nebezpečnými vlivy během likvidace události. Každý zásah je specifický a hasiče při nich chrání jejich oděv. Ten musí splnit tyto nejsledovanější požadavky:

- při působení plamene nebo tekutého kovu se nesmí zapálit a dále hořet,
- při působení plamene se nesmí tavit a vytvářet vypálené otvory,
- nesmí se srážet působením tepla
- po celou životnost musí být oblek celistvý
- musí být antistatický (zabránění nahromadění elektrostatického náboje)
- tepelná izolace - při tepelném působení sáláním nebo prouděním musí materiály odolat prostupu tepla, které by mohlo vést k popálení uživatele obleku
- oblek musí zajišťovat komfort uživatele

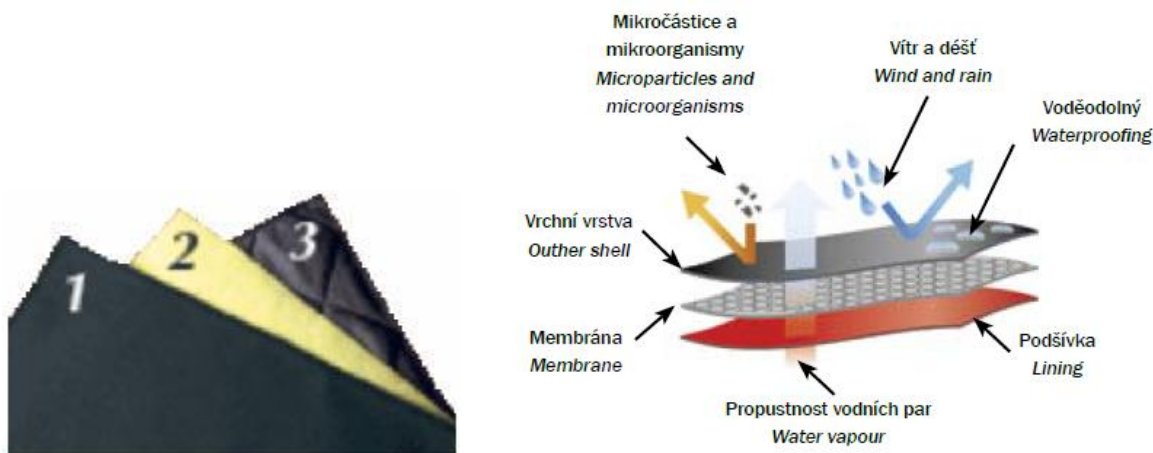
Oděvy se skládají ze tří vrstev, jak je vidět z obr. 20.

*Vnější vrstva* - textilie, která je nehořlavá, nesráží se a chrání vnitřní vrstvy oděvu proti ohni. Nejčastěji se na tuto vrstvu používají materiály Nomex<sup>®</sup>, PBI<sup>®</sup>/Kevlar<sup>®</sup>. Tato vrstva musí poskytnout odolnost proti plameni, roztrhnutí, prořezání a probodnutí.

*Vlhkostní bariéra* - je uložena pod vnější vrstvou a díky mikroporézní struktuře umožňuje

ochranu proti vodě a umožňuje odpařování tělesné vlhkosti ven od těla. Tato membrána je též nehořlavá. Nejčastěji používanou membránou je GORE-TEX®.

*Tepelné bariéra* - poslední vrstva, která má izolační vlastnosti a brání prostupu tepla k tělu uživatele. Většinou bývá vyrobena z materiálu Nomex® nebo Kevlar®. Tyto materiály byly popsány v kapitole 2.1.2 a 3.3.4.



Obr. 20. Vrstvy zásahového oděvu [38]

Zásahové oděvy pro hasiče se dostaly do pozornosti výzkumných ústavů a zlepšovatelů. Protože jsou uživatelé těchto oděvů vystaveni nepříznivým a nebezpečným situacím během zásahů, dochází k vylepšování zmíněných oděvů.

V současnosti probíhá výzkum, který se pokouší tyto zásahové oděvy vyzdvihnout do kategorie “inteligentních textilií“ nebo “Smart oděvů“. Tento projekt je nazvaný - Sensorové systémy pro inteligentní textilie. Cílem projektu je flexibilní, otevřený sensorový mobilní systém umožňující integraci do pracovních oděvů, uniforem a jiného oblečení, který může monitorovat životní funkce člověka a vlastnosti prostředí, ve kterém se člověk nachází.

Ve spolupráci Západočeské univerzity, firmy TESLA Blatná a.s. a firmy VOCHOC Plzeň vzniká model inteligentního zásahového oděvu. Tento model disponuje několika senzory:

- teplotní senzor - lze například použít termistor PT1000, který se vyrábí ve firmě TESLA Blatná a.s.
- vlhkostní senzor - princip interdigitálních elektrod s nanosenou senzitivní vrstvou
- senzor detekce NO<sub>2</sub> - princip elektrochemických ampérometrických senzorů
- senzor srdečního tepu - tento senzor je také součástí systému, je připevněn na těle uživatele



Dále mohou být k systému doplněny senzory  $H_2S$  nebo  $NH_3$ , které jsou k dostání v mnoha variantách na trhu.

System je koncipován jako modulární celek. To ho činí velice flexibilním, protože k němu bude moci být připojeno více senzorů a jiných aplikací, ať jsou již komerčně vyráběny nebo se postupně vyvíjí. Ve spolupráci s příslušníky HZS ČR se na obleku vytipovala místa ukrytí senzorů. Tato místa jsou volena tak, aby byla co nejvíce exponovaná sledovaným zatížením a zároveň nebránila hasičům v pohybu při zásahu (obr. 21). Senzory také nesmí znemožnit používat hasičům veškeré technické prostředky, které mají s sebou při plnění úkolů.



Obr. 21. Sensorový modul a alarm

Veličiny, které senzory nasnímají, se zpracují pomocí mikroprocesoru a poté bezdrátově přenesou do osobní monitorovací jednotky (obr. 22).



Obr. 22. Osobní monitorovací jednotka

Ta zároveň slouží jako zdroj pro připojené senzory. V osobní monitorovací jednotce dojde k uložení dat a dál jsou vyslána do centrální jednotky (obr. 23), kterou by měl mít velitel zásahu u sebe.



Obr. 23. Centrální jednotka

V jednotce se zobrazí veškeré informace od jednotlivých zasahujících hasičů. Hodnoty naměřené senzory se porovnávají s mezními hodnotami, jež jsou jako základní hodnoty vloženy do paměti osobní monitorovací jednotky. Pokud jsou překročeny limity sledované veličiny, dojde ke spuštění alarmu.

Tato problematika zásahových obleků mi je profesně velice blízká. Dokážu ocenit tuto inovaci výrobku z pozice uživatele (nositele) v praxi. Pokud by se v obleku osvědčily různé senzory hlídaných veličin a nebezpečných plynů, odpadlo by používání přenosných měřících přístrojů, které při plnění úkolů spojených s likvidací události mnohdy spíše překážejí. V neznámém zakouřeném prostoru budou tyto nové zásahové oděvy vítaným pomocníkem.

Oděvy s takovým vylepšením najdou uplatnění i v jiných oblastech, než je popsáno výše. S takovými textilními výrobky se můžeme setkat v armádě i kosmonautice. Spojení kategorie inteligentních a žáruvzdorných textilií dává nekonečnou řadu použitelných aplikací.

## 4 Kompozitní materiály

Kompozitní materiál neboli kompozit je heterogenní materiál složený ze dvou nebo více fází, které se od sebe liší mechanickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi a které dohromady poskytnou vzniklému výrobku nové vlastnosti. Obvykle jsou kompozity složeny z matrice a výztuže. Výztuže mají před matricí výrazně lepší mechanické vlastnosti.[39]

**Matrice** - jejím úkolem je spojení výztuže do požadovaného tvaru. Druh matrice určuje další vlastnosti kompozitů, jako je odolnost proti korozi, teplotě a ohni nebo elektro-izolační vlastnosti.

**Výztuže** - mají za úkol zajistit mechanické vlastnosti materiálu, především pevnost a tuhost. Běžnými výztužemi jsou skleněná, uhlíková a kevlarová vlákna. Druhy a rozložení vláken je na obr. 17. Jako výztuží v kompozitech se používají vlákna rozdrcená, sekaná nebo dlouhá. Ta mohou být zpracována na prameny, příze i tkaniny.



Obr. 20. Rozdělení kompozitních materiálů [39]

Začleněním vláken popsaných v této práci do kompozitů vzniknou materiály výborných vlastností, jakými je například zvýšená odolnost proti vysokým teplotám a vynikající pevnostní vlastnosti. Při kombinaci s optickými vlákny dokáží materiály odhalit stavy vnitřní struktury a včas upozornit na blížící se nebezpečí.

## **5 Závěr**

Inteligentní textilie musí být vyvíjeny s ohledem na snadnou přenositelnost a flexibilitu. Velmi kritizovaná je jejich nesnadná údržba praním a jejich celková životnost. V této oblasti stále zůstává velký prostor pro další modernizace a zlepšení. Lze předpokládat, že nastane velká integrace inteligentních textilních materiálů do textilních struktur a tím se výrazně zvýší výroba těchto textilií a oděvů.

Pro uživatele bude důležitým prvkem komfort a pohodlné užívání. Všechny tyto aspekty mohou velkou měrou ovlivňovat jeho rozhodování při nákupu. Inteligentní textilie jsou velice perspektivní oblasti, které nabízejí rozlehlé spektrum pro nové originální řešení textilních výrobků.

Pro textilní obor představují nové možnosti, které je třeba vhodně využít. Vývoj a uplatnění nových výrobků pro potřeby trhu ovšem vyžaduje širokou základnu informací a velmi dobrou spolupráci výrobců z mnoho oborů. Bez jejich technologických řešení a vzájemné spolupráce a komunikace bude rozvoj a výzkum v této oblasti ohrožen.

Samostatnou kapitolou bude vývoj nových technických norem zabývajících se inteligentními a žáruvzdornými textiliemi a vytvoření metod jejich testování. Je nutno tuto oblast podporovat a neustále budovat důvěru spotřebitelů při vylepšování textilních výrobků.

**Použitá literatura:**

- [1] Mattila H.: Intelligent textiles and clothing, 2006, Cambridge, England
- [2] Sodomka, L., Fiala, J.: Fyzika a chemie kondenz. látek s aplikacemi II, ISBN 80-239-1417-0, ADHESIV Liberec, 2003
- [3] Militký J.: Inteligentní textilie- realita nebo fikce?, Česká hlava a svět vědy, č. 7. roč. 2003, str. 23-26
- [4] Raab M.: Materiály a člověk, Praha, Encyklopedický dům, 1999
- [5] Kučerová E.: Elektrotechnické materiály, 2002, Západočeská univerzita Plzeň
- [6] Militký J. Textilní vlákna klasická a speciální. Skripta TUL, Liberec, 2002.
- [7] ČTPT - Česká technologická platforma protextil - Strategická výzkumná agenda, 2010
- [8] Hradil A.: Návrh mikroaktuátoru a využitím smart materiálů, DP, Brno, 2011.

**Elektronické zdroje:**

- [9] Smart textil [online]. 2013. Dostupné z <http://www.scribd.com/46071948/Smart-Textile>
- [10] Chytré materiály [online]. 2013. Dostupné z <http://21století.cz/blog/2011/03/23/technologie-a-budoucnost-chytre-materialy-kttere-meni-svet/>
- [11] Tvarová paměť materiálů [online]. 2013. Dostupné z [http://cs.wikipedia.org/wiki/Slitiny\\_s\\_tvarovou\\_pameti](http://cs.wikipedia.org/wiki/Slitiny_s_tvarovou_pameti)
- [12] Typy luminiscencí [online]. 2013. Dostupné z <http://en.wikipedia.org/wiki/Luminescence>
- [13] Základní vlastnosti vláken [online]. 2013. Dostupné z <http://www.skolatextilu.cz/vlakna/index.php?page=1>
- [14] Bavlna [online]. 2013. Dostupné z <http://www.cs.wikipedia.org/wiki/Bavlna>
- [15] Vlna [online]. 2013. Dostupné z [http://www.cs.wikipedia.org/Ovci\\_vlna](http://www.cs.wikipedia.org/Ovci_vlna)
- [16] Hedvábí [online]. 2013. Dostupné z [http://cs.wikipedia.org/wiki/Hedvábí](http://cs.wikipedia.org/wiki/Hedvabi)
- [17] Viskózní vlákna [online]. 2013. Dostupné z [http://cs.wikipedia.org/wiki/Viskózní vlákna](http://cs.wikipedia.org/wiki/Viskozni_vlakna)

- [18] Acetátová vlákna [online]. 2013. Dostupné z [www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/chemicka\\_vlakna.pdf](http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/chemicka_vlakna.pdf)
- [19] Optická vlákna [online]. 2013. Dostupné z [http://cs.wikipedia.org/wiki/Optické\\_vlákno](http://cs.wikipedia.org/wiki/Optické_vlákno)
- [20] Keramická vlákna [online]. 2013. Dostupné z [http://cs.wikipedia.org/wiki/Keramická\\_textilní\\_vlákna](http://cs.wikipedia.org/wiki/Keramická_textilní_vlákna)
- [21] Thermo-chromové barvy [online]. 2013. Dostupné z <http://www.smarttextiles.se/en/thetextilemateriallibrary/glimpses/325-thermo-cromic-ink-print>
- [22] Princip fotovoltaického článku [online]. 2013. Dostupné z <http://elektrika.cz/data/clanky/princip-fotovoltaikeho-clanku>
- [23] Speciální fotovoltaické textilie [online]. 2013. Dostupné z <http://cdr.cz/clanek/odev-z-fotovoltaicke-textilie-dokaze-nabit-mobil>
- [24] Současný stav v oboru inteligentních textilií [online]. 2013. Dostupné z <http://www.mateo.ntc.zcu.cz/doc/Stav.doc>
- [25] Solární lyžařská bunda [online]. 2013. Dostupné z <http://www.mycompanion.cz/cs/list/ermenegildo-zegna>
- [26] Baterie v textilií [online]. 2013. Dostupné z <http://www.nazeleno.cz/nazelenoplus/chytra-textilie-uchova-energii-misto-baterie.aspx>
- [27] Federico Carpi, Danilo De Rossi > Electroactive Polymer-Based Devices for e-Textiles in Biomedicine, IEEE Conference Publications, 2005, str. 295-297. [online]. 2013. Dostupné z IEEE Xplore
- [28] T. Kinkeldei, C. Zysset, KH Cherenack and G. Troster: A textile integrated sensor system for monitoring humidity and temperature, 2011, str. 1056-1059. [online]. 2013. Dostupné z IEEE Xplore
- [29] Christl Lauterbach, Axel Steinhage, Axel Techmer, Large-area wireless sensor system based on smarttextiles, IEEE Conference Publications, 2012, str. 1-2. [online]. 2013. Dostupné z IEEE Xplore
- [30] Svítící textilie [online]. 2013. Dostupné z <http://www.luminex.it>
- [31] Čedičová vlákna [online]. 2013. Dostupné z [http://cs.wikipedia.org/wiki/Čedičová\\_vlákna](http://cs.wikipedia.org/wiki/Čedičová_vlákna)
- [32] Skleněná vlákna [online]. 2013. Dostupné z [http://cs.wikipedia.org/wiki/Skleněná\\_textilní\\_vlákna](http://cs.wikipedia.org/wiki/Skleněná_textilní_vlákna)

- [33] Uhlíková vlákna [online]. 2013. Dostupné z [http://cs.wikipedia.org/wiki/Uhlíkové\\_vlákno](http://cs.wikipedia.org/wiki/Uhlíkové_vlákno)
- [34] Azbestová vlákna [online]. 2013. Dostupné z [http://cs.wikipedia.org/wiki/Azbestová\\_textilní\\_vlákna](http://cs.wikipedia.org/wiki/Azbestová_textilní_vlákna)
- [35] Škodlivost azbestu [online]. 2013. Dostupné z [www.irz.cz/repozitory/latky/azbest.pdf](http://www.irz.cz/repozitory/latky/azbest.pdf)
- [36] Izolační systémy [online]. 2013. Dostupné z [www.inheat.cz/produkty&idk=117](http://www.inheat.cz/produkty&idk=117)
- [37] Ochranný oděv proti sálavému teplu [online]. 2013. Dostupné z <http://www.gelnartex.cz/?e=produkty>
- [38] Zásahový oděv [online]. 2013. Dostupné z <http://foto.hasimehrou.cz/kestazeni/firehorse.pdf>
- [39] Kompozitní materiály [online]. 2013. Dostupné z [http://www.stefanmichna.com/download/technicke-materialy\\_II/kompozitni\\_materialy.pdf](http://www.stefanmichna.com/download/technicke-materialy_II/kompozitni_materialy.pdf)

