

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Technická fakulta

Katedra elektrotechniky a automatizace

## **Inteligentní materiály**

Bakalářská práce

Autor: **Marek Pech**

Vedoucí práce: Ing. Gunnar Künzel

Praha 2012

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra elektrotechniky a automatizace

Technická fakulta

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pech Marek

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

**Inteligentní materiály a jejich využití**

Anglický název

**SMART materials and their applications**

## Cíle práce

Provést rozbor principů, konstrukce a rozdělení typů těchto materiálů a zaměřit se na jejich použití v mechatronických výrobcích

## Metodika

Provést rešerši na uvedené téma

Analyzovat jednotlivé principy a typy inteligentních materiálů a struktur

Seznámit se s možnými charakteristikami chování inteligentních materiálů

Zpracovat přehled využití těchto materiálů v technických zařízeních.

Zhodnotit možnosti a perspektivy těchto materiálů

## Osnova práce

Inteligentní materiál- struktura a chování

Analýza jednotlivých typů inteligentních materiálů

Vybrané aplikace inteligentních materiálů a struktur

Perspektivy SMART materiálů v konstrukcích mechatroniky

**Rozsah textové části**

35 str. včetně příloh

**Klíčová slova**

Inteligentní-SMART materiál, struktura, chování, paměť, aplikace

---

**Doporučené zdroje informací**

Husák M.: Mikrosystémy a mikroaktuátory, Academia, Praha, 2008

Janovec J. a kol.: Perspektivní materiály, ČVUT, Praha, 2001

Lipták J.: Úvod do elektrotechnických materiálů, FE ČVUT, Praha, 2005

Časopisy JMO, Automatizace, Automa, Technik, Sdělovací technika

---

**Vedoucí práce**

Künzel Gunnar, Ing.

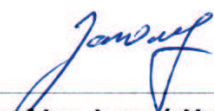
**Termín zadání**

listopad 2010

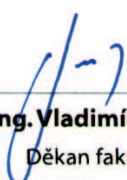
**Termín odevzdání**

duben 2012

---

  
**prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.**  
Vedoucí katedry



  
**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**  
Děkan fakulty

V Praze dne 4.2.2011

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma:

Inteligentní materiály

vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

---

(podpis autora)

V Praze dne 1. 4. 2012

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Gunnaru Künzelovi za metodickou pomoc, cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této práce.

## Inteligentní materiály

**Abstrakt:** Tématem této bakalářské práce je problematika inteligentních materiálů (někdy též zvaných SMART). Od ostatních materiálů se liší svou schopností reagovat na vnější podněty. Ačkoli se jedná o poměrně krátce využívané materiály, v současnosti nacházejí své uplatnění v mnoha oborech (lékařství, textilní, automobilový a letecký průmysl atd.). Na druhou stranu jsou mnohdy zbytečně opomíjeny. Cílem této práce je inteligentní materiály představit a roztrždit podle charakteristických vlastností, principů a využití. Značná pozornost je věnována především vodivým polymerům a slitinám s tvarovou pamětí.

**Klíčová slova:** smart, senzor, inteligentní, vodivost, tvarová paměť

## Smart material

**Abstract:** Theme of bachelor thesis is intelligent materials, which are also called SMART sometimes. Difference between the intelligent and other materials is that intelligent materials are able to change their qualities under changing conditions. Although these materials have been in use shortly, they are used in a lot of fields (e.g. medicine, textile industry, automotive and aeronautics) recently. On the other hand, these materials are unfortunately unnoticed often. Aim of thesis is to present intelligent materials and categorize them according to their characteristics, principles and utilizations. Main part of this paper is mainly focused on conductive polymer and shape memory alloys.

**Key words:** smart, sensor, intelligent, conductivity, shape memory

## Obsah

1. Úvod.....	1
2. Inteligentní materiály .....	2
3. Analýza jednotlivých typů inteligentních materiálů .....	3
3.1 Materiály měnící své vlastnosti .....	3
3.1.1 Materiály se schopností měnit barvu .....	3
3.1.2 Termotropní materiály.....	8
3.1.3 Magnetoreologické/ elektoreologické materiály .....	9
3.1.4 Vodivé polymery .....	10
3.2 Materiály transformující dodávanou energii.....	10
3.2.1 Piezoelektrické materiály .....	11
3.2.2 Fotovoltaické materiály .....	12
3.2.3 Luminiscenční materiály .....	12
3.2.4 Slitiny s tvarovou pamětí.....	13
4. Vybrané aplikace inteligentních materiálů a struktur .....	14
4.1 Vodivé polymery.....	14
4.1.1 Taktilní senzor FSR .....	17
4.2 Slitiny s tvarovou pamětí .....	19
4.2.1 Martenzitická transformace.....	22
4.2.2 Pseudoplasticita.....	22
4.2.3 Superplasticita .....	23
4.2.4 Tepelné senzory .....	25
5. Perspektivy SMART materiálů v konstrukcích mechatroniky .....	28
6. Závěr.....	31
7. Citovaná literatura .....	32
8. Seznam obrázků .....	36

## 1. Úvod

Bakalářská práce se snaží shrnout dosavadní poznatky o problematice týkající se tzv. inteligentních materiálů. Tyto materiály nás obklopují a spoluvytváří svět kolem nás, a přesto se jedná o téma poměrně dosti opomíjené, neznámé a existuje o něm velmi málo publikací.

Inteligentními materiály se myslí takové materiály, které dokážou reagovat na okolní podněty změnou svých vnitřních nebo vnějších vlastností. Mohou tak měnit např. svou barvu, tvar, vodivost atd. Tím se stávají velmi atraktivními pro mnoho oborů.

Inteligentní materiály zde rozdělujeme podle jejich vlastností a následně se podrobněji věnujeme několika vybraným. Zaměřujeme se také na využití těchto materiálů v blízké budoucnosti a na jejich přínos vědě a pokroku.

V první kapitole „Inteligentní materiály“ je obecně popsáno, jaké skupiny materiálů mezi inteligentní patří.

Druhá kapitola „Analýza jednotlivých druhů“ se zabývá dvěma kategoriemi materiálů rozdělených podle reakce na vnější podněty. Materiály jsou dále členěny na jednotlivé typy podle vlastností.

Následující kapitola „Vybrané aplikace inteligentních materiálů a struktur“ podrobněji popisuje vodivé polymery a slitiny s tvarovou pamětí. Jsou zde uvedeny vlastnosti, principy i použití těchto dvou typů materiálů.

Závěrečná kapitola „Perspektivy SMART materiálů v konstrukcích mechatroniky“ ukazuje, kde všude se lze v budoucnu setkat s inteligentními materiály a co od nich můžeme očekávat. Jsou zde nastíněny nové vize materiálů z leteckého a textilního průmyslu i z lékařství.



## 2. Inteligentní materiály

Inteligentní materiály, též zvané smart, jsou materiály, které se od běžných liší svými jedinečnými vlastnostmi. Jedná se o materiály s jednou nebo více vlastnostmi jako je tvar, barva, skupenství a vodivost. Na základě vnějších podmínek prostředí se mohou výrazně a reverzibilně měnit. Mezi vnější podmínky patří např. světlo, teplo, elektrické pole. (1)

Inteligentní materiály jsou rozděleny na dva typy. Do prvního typu spadají materiály měnící své vlastnosti. Nejčastěji se mění chemická nebo mikroskopická struktura, reagující na určité podněty. Hlavními zástupci této skupiny jsou chromní materiály se schopností měnit barvu, termotropní, které umožňují přecházet z jedné fáze do druhé, vodivé polymery umožňující přenos elektrické energie a nakonec materiály magnetoreologické. Druhým typem jsou materiály, jež dokážou transformovat dodávanou energii. Nemění svou strukturu, ale mění svůj energetický stav. Do této kategorie patří materiály piezoelektrické, charakteristické výskytem povrchového napětí v průběhu deformace, fotovoltaické, u kterých se objevuje vlivem slunečního záření elektrický proud, luminiscenční, jež dokážou díky dodané energii světélkovat a slitiny s tvarovou pamětí, umožňující návrat do původního tvaru, jsou-li zdeformovány. (2)

### **3. Analýza jednotlivých typů inteligentních materiálů**

Tato kapitola je rozdělena na dvě části. V první se zabývá kategorií inteligentních materiálů, které dokážou měnit své vlastnosti. Ve druhé jsou materiály měnící svou strukturu. Jednotlivé typy jsou rozděleny podle reakce na vnější prostředí, jsou představeny jejich vlastnosti a příklady, kde se využívají.

#### **3.1 Materiály měnící své vlastnosti**

Hlavními zástupci materiálů se změnou vlastností jsou materiály chromní, které mají schopnost měnit barvu, dále materiály termotropní, umožňující přecházet z jedné fáze do druhé. Posledními představiteli jsou vodivé polymery a magnetoreologické materiály. (3)

##### **3.1.1 Materiály se schopností měnit barvu**

Ve skutečnosti vnější zdroje nedokážou měnit barvu, ale mění optické vlastnosti. Příkladem je pohlcení a zeslabení záření při jeho dopadu na povrch, tzv. absorpce. Odrážení světla od povrchu je považováno za další změnu vlastností. Rozptýlením světla do okolí dojde rovněž ke změně barvy. Do skupiny, s výše popsanými vlastnostmi, řadíme fotochromní, termochromní, mechanochromní, chemochromní, elektrochromní a halochromní materiály. (3)

###### **3.1.1.1 Fotochromní materiály**

Optická přeměna barvy nastává změnou intenzity světla. Ve většině případů bývají ve tmě bezbarvé, po dopadu slunečního záření nastává změna barvy. Rovněž je vyvolána i vlivem UV záření. Jev je provázen vratným, ale i nevratným stavem. Nejvíce nacházejí uplatnění u dioptrických brýlí, dále u slunečních, kde se používají jako samozabarvovací skleněné nebo plastové čočky. Na obr. 1 je vidět průběh změny intenzity světla. Tmavě zabarvená skla brýlí jsou charakteristické pro velmi jasné prostředí s velkou intenzitou UV záření. Opačný jev nastává při šeru, kdy je UV záření minimální. Brýle založené na fotochromatickém principu nejvíce ocení lidé, kteří přecházejí mezi vnitřními a venkovními prostory. Existuje i fotochromní barva, která se používá na textil. (3)

Obr. 1 Fotochromatické brýle



Zdroj: [http://www.rudyprojectusa.com/technology\\_impactx.php](http://www.rudyprojectusa.com/technology_impactx.php)

### 3.1.1.2 Termochromní materiály

Ke změně barvy u materiálů s termochromními vlastnostmi dochází při kolísání tepla. Základem jsou dva odlišné druhy materiálů pracující na stejném principu. Jedním z nich jsou tekuté krystaly. Dalším druhem jsou organická barviva na bázi uhlíku zvaná leuco barviva. (4)

#### a. Termochromní tekuté krystaly

Krystaly jsou na teplotu velmi citlivé. Mezi jejich výhodu patří jednak změna barvy, ale i opakovatelné použití. Oproti leuco barvivům jsou ale výrazně dražší. Funkce je založena na dopadu světla, které se od krystalů odráží. Barva odraženého světla závisí na velikosti mezer mezi jednotlivými krystaly. Vzdálenost mezer se mění podle velikosti ohřátí nebo ochlazení materiálu. Teploměry pro sledování teploty ve zdravotnictví, potravinářství nebo v akvaristice využívají právě tyto krystaly. Příkladem měření tělesné teploty je přiložená dlaň na podložku tvořenou zmíněným materiálem. Různá zbarvení jsou dána odlišnou teplotou, viz obr. 2. (5)

#### b. Leuco barvivo

Mají podobný princip jako tekuté krystaly, reagují na oscilaci teploty. Leuco barvivo může nabývat při vyšších teplotách bezbarvé formy a zbarvení např. do

modra získají až při teplotách nízkých. Využívá se zejména u baterií pro kontrolu jejich kapacity pomocí testerů. Pro kontrolu správné teploty potravin, správně vychlazené plechovky s nápojem se s leuco barvivem setkáme v potravinářském průmyslu. (4)

*Obr. 2 Změřená teplota pomocí tekutých krystalů*



*Zdroj: <http://www.colorchange.com/liquidcrystals>*

### **3.1.1.3 Mechanochromní materiály**

Stisk, deformace a mechanické napětí jsou podněty, které napomáhají ke změně barevnosti materiálu. Funkci zajišťuje barvivo začleněné do jejich struktury. V mechanicky nenamáhaném materiálu je vždy několik molekul v sousedních polymerních řetězcích ve shluku. Při mechanické námaze se polymerní řetězce materiálu posunou a tím se agregáty barviva mechanicky roztrhají. Rozdělené molekuly mají výrazně jiné vlastnosti než shluky molekul před mechanickou námahou a materiál změní barvu. V leteckém průmyslu jsou letadla natřena barvou s identickou strukturou. Jsou umístěna do větrných tunelů a zjišťují se tlakové poměry při obtékání dané části letadla rychle proudícím vzduchem. (6)

### **3.1.1.4 Chemochromní materiály**

Z názvu lze usoudit, že reagují na chemickou změnu prostředí. Ta nastane, jestliže je detekován obsah plynu v okolí. Jsou důležité tam, kde se vyskytují zdraví škodlivé a pro lidské oko neviditelné plyny. Ve vesmírném průmyslu slouží k zjištění úniku vodíku. Jde o bezbarvou látku, která není ani cítit. Při netěsnosti a úniku mění

chemochromní materiály svou barvu. Proces změny může být dočasný, ale i vratný, záleží na potřebě v dané aplikaci. Výhodnou technologií jsou např. polymery, které obsahují danou barvu, jsou lehce tvarovatelné a mohou být tkané do pevných materiálů. Pomocí polymerů jsou lehce aplikovány i na nepřístupná místa. (7)

Výskyt a únik vodíku je vidět na obr. 3, kdy ochranná vrstva okamžitě změnila barvu a určila, kde dochází k úniku.

*Obr. 3 Únik vodíku*



*Zdroj:* <http://www.fsec.ucf.edu/en/media/newsletters/echron/archives/2006/Q1/smartpaint.htm>

### **3.1.1.5 Elektrochromní materiály**

Změny barvy jsou vyvolány vnějším elektrickým napětím. Optické vlastnosti jsou vratné. Do skupiny materiálů s elektrochromní vlastností patří tři základní druhy. Prvním jsou ty, které jsou rozpustné a zůstávají při používání v roztoku. Představitel druhého typu, jsou rozpustné v neutrálním stavu a po přechodu na elektrodě zůstávají pevné. Poslední třetí typ je v normálním stavu i při použití pevný. Nejvíce se používá poslední typ ve formě filmů, kterými se pokrývají automobilová skla, ale i skla moderních budov. (8)

Jejich přední vlastností je kontrola množství světla a tepla, které prochází sklem. Elektrické napětí a spotřeba energie využívající tento jev je velice nízká. Řádově se pohybuje v rozmezí +/- 1,5 V a 0,1 Wh na jeden cyklus. Dokážou odrazit až 98% tepla a tím snižují potřebu klimatizací. (9)

Elektrochromismus je obecně definován jako reverzibilní děj spojený s optickými změnami materiálu, které jsou vyvolané vnějším elektrickým napětím. Barevné změny se týkají přechodu ze stavu transparentního, tedy absorbujícího v UV oblasti až k barevnému a to o různých intenzitách. V současné době existuje jenom několik funkčních průmyslových aplikací. Mezi nejčastěji využívané se řadí zatmavovací zpětná zrcátka pro automobily z Gentex corp, viz obr. 4, nebo skleněné plochy pro budovy, které pro svoji technologickou náročnost ještě čekají na širší industriální aplikace. (10)

Obr. 4 Elektrochromatické zpětné zrcátko



Zdroj: <http://www.truckspecialties.com/mitomirror/mirrorinstallations.htm>

### 3.1.1.6 Halochromní materiály

Schopnost barevné změny je závislá na kyselosti prostředí. Uplatnění nacházejí především tam, kde se často vyskytuje změna pH. Mezi takové prostředí patří třeba kyselost látek, kdy se materiál zbarví např. při výskytu koroze kovu. Dále se mohou využívat v lékařství, kde reagují na změnu pH v přítomnosti infekce. Rána obvázaná tímto materiálem umožňuje pravidelnou kontrolu hojení, aniž by se musel sundat obvaz, který obsahuje barvivo reagující na různé kyselosti. Zdravá a hojící se kůže mají hodnoty pH pod 5, tedy kyselé. Zvýšená hodnota znamená posun z kyselého prostředí k zásaditému, typické pro komplikaci hojení ran. Přítomnost infekce je určena kyselostí v rozmezí 6,5 až 8,5 a způsobuje změnu barvy proužků indikátorů, viz obr. 5. (11)

Obr. 5 Náplast reagující na přítomnost infekce



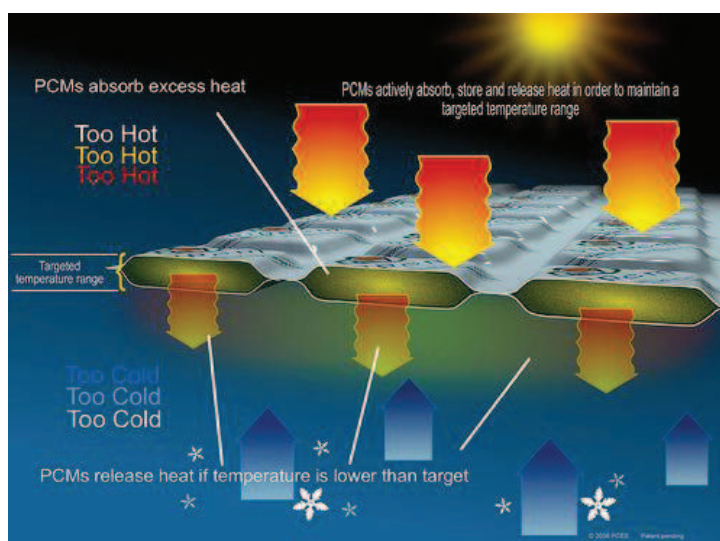
Zdroj: <http://www.sciencedaily.com/releases/2010/11/101116093821.htm>

### 3.1.2 Termotropní materiály

Jsou známé pod zkratkou PCM, která v anglickém jazyce znamená Phase-change material. Vykazují specifickou vlastnost- přechod z jedné fáze na druhou. Pro lepší představu si můžeme vzít za příklad vodu, která se mění na led a z ledu opět na vodu. Přechodem z jednoho skupenství na druhé vzniká energie ve formě latentního tepla, která je skladována. (12)

Termotropní materiály se rozpouští a tuhnu již při pokojové teplotě. V závislosti na okolní teplotě podle potřeby absorbují nebo uvolňují teplo. Používají se hlavně pro regulaci okolní teploty jako stěnové nebo stropní panely. Jsou aplikovány i do textilií, pomocí nichž reagují na tělesnou teplotu člověka a umožňují ochlazovat nebo zahřívát část těla, která je látkou pokryta. Princip termotropních materiálů je vidět na obr. 6, kde je znázorněn průběh absorpce a uvolňování tepla. (12)

Obr. 6 Princip termotropních materiálů



Legenda: *PCMs absorb excess heat- PCM absorbuje přebytečné teplo; PCMs actively absorb, store and release heat in order maintain a targeted temperature range- PCM aktivně absorbují, ukládají a uvolňují teplo za účelem udržení požadované teploty; Targeted temperature range- požadovaný rozsah teploty; PCMs release heat if temperature is lower than target- PCM uvolňuje teplo, pokud je teplota nižší než požadovaná; Too Cold- příliš studené; Too Hot- příliš teplé*

Zdroj: <http://www.phasechange.com/how-it-works.php>

### 3.1.3 Magnetoreologické/ elektoreologické materiály

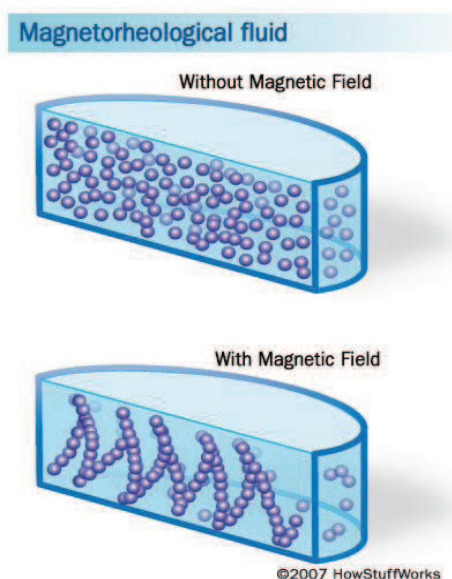
Tyto materiály mění své reologické vlastnosti působením magnetického nebo elektrického pole. Reologie je obor mechaniky zaměřující se na vztah mezi silou a deformací, který vede ke změně tvaru. Síla magnetického pole může změnit jak tvar, tak i viskozitu kapaliny. Reologickou změnou vlastností se v tomto případě rozumí změna viskozity kapaliny. Kapaliny jsou oleje naplněné železnými částicemi o velikosti 3 až 10  $\mu\text{m}$ . (13)

Rozptýlené částice v kapalině v dosahu působícího pole vytvářejí vláknitou strukturu, která brání tečení a smykové deformaci a zvyšuje smykovou pevnost. Intenzita změny je závislá na intenzitě magnetického pole u magnetoreologických materiálů nebo na intenzitě elektrického pole u elektoreologických materiálů. (14)

Na obr. 7 můžeme vidět uspořádání částic podle magnetických siločar.



Obr. 7 Uspořádání částic podle siločar



Legenda: *Without magnetic field- bez magnetického pole; With magnetic field- s magnetickým polem*

Zdroj: <http://science.howstuffworks.com/liquid-body-armor2.htm>

### 3.1.4 Vodivé polymery

Běžné polymery jsou všeobecně známé jako izolanty, nedokážou vést energii. Existuje skupina vodivých polymerů, které mění své vlastnosti, umožňují přenos elektrické energie, a proto se řadí mezi inteligentní materiály. Jejich vodivost se vyskytuje na pomezí polovodivých a vodivých materiálů. Tento typ materiálu bude podrobněji popsán v následující kapitole.

### 3.2 Materiály transformující dodávanou energii

Jsou charakteristické přeměnou energetického stavu bez změny své struktury. Jsou zastoupeny hned několika typy materiálů. Mezi zástupce skupiny patří piezoelektrické, využívající stejnojmenný jev, fotovoltaické, které jsou založeny na principu fotovoltaického jevu, luminiscenční materiály světélkující při dodání energie a nakonec slitiny s tvarovou pamětí. Po deformaci a změny tvaru se obnoví do původní podoby pomocí přídavného tepla. (2)

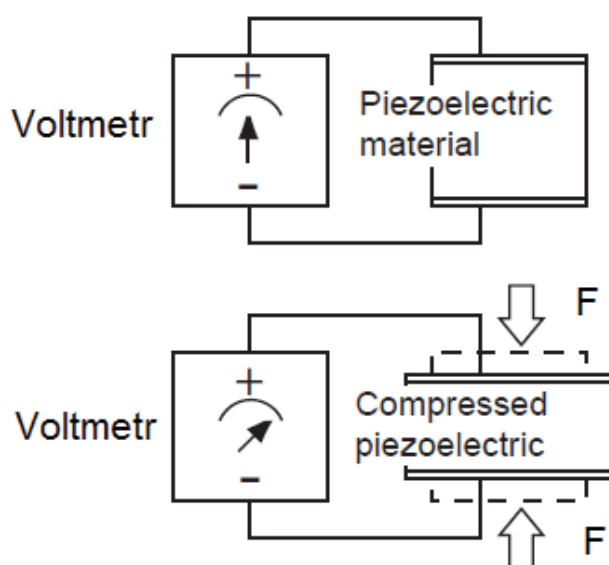
### 3.2.1 Piezoelektrické materiály

Využívají principu piezoelektrického jevu, který byl objeven už v roce 1880 bratry Jacquesem a Pierrem Curie. Při zkoumání zjistili, že při stlačení krystalu se začne na struktuře vyskytovat povrchové elektrické napětí. Piezoelektrický jev je založen na opačném průběhu. Dochází k deformaci krystalu při výskytu vnějšího elektrického pole. (15)

Mechanická deformace mění elektrickou polarizaci, která se projevuje na povrchu materiálu v podobě indukovaného náboje. Nejlepší uplatnění nachází materiál tam, kde je třeba detekce sil, pohybu nebo vibrací. Výsledky se vyhodnocují a zpracovávají podle signálu, vzniklého při působení deformace. (16)

Na obr. 8 je znázorněn piezoelektrický materiál připojený k voltmetru. V klidovém stavu je ručička měřidla na nule, deformací se ručička v závislosti na velikosti povrchového napětí vychýlí.

Obr. 8 Vznik napětí při deformaci



Legenda: Piezoelectric material- piezoelektrický materiál; Compressed piezoelectric- stlačený piezoelektrický materiál

Zdroj: Addington D., Daniel L. Smart Materials and New Technologies, Harvard University : Architectural Press, 2005. stránky 103-105. ISBN: 0750662255.

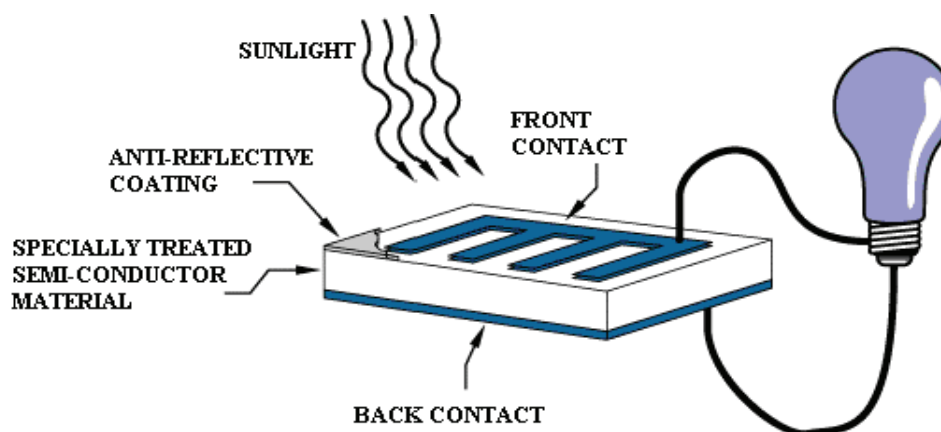
### 3.2.2 Fotovoltaické materiály

Princip základního fyzikálního fotovoltaického jevu byl objeven v roce 1839. Francouzský fyzik Edmund Becquerel zjistil, že některé materiály při vystavení slunečního světla by mohly produkovat malé množství elektrického proudu. Sluneční světlo se skládá z fotonů, které obsahují různé množství energie, podle velikosti vlnových délek. Obor fotovoltaika se zabývá přímou přeměnou světla na elektrickou energii na atomární úrovni. Materiály využívající zmíněný jev mají schopnost transformovat energie slunečního záření a následně ji dokážou přeměnit na elektrické napětí. (17)

Přeměna se zejména využívá u solárních panelů. Pomocí nich se vyrábí a získává ekologicky šetrná elektrická energie.

Na obr. 9 je vidět princip fotovoltaického jevu, kdy jsou dopadající sluneční paprsky přeměněny na elektrické napětí.

Obr. 9 Fotovoltaický jev



*Legenda: Sunlight- sluneční světlo; Anti reflective rating- antireflexní vrstva; Specially treated semi-conductor material- speciálně upraven polovodičový materiál; Front contact- přední kontakt; Back contact- zadní kontakt*

*Zdroj: <http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells/>*

### 3.2.3 Luminiscenční materiály

Luminiscence je vlastnost některých látek, kdy při dodání energie dokážou světélkovat. Látky jsou někdy označovány jako luminofory. Je-li dodáno dostatečné množství energie elektronu v obalu atomu, dojde k jeho přeskoku na vyšší energetické

kou hladinu. Po určité době dojde k návratu elektronu na původní energetickou hladinu. Při přeskoku zpět dochází i k uvolnění fotonu o vlnové délce v rozmezí 380 až 780 nm, takže ji dokážeme vnímat jako viditelné světlo. (18)

#### **3.2.4 Slitiny s tvarovou pamětí**

Slitiny jsou zvláštní tím, že se mohou vrátit do své původní podoby. Deformací a ochlazením vzniká přeměna původního tvaru. Abychom mohli získat materiál, který měl před deformací určitý tvar, musíme slitinu zahřát na charakteristickou teplotu. (19)

Více informací o slitinách s tvarovou pamětí bude uvedeno v následující kapitole.

## 4. Vybrané aplikace inteligentních materiálů a struktur

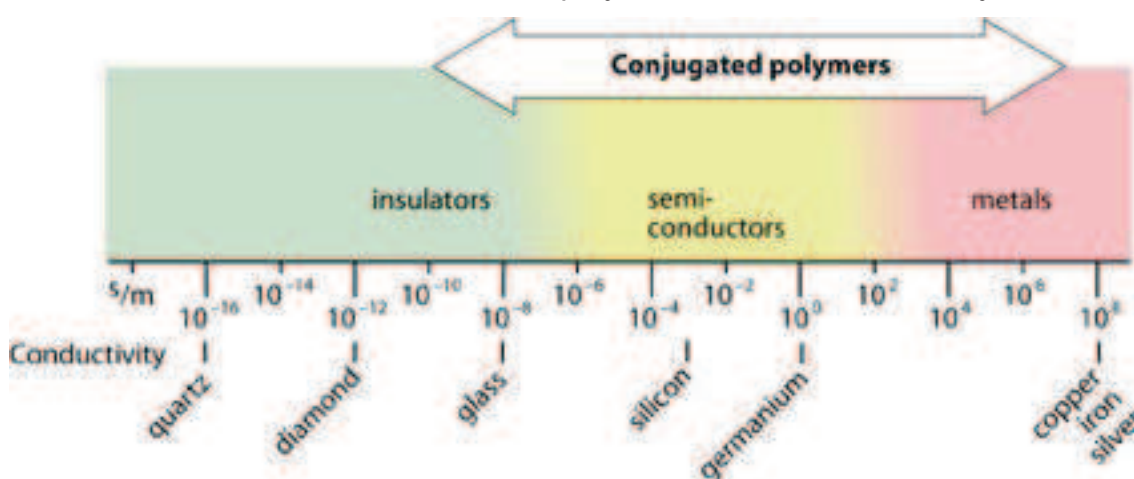
Mezi vybrané materiály patří dva druhy jedinečné svými schopnostmi, ale i využitím. Materiálem zastupující ty, které mění své vlastnosti, jsou vodivé polymery. V dnešní době mají velké uplatnění hlavně v lékařství. Podrobný popis se bude zabývat jejich charakteristikou a představením jejich zástupců. Dalším cílem bude vysvětlení vodivé schopnosti, jelikož jsou polymery známé především jako izolanty. Představena bude i jejich aplikace ve formě taktálních senzorů.

Materiály s vlastností změny energetického stavu zastoupí slitiny s tvarovou pamětí, které dokážou měnit svůj tvar použitím energie. Pozornost bude věnována principu jevu tvarové paměti jednotlivým fázím, které se vyskytují během deformace i při zpětném vrácení do primárního tvaru. Je zdůrazněna i možnost využití slitin jako tepelných senzorů.

### 4.1 Vodivé polymery

Polymery se chovají jako izolanty, které se především uplatňují jako materiály izolující vodiče elektrického proudu. Lze je využít i jako tepelné izolanty a materiály pro tlumení zvuku. Jsou to přírodní nebo syntetické organické látky, jejichž hlavní výhodou je dobrá mechanická vlastnost a snadná zpracovatelnost. Existuje skupina vodivých polymerů, která se od izolantů liší svou vysokou vodivostí, se pohybuje v pásmu mezi polovodiči a vodiči elektrického proudu, viz obr. 10. (20)

Obr. 10 Porovnání vodivosti polymerů s ostatními materiály



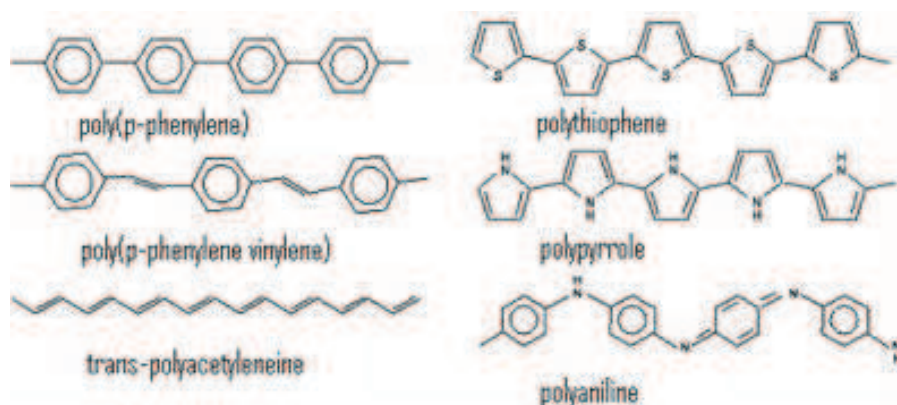
Legenda: Conjugated polymers- vodivé polymery; Insulators- izolátory;

Semiconductor- polovodiče; Metals- kovy; Conductivity- vodivost; Copper, iron, silver- měď, železo, stříbro

Zdroj: <http://www.nano.org.uk/news/may2008/latest1402.htm>

Jsou tvořeny konjugovanou vazbou, kterou se rozumí struktura, pravidelně střídající jednoduché a dvojně vazby, viz obr. 11. Do skupiny polymeru s elektrickou vodivostí patří polypyrrol, polythiofen, polyanilin a polyfenylen. (20)

Obr. 11 Konjugovaná vazba



Zdroj: <http://www.nano.org.uk/news/may2008/latest1402.htm>

Nejznámější polyanilin byl zřejmě objeven už v roce 1840, kdy J. Fritsch popsal u anilinu zelené oxidační produkty. Považuje se za nejstarší syntetický polymer, který kdy člověk vyrobil. Polyanilinové řetězce, tvořící plnohodnotné polymery, jsou složeny ze stovek anilinových konstitučních jednotek. Syntetické postupy vedoucí k polyanilinu popsal v roce 1968 v Československu Honzl a spol. Elektrickou vodivost polyanilinu objevili v šedesátých letech a je srovnatelná s vodivostí běžných polovodičů, nevzbudila však velkou pozornost. Větší zájem o vodivé polymery začal až v sedmdesátých letech minulého století. (20)

Jednotlivé vodivé polymery se liší svou měrnou elektrickou vodivostí. Zatímco polyanilin má měrnou vodivost v řádově desítkách S/ cm, tak u polyfenylenu je stokrát větší, až 3000 S/ cm, viz tab. 1. (21)

Tab. 1 Měrná vodivost polymerů

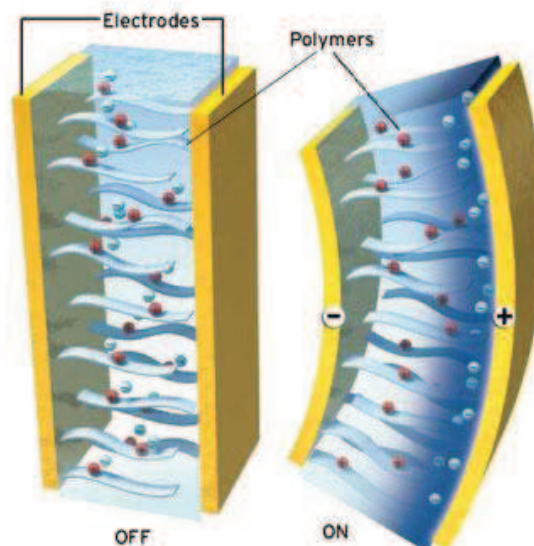
Polymer	Měrná vodivost S/ cm
Polyanilin	10
Polypyrrol	100
Polyfenylen	3000

Zdroj: [http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20061005/4-vlastnosti\\_vlaken.pdf](http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20061005/4-vlastnosti_vlaken.pdf)

Kromě konjugace je dalším nezbytným předpokladem elektrické vodivosti přítomnost nositelů náboje, které zprostředkovávají jeho přenos po řetězci. Ty vznikají procesem zvaným dopování, který je běžný u polovodičů. Rozlišuje se dopování u anorganických a organických polovodičů nebo polymerů. U anorganických polovodičů výrazně ovlivňují elektrické vlastnosti již stopové koncentrace dopující látky, u polymerů je potřeba koncentrací řádově vyšších jednotek až desítek procent. (22)

Používají se např. pro výrobu umělých svalů, které musí splňovat kritéria pro kombinaci dostatečné síly, rychlosti a pružnosti, kdy se při aplikaci elektrického proudu do vlákna „nasají“ ionty z okolního elektrolytu a tím způsobí změnu jeho délky. Takové materiály vynikají i při nízkém napětí značnou silou, jsou ale pomalejší než organické a zkracují se jen nepatrně, viz obr. 12. (23)

Obr. 12 Umělý sval



Legenda: Electrodes- elektrody; Polymers- polymery

Zdroj: <http://spectrum.ieee.org/biomedical/bionics/electric-flex/3>

Pro řadu aplikací lze funkční vlastnosti polymerů rozšířit přípravou kompozitů, tj. polymerů obsahujících nejrůznější plniva. U kompozitů obsahujících saze nebo práškový grafit se podařilo výrazně zvýšit elektrickou vodivost. Takové materiály se hodí např. pro výrobu lehkých plastových kanystrů na benzín, vodivých podlahovin nebo podešví bot. Vodivý kompozit odvádí elektrostatický náboj, tudíž nehrozí vznícení těkavých par. (24)

Další vodivé polymery můžeme nalézt např. v tranzistorech. První polymerní tranzistor byl vyroben v roce 1994. Jedná se o historicky první tranzistor, který byl celý vyroben včetně elektrod z organického materiálu. Ani při ohnutí do pravého úhlu neztrácí svou funkčnost. (24)

Polyanilin charakteristický zelenou barvou je hojně využíván i pro vojenské účely. Pro ochranu vojenských objektů před odhalením pomocí různých detekčních metod se z textilií, pokrytých tímto polymerem, vyrábí maskovací sítě. Kromě absorpce ve viditelném světle pohlcují infračervené a mikrovlnné záření. (24)

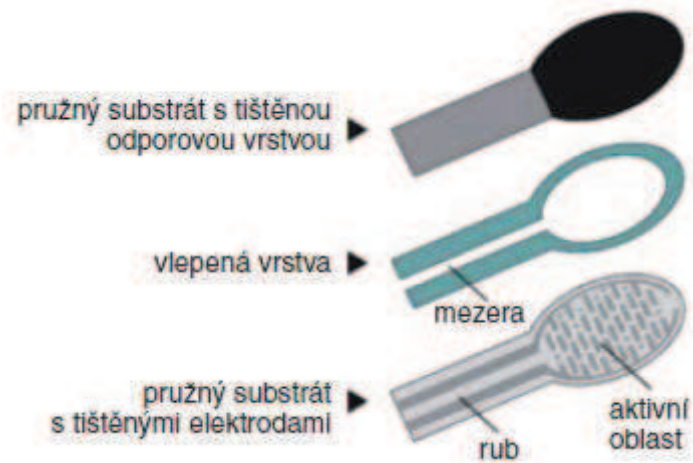
#### **4.1.1 Taktilní senzor FSR**

Odporové senzory FSR (Force Sensitive Resistor) ke své činnosti obsahují citlivý polymerní materiál. Senzor využívá závislosti elektrického odporu polymerové vrstvy na působící síle. Senzory mohou mít různé tvary. Důležitým prvkem těchto FSR je odporová vrstva vyrobená technikou tlustých vodivých polymerových vrstev PTF (Polymer Thick Film). Vrstva je tvořena elektricky vodivými i nevodivými částicemi malých rozměrů. Působením síly na odporovou vrstvu se částice vzájemně dotýkají a vytvářejí tak vodivé dráhy, které způsobují změnu odporu vrstvy. Z charakteristiky popisující závislost odporu senzoru na působící síle lze zjistit, že s rostoucí silou odpor klesá. (25)

Kromě odporové vrstvy se senzor síly skládá z kontaktních vodičů, plošek a distanční vložky. Společně vytvářejí propojení vodičů s odporovou vrstvou. Uspořádání jednotlivých částí senzoru můžeme vidět na obrázku obr. 13. Mohou být nejrůznějšího tvaru, ale nejčastěji se využívá tvar meandru. Distanční vložka se převážně využívá u senzorů pracujících jako spínače, aby se zvýraznila změna odporu při sepnutí. Bez sepnutí se kontaktní vodiče vůbec nedotýkají odporové vrstvy a odpor senzoru je řádově  $M\Omega$ , zatímco po sepnutí klesne na hodnotu jednotek  $k\Omega$ . (26)



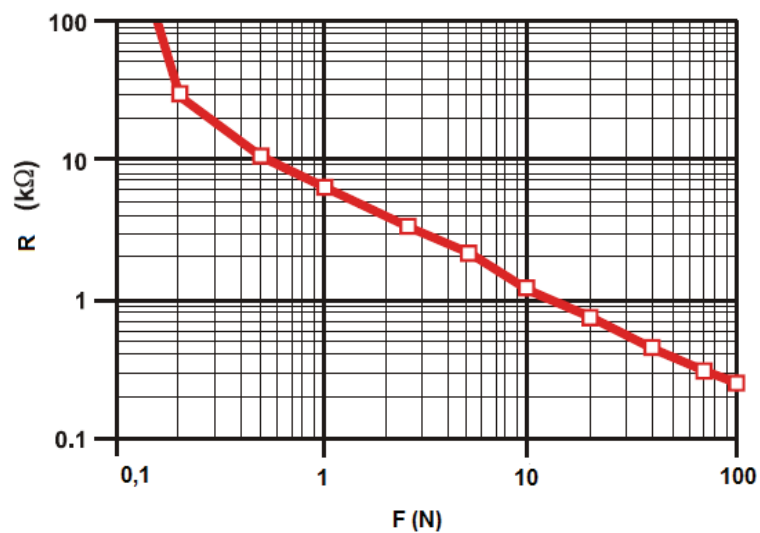
Obr. 13 Taktilní senzor



Zdroj: Volf J., *Taktilní senzory pro automatizaci, AUTOMA 2008, 7. vydání*

Závislost odporu  $R$  taktilních senzorů na síle  $F$  je znázorněna na obr. 14. FSR senzor lze zatížit silou od 10 N maximálně do 100 N při typické změně odporu od 2 M $\Omega$  do 2 k $\Omega$ . (25)

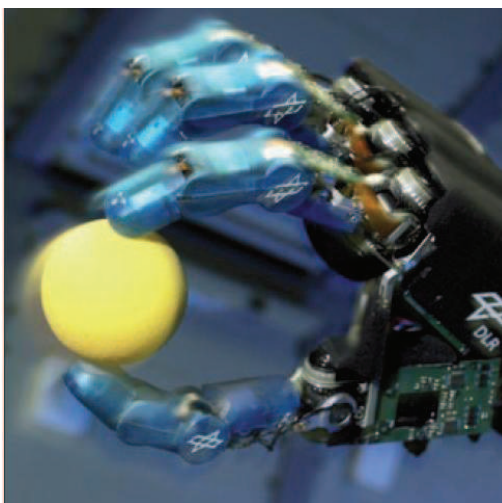
Obr. 14 Závislost odporu na síle



Zdroj: Volf J., *Taktilní senzory pro automatizaci, AUTOMA 2008, 7. vydání*

FSR se používá v konstrukci dotykových klávesnic, ke zjišťování polohy předmětů, ale lze ho uplatnit k měření zatížení. Své uplatnění si taktilní senzory našly i v německém leteckém ústavu DLR, kde byly použity pro výrobu konstrukce čtyřprsté ruky, viz obr. 15. Taktilní senzory mohou být využity jako dotykové spínače, klávesnice, senzory pozice, kam byl předmět položen, senzory pro zjišťování přítomnosti osoby nebo objektu, určování tvaru nebo velikosti na podložce ležícího předmětu, senzory pozice doteku. (26)

Obr. 15 Čtyřprstá ruka



Zdroj: Volf J., *Taktilní senzory pro automatizaci, AUTOMA 2008, 7. vydání*

## 4.2 Slitiny s tvarovou pamětí

Slitiny s tvarovou pamětí (dále jen- Shape memory alloys). Jedná se o kovy, které mají tu schopnost, že se po deformaci a následném ochlazení mohou vrátit zahřátím do své původní podoby. Poprvé byl efekt tvarové paměti objeven v roce 1951 u slitiny zlato- kadmium (AuCd ). Více pozornosti jev získal až v roce 1963, kdy vědci pozorovali na slitině NiTi, vyvíjené původně jako antikorozní materiál. (27)

Nejznámější a nejvíce používaný je zmiňovaný **NITINOL** slitina niklu a titanu (**N**ickle **T**itanium **N**aval **O**rdance **L**aboratoy). Slitina má velmi dobré elektrické a mechanické vlastnosti, vysokou odolnost proti opotřebení a proti korozi, proto se nitinol používá zejména v lékařství.

Jev je způsoben tím, že kov s touto vlastností při určité teplotě přechází z jedné krystalické struktury do druhé. Slitina se snaží udržet v co nejvýhodnějším energetickém stavu, a proto se snaží přeorientovat do krystalické mřížky, která je za

daných okolností nejvýhodnější. Krystalická struktura, kterou látka zaujímá za nižších teplot, se nazývá martenzit. Struktura, která vznikne zvýšením teploty, se nazývá austenit. Elastická deformace slitin je další zajímavou vlastností. Při vratné deformaci dosahuje až 15%, zatímco u běžných kovů nepřesahuje 1 %, např. ocel 0,5%. (28)

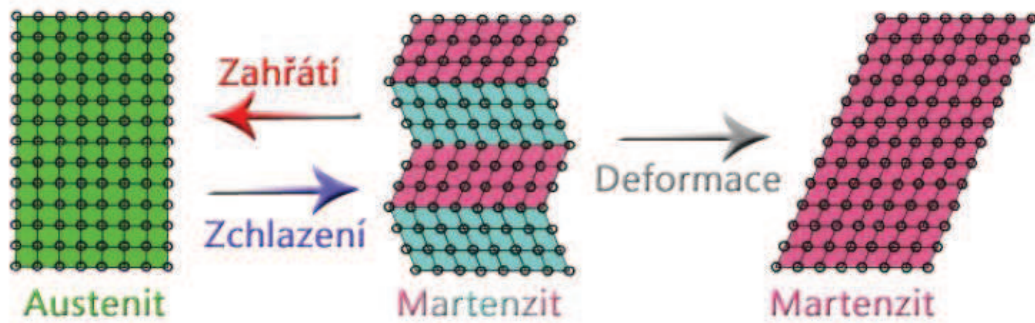
Princip spočívá v tom, že kovy a slitiny se skládají z krystalů, což je pravidelná zákonitá struktura tvořena z atomů. U běžných kovů se při deformaci a překročení meze kluzu naruší atomové vazby a vzniká trvalá deformace. U slitin s tvarovou pamětí mez kluzu nenastává, to zajišťuje další vlastnost těchto materiálů- superelascita. Deformací se atomy posunou, ale nenaruší se meziatomové vazby. Krystaly mění strukturu bez narušení vazeb. Struktura je stabilní a po ohřátí se vrací do stabilnější struktury. V tomto případě je stabilnější ta původní, jelikož nedošlo k narušení meziatomové vazby, proto se vrátí do svého původního tvaru. Pokud slitině něco v přechodu brání, dokáže vyvinout sílu a rychlost (v závislosti na teplotě), aby se dostala do té krystalické struktury, která je pro ni za daných podmínek nejvhodnější. (29)

Proces je popsán martenzitickou transformací, objevenou v roce 1895 německým metalurgem Adolfem Martensem. Ten zkoumal kalení ocelí a při tom zjistil, že postupným ochlazením se mění jejich struktura. (29)

Materiál ve fázi austenitu je pevný a silný, ve fázi martenzitu je měkký a dobře tvárný. Krystalová struktura v austenitu je jednoduchá, koncentrovaná ve tvaru krychle, martenzit má složitější kosočtverečnou strukturu. (30)

Přechod z austenitu do martenzitu vypadá, jako když se pokusíte původní krychli složit z kosých kvádrů, různě orientovaných k původní krychli, viz obr. 16.

Obr. 16 Přeměna austenitu na martenzit



Zdroj: [http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef\\_gruber/clanky/nitinol.pdf](http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/clanky/nitinol.pdf)

Slitiny mohou využívat dva průběhy jevu tvarové paměti. Jedním z nich je jednocestný průběh, u kterého dochází k deformaci za studena. Svůj deformovaný tvar drží, dokud se kov nezahřeje. Po zahřátí se vrací zpět do původního tvaru před deformací. Slitina si tedy pamatuje pouze jeden tvar, viz obr. 17 a. (31)

Dvoucestný průběh tvarové paměti si oproti jednocestnému pamatuje tvary dva. To znamená, že když je slitina studená, vrátí se do jednoho tvaru. Při zahřátí se vrátí do tvaru druhého, viz obr. 17 b. (31)

Obr. 17 Průběh tvarové paměti



Zdroj: [http://www.robotplatform.com/knowledge/actuators/types\\_of\\_actuators\\_2.html](http://www.robotplatform.com/knowledge/actuators/types_of_actuators_2.html)

### 4.2.1 Martenzitická transformace

Strukturní změnu, probíhající při martenzitické transformaci, si lze zjednodušeně představit jako tvarovou změnu původních krychlí na kosé kvádry. Z původního stavu, kdy má krychle stejně dlouhé strany, které svírají pravé úhly, se stanou strany s nesejně dlouhými hrany kvádra a dokonce u kosého kvádra nesvírají strany pravý úhel. (19)

Jestliže při transformaci v tepelném cyklu nepůsobí napětí, vznikají tyto varianty tak, že nedochází k žádné tvarové změně. Tvarové změny jednotlivých variant se navzájem kompenzují a objem zůstane téměř nezměněn. (19)

Objemový podíl martenzitické fáze a s ním fyzikální vlastnosti slitiny, jako je barva, elektrický odpor a modul pružnosti, se mění v tepelném cyklu podle hysterezní křivky. Teplota  $M_s$  označuje začátek přeměny do martenzitu při ochlazování a podobně teplota  $A_f$  označuje konec přeměny do austenitu při ohřevu. (19)

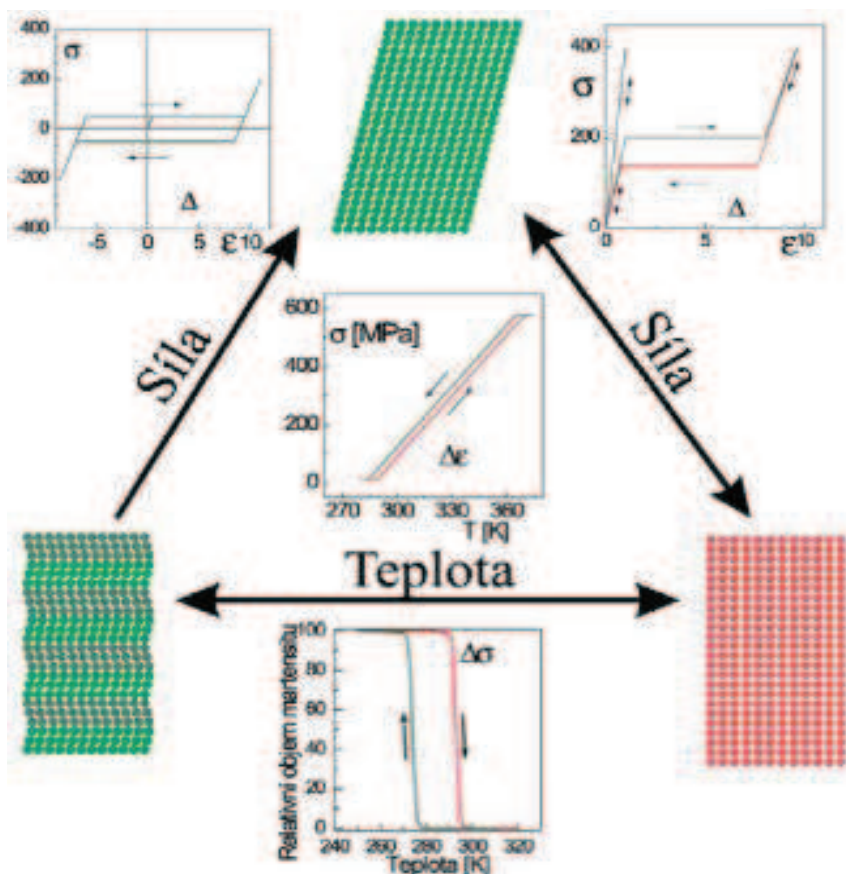
Na obr. 18 jsou diagramy, které naznačují schematicky odezvu vzorku slitiny s tvarovou pamětí, transformující se martenziticky při změně teploty a napětí. Červeně je naznačen austenit a zeleně dvě varianty martenzitické fáze s nižší symetrií. (19)

### 4.2.2 Pseudoplasticita

Je-li slitina s tvarovou pamětí namáhána tlakem a tahem v martenzitickém stavu, deformuje se snadno. Postupně se pro dané namáhání vytvoří nejvhodnější varianta martenzitu. Za touto mezí a při odebrání namáhání se martenzit chová elasticky. Tento jev je označován jako pseudoplasticita. Nedochází zde k pohybu skluzových dislokací, způsobující nevratné změny, jako u běžných kovů. Při následném ohřevu se martenzit transformuje zpět do vysokoteplotní austenitické fáze. Tvar součástky se mění zpět na původní a dochází k jevu tvarové paměti, viz obr. 18. (19)

Je-li deformované součástce při ohřevu bráněno, návrat do původního austenitického stavu probíhá obtížně a součástka působí na své okolí velkou silou. Pokud zorientovaný martenzit transformuje, mění se napětí s teplotou přibližně lineárně, jak ukazuje diagram napětí. Vyvolané napětí může dosahovat hodnot až stovek MPa. (19)

Obr. 18 Princip jevů tvarové paměti

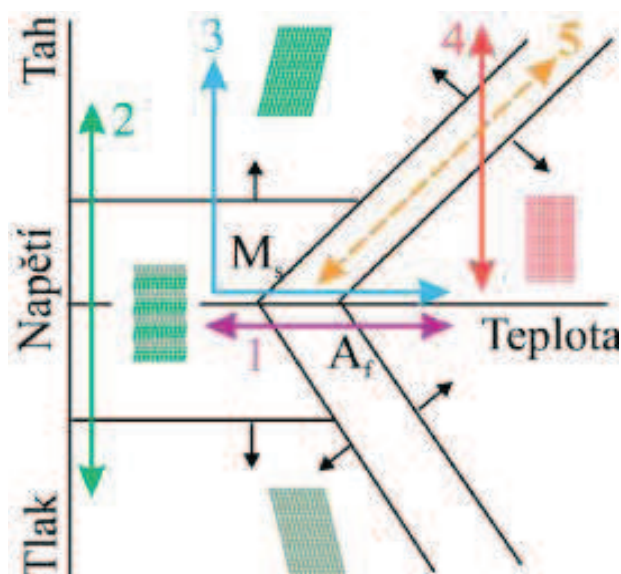


Zdroj: <http://technik.ihned.cz/c1-11264510-kovove-slitiny-s-tvarovou-pameti>

#### 4.2.3 Superplasticita

Při namáhání v austenitické fázi, dochází k martenzitické transformaci z austenitu do nejhodněji orientované martenzitické varianty i beze změny teploty, pouze pod vlivem napětí. Deformace je plně vratná při odtížení podle hysterezní křivky. Toto deformační chování se nazývá superelasticita a je vždy vyjádřena tvarem hysterezní křivky. Velmi důležité pro technické aplikace je, že k deformaci transformací dochází při přibližně konstantní úrovni napětí, které však silně závisí na teplotě, viz obr. 19. (19)

Obr. 19 Jevy tvarové paměti v diagramu napětí



Legenda: 1 tepelný cyklus, 2 pseudoplastičita, 3 jev tvarové paměti, 4 superplastičita, 5 termomechanický cyklus s konstantní deformací (19).

Zdroj: <http://technik.ihned.cz/c1-11264510-kovove-slitiny-s-tvarovou-pametí>

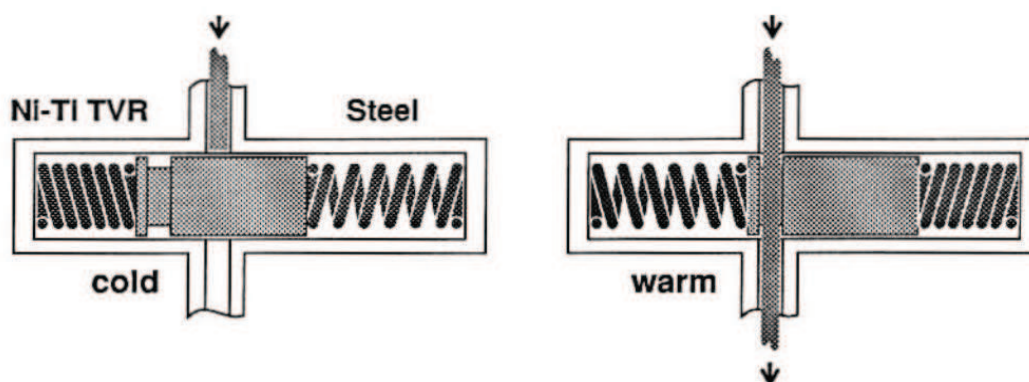
Slitiny s tvarovou pamětí můžeme najít např. ve vodovodní baterii, která využívá pružinu s paměťovým efektem. Široké uplatnění těchto materiálů se ujalo i v lékařství, kde mohou být aplikovány v podobě umělých stent a také rovnátek. Dále existují v podobě angioguard filtru. Umisťuje se do tepen, kde se rozevře a zachycuje z krve různé krevní sraženiny, které by jinak mohly způsobit ucpání cév v srdci nebo mozku. Ve vesmíru byl nitinol u marsového vozítka použit pro otáčení detektoru prachu. (32)

Z nitinolu se vyrábí rovněž spojky trubek. V martenzitickém stavu se spojka nasune na spojované trubky a zahřeje se. Zahřátá spojka se stáhne a tím způsobí pevné spojení. Jedná se o vysoce spolehlivé spojky, které byly použity pro hydraulický systém stíhaček F-14. (32)

#### 4.2.4 Tepelné senzory

Slitiny s tvarovou pamětí daly nové možnosti pro navrhování strojních součástí. Tepelné senzory jsou ve skutečnosti jednoduché senzory, které reagují na změny teploty. Uplatňují se především ve ventilech. Základem jsou pružiny ze slitiny NiTi. Nevyžadují žádné složité mechanismy ani velké prostory. Nacházejí uplatnění v konstrukcích, kde je kladen důraz na spolehlivost. Pružiny s tvarovou pamětí mohou být jak v tekutině, oleji tak i v plynu. Umožňují rychlé reakce na změny teploty. Ventily tvořeny pružinou s tvarovou pamětí nacházejí uplatnění v motorech i převodovkách automobilů, viz obr. 20. Jsou zde vystaveny velkým teplotním změnám od studeného startu až po dosažení konečné provozní teploty. U hydraulického ovládání převodovek může změna viskozity a další změny způsobit řadu problémů. Proto je nutné kontrolovat hydraulický tlak v závislosti na teplotě. Poprvé byl tento koncept představen ve firmě Mercedes-Benz. Pro lepší řazení se tlak v převodovce při studeném startu snižuje a opět vzroste po dosažení provozní teploty. (33)

Obr. 20 Termostatický ventil pro regulaci tlaku v převodovce



Legenda: Steel- ocel; Cold- studené; Warm- teplé

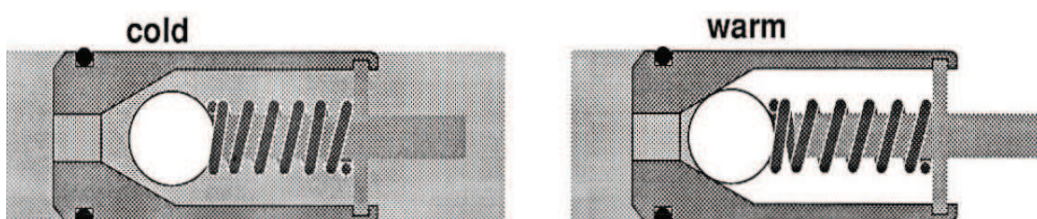
Zdroj: <http://www.nitinol.com/media/reference-library/059.pdf>

Emise a spotřeba paliva může být snížena tím, že se sníží doba potřebná pro zahřátí studeného motoru na provozní teplotu. Regulační ventil obsahující pružinu, může ovládat fáze motoru, automatické převodovky a další komponenty, změnou řadícího stupně pro vyšší rychlost při nízkých teplotách. Snížení doby zahřívání se dosáhne, jestliže je nahrazena ocelová pružina s obtokovým ventilem v olejovém chladiči pružinou s tvarovou pamětí. Při nižších teplotách je tlak v hydraulickém



systemu převodovky vyšší díky viskozitě oleje. Je-li pružina stlačená, umožňuje oleji obejít chladič. Při provozní teplotě je ventil uzavřen a nutí projít olej přes chladič. Pokud se v chladiči zvýší tlak v důsledku ucpání, je možné chladič obejít, viz obr. 21. (33)

Obr. 21 Termostatický regulační ventil chladiče

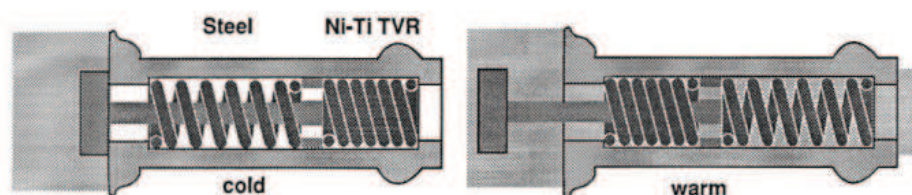


Legenda: Cold- studené; Warm- teplé

Zdroj: <http://www.nitinol.com/media/reference-library/059.pdf>

Dalším příkladem, kde můžeme pružiny s tvarovou pamětí vidět, je regulační ventil v karburátorech motorových vozidel, viz obr. 22. Jsou integrovány do trubice výparů paliva. Ventil je při nízkých teplotách uzavřen. V tomto případě zadržuje odpařené palivo v karburátoru. Při dosažení provozní teploty je ventil otevřen, dochází k odvětrání a tím se zlepšují podmínky pro startování, dále je předcházeno přesycení motoru. (33)

Obr. 22 Termostatický ventil pro kontrolu emisí

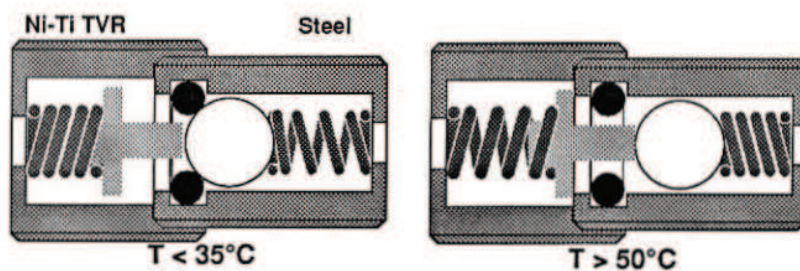


Legenda: Steel- ocel; Cold- studené; Warm- teplé

Zdroj: <http://www.nitinol.com/media/reference-library/059.pdf>

Dále se s odvětrávacím ventilem můžeme setkat v lékařství. Tento ventil chrání katetry před popraskáním při sterilizaci, kdy zmírňuje tlak při teplotě okolo 50°C, viz obr. 23. (33)

Obr. 23 Ventil pro zmírnění tlaku



Legenda: Steel- ocel

Zdroj: <http://www.nitinol.com/media/reference-library/059.pdf>

## 5. Perspektivy SMART materiálů v konstrukcích mechatroniky

Mechatronika se řadí mezi relativně mladé obory. Je prolínající kombinací několika inženýrských oborů. Nejčastěji bývá umístěna mezi strojírenství, elektroniku a výpočetní techniku, které dohromady umožňují vývoj jednodušších, ekonomičtějších, spolehlivějších a víceúčelových systémů, viz obr. 24. (34)

Obr. 24 Mechatronika



Zdroj: Maixner L.. Mechatronika. Brno 2006, str. 5, ISBN 8025112993

Název mechatronika vznikl spojením dvou slov MECHANical systems and electRONICS v Japonskou, kdy se v roce 1976 objevil na titulní straně časopisu zabývajícím se japonským průmyslem. Technické výsledky a obchodní úspěchy Japonců vyvolaly ve světě rychlou odezvu, především v USA, Anglii, Německu a Francii. V USA to např. změnilo osnovy ve školství. (35)

U nás se tento pojem začal vyskytovat kolem roku 1985. Zatímco je ve světě význam mechatroniky pochopen a podporován, v České republice je podpora prozatím malá. (35)

Inteligentní materiály zabezpečují funkci snímání a akčního působení. Přitom jsou jednotlivé prvky obsaženy ve struktuře samotného materiálu. Jedná se o biologický materiál reagující na stav okolí. Informace se zpracovávají v řídicím obvodu a reagují na něj daným způsobem, za účelem zlepšení chování struktury s ohledem na náš cíl řízení. (36)

Inteligentní materiály určitě v budoucnu budou mít důležitou roli. Jejich vývoj, vlastnosti a využití se za poslední léta zdokonalily tak, že budou nezbytnou složkou našeho života. V dnešní době jsou tyto materiály ve výzkumu, zkoumá se jejich využití, nacházejí se nové vlastnosti.

Jelikož se jedná o velký rozsah oblastí, kde se dají využít, tak v této kapitole bude jen pro ukázkou představeno, kde by se mohly inteligentní materiály v budoucnu nacházet.

Jednou takovou ukázkou je např. lékařství, kdy místní vědci z Harvardu vyvinuli způsob růstu srdečních buněk na tenkých vrstvách polymerů. Vzory podkladu pomáhají určit, jak se buňky vyrovnají, v tomto případě do řady. (37)

V dnešní době se již v lékařství používají umělé stenty, katetry i svaly. Existují umělé končetiny, které dokážou zvedat stokrát větší hmotnost než lidské. Jsou však zatím ve fázi vývoje. Tvoří je drátové konstrukce a skla. Využívají princip slitin s tvarovou pamětí. Lze předpokládat, že s vývojem umělých končetin se budou vědci nadále zabývat. (38)

Zůstaneme-li v lékařství, tak využití těchto materiálů zkoumá americký vědec polského původu Antoni Tomsia, který získal na vývoj chytrých materiálů grant ve výši 4,3 miliónu dolarů. Snaží se vyvinout nový druh biomateriálu, který nahradí kovové a umělohmotné implantáty. Využívá poznatků nanotechnologie z materiálové vědy, kdy se domnívá, že dokážou vyvinout hmotu, kterou lidský organismus lépe přijme a která bude mít více příznivějších vlastností, jako je pružnost, pevnost, lehkost i pórovitost. (39)

Naši vědci v Brně ze Středoevropského technologického institutu se snaží vyvinout lak, který by nahradil zubní sklovinu. Dokázal by tvořit ochrannou vrstvu zubu, protože se přírodní sklovina u trvalých zubů neobnovuje. Nový typ laku by měl jednak ochránit zub, ale i umožnit požadovanou bělost zubů bez negativních účinků bělících metod. Umělá zubní sklovina má podle odborníků prodloužit životnost zubů. Obsahuje antibakteriální činidlo, které snižuje tvorbu kazů a omezuje zápach z úst. (40)

Letecký průmysl jistě čeká další vývoj v oblasti inteligentních materiálů. NASA zveřejnila leteckou vizi pro rok 2030 a více, v níž se počítá s využitím slitin s tvarovou pamětí, keramických a vláknových kompozitů, kabeláže z uhlíkových nanotrubic,

samoregeneračních plášťů, hybridních elektrických motorů, sklápěcích křídel, dvojitými trupy a virtuální realitou v oknech pilotních kabin. (41)

I v automobilovém průmyslu dochází k rozmachu inteligentních materiálů. Čím více se klade důraz na bezpečnost a spolehlivost, tím více se objevují nové technologie. Zařazení těchto materiálů je jen otázkou času. Využití nachází např. při zavěšení kol a v tlumiči založeném na elektroeologickém principu. (42)

## 6. Závěr

Inteligentní materiály člověk vytváří a využívá proto, aby mu usnadnily, zkvalitnily nebo obohatily život a jeho poznání. Najdeme celou škálu využití inteligentních materiálů. Např. v bioinženýrství se stále častěji setkáváme s dokonalejšími protézy, umělými svaly a stenty, které je lidské tělo schopné přijmout šetrněji, které vydrží déle a poskytují kvalitnější náhradu původně poškozené tkáně. Ve stavebnictví najdeme mnoho druhů materiálů, které mohou např. absorbovat teplo a uvolňovat ho, když je to opět potřeba. Také tím je ušetřeno velké množství energie, kterou jiné materiály dokážou získávat ze slunečních paprsků v solárních panelech. Jiné materiály zase poskytují ochranu proti UV záření prostým nalepením folií na okna. Ve zdravotnictví, kosmonautice atd. nacházejí uplatnění látky, které jsou schopné nás upozornit na únik nebezpečných plynů, které jsou bez barvy a bez zápachu. Těžko si dnes představit vrcholové a stále častěji také amatérské sportovce, kteří by nevyužívali takzvané funkční prádlo. Tyto textilie tělo udržují v teple, je-li nutno nebo naopak odvádějí pot. Zavedením iontů stříbra do textilních vláken pak dochází k usmrcování bakterií obsažených v potu a tím i odstraněním zápachu. Automobilový průmysl jednou pravděpodobně bude využívat materiály, které jsou schopné si „zapamatovat“ svůj původní tvar. Po autonehodě pak např. bude nutné jen zahřát poškozenou karoserii na určitou teplotu a auto bude opravené.

To bylo jen několik příkladů, na nichž je vidět, že inteligentní materiály budou mít v příštích dekádách velké uplatnění a že podle mého názoru budou zažívat stále prudší rozvoj. Budou stále dokonalejší, specifitější a levnější a tím bude jejich využití v denním životě stále častější. Pomohou nám ušetřit energii, úsilí a v neposlední řadě také finance. Určitě také odkryjí mnoho nových problémů a vědních disciplín.

## 7. Citovaná literatura

1. **Happy Materials s.r.o.** Smart Materiály. *Happy Materials s.r.o.* [Online] 2009. [Citace: 12. Březen 2012.] <http://www.happymaterials.com/clanek/Smart-materialy>.
2. **Addington, D.Michelle a Schodek, Daniel L.** *Smart Materials and New Technologies*. Harvard University : Architectural Press, 2005. stránky 81-82. 0750662255.
3. **Torben Lenau.** Photochromic materials. [Online] © 1996-2003 Torben Lenau, 2003. [Citace: 2. únor 2012.] <http://designinsite.dk/htmsider/m1316.htm>.
4. **Woodford, Chris.** Thermochromic color-changing materials. [Online] Explain that stuff, 12. Únor 2011. [Citace: 18. Prosinec 2011.] <http://www.explainthatstuff.com/thermochromic-materials.html>.
5. **LCR Hallcrest.** Liquid Crystals. [Online] LCR Hallcrest. [Citace: 18. Prosinec 2011.] <http://www.colorchange.com/liquidcrystals>.
6. **Kunzelman, J.** *Macromolecular Materials and Engineering*. Cleveland : Case Western Reserve University, 2009. str. 294. 200800299.
7. **Ferrari, Pasquale.** Chemochromic Detector for Sensing Hydrogen Gas Leakage. [Online] ASRC Aerospace. [Citace: 23. Listopad 2011.] <http://technology.ksc.nasa.gov/technology/TOP13088-chemochronic.htm>.
8. **Marescaux, Matthias.** Electrochromic displays. [Online] Universiteit Gent. [Citace: 8. Leden 2012.] [http://lcp.elis.ugent.be/tutorials/tut\\_echrom](http://lcp.elis.ugent.be/tutorials/tut_echrom).
9. **Saint Gobain Sekurit.** Electrochromic glass. [Online] Saint Gobain Sekurit. [Citace: 8. Leden 2012.] <http://www.saint-gobain-sekurit.com/en/index.asp?nav1=PR&id=372>.
10. **Krajčovič, Jozef.** Elektrochromismus a „chytré materiály“ pro nové tisíciletí. [Online] Chempoint, 1. 12 2011. [Citace: 10. Březen 2012.] <http://www.chempoint.cz/elektrochromismus-a>.
11. **ScienceDaily.** New Bandages Change Color If Infections Arise. [Online] Fraunhofer-Gesellschaft, 6. Prosinec 2010. [Citace: 24. Únor 2012.] <http://www.sciencedaily.com/releases/2010/11/101116093821.htm>.

12. **Phase Change** . How it Works. [Online] Phase Change energy solution. [Citace: 24. Únor 2012.] <http://www.phasechange.com/how-it-works.php>.
13. **Wilson, Tracy V.** How Liquid Body Armor Works . [Online] HowStuffWorks. [Citace: 10. Únor 2012.] <http://science.howstuffworks.com/liquid-body-armor2.htm>.
14. **Addington, D.Michelle a Schodek, Daniel L.** *Smart Materials and New Technologies*. Harvard University : Architectural Press, 2005. stránky 194-195. 0750662255.
15. **Reichl, Jaroslav a Všeticka, Martin.** Vysvětlení jevu. [Online] Encyklopedie fyziky. [Citace: 18. Leden 2012.] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/419-vysvetleni-jevu>.
16. **Addington, D.Michelle a Schodek, Daniel L.** *Smart Materials and New Technologies*. Harvard University : Architectural Press, 2005. stránky 103-105. 0750662255.
17. **Knier, Gil.** How do Photovoltaics Work? [Online] NASA Science, 2002. [Citace: 29. Listopad 2011.] <http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells/>.
18. **Drašnar, Jiří.** Luminiscence minerálů. [Online] Museum Mineral.cz. [Citace: 20. Leden 2012.] [http://www.museum.mineral.cz/mineraly/ucebnice/obecna\\_min/o\\_55.php](http://www.museum.mineral.cz/mineraly/ucebnice/obecna_min/o_55.php).
19. **Novák, Václav a Šittner, Petr.** Kovové slitiny s tvarovou pamětí. [Online] Technik, 15. Červenec 2002. [Citace: 7. Prosinec 2011.] <http://technik.ihned.cz/c1-11264510-kovove-slitiny-s-tvarovou-pameti>.
20. **Nešpůrek, Stanislav, Prokeš, Jan a Stejskal, Jaroslav.** Vodivé polymery. *Vesmír*. [Online] Přírodovědecký časopis Vesmír, Leden 2001. [Citace: 15. Leden 2012.] <http://www.vesmir.cz/clanek/vodive-polymery>.
21. **Katedra textilních materiálů.** Textilní vlákna pro mechatroniky. [Online] Technická univerzita v Liberci. [Citace: 19. Leden 2012.] [http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20061005/4-vlastnosti\\_vlaken.pdf](http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20061005/4-vlastnosti_vlaken.pdf).



22. **Prokeš, Jan, Stejskal, Jaroslav a Osmatová, Mária.** *Polyanilin a polypyrol- dva představitelé vodivých polymerů.* Praha : Asociace českých chemických společností, 2001. 0009-2770.
23. **21.století.** Nadlidská síla umělých svalů je za dveřmi! [Online] 21. století, 21. Říjen 2006. [Citace: 20. Listopad 2011.] <http://21stoleti.cz/blog/2006/10/21/nadlidska-sila-umelych-svalu-je-za-dvermi/>.
24. **Šlamborová, Irena.** Polymery. *Katedra chemie FP TUL.* [Online] 22. Prosinec 2010. [Citace: 20. Listopad 2011.] [www.kch.tul.cz/filebrowser/download/133906](http://www.kch.tul.cz/filebrowser/download/133906).
25. *Taktilní senzory pro automatizaci.* **Volf, Jaromír.** 7, 2008, AUTOMA, stránky 16-17.
26. **Vojáček, Antonín.** Odporové senzory síly FSR (Force Sensitive Resistor). [Online] [automatizace.hw.cz](http://automatizace.hw.cz), 25. Listopad 2004. [Citace: 14. Prosinec 2011.] <http://automatizace.hw.cz/clanek/2005112501>.
27. **Lin, Richard.** Shape Memory Alloys and Their Application. [Online] Stanford University, 21. Leden 1996. [Citace: 20. Listopad 2011.] <http://www.stanford.edu/~richlin1/sma/sma.html>.
28. **Odstrčil, M. a Odstrčil, T.** Slitiny s tvarovou pamětí. [Online] [Citace: 18. Prosinec 2011.] [files.odstrtom.webnode.cz/200000009-47b4049a7a/slitiny.pdf](http://files.odstrtom.webnode.cz/200000009-47b4049a7a/slitiny.pdf).
29. **Gruber, Josef.** Slitiny s pamětí. [Online] SPŠ strojnická a SOŠ prof. Švejnara, 21. Září 2007. [Citace: 25. Listopad 2011.] [http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef\\_gruber/clanky/nitinol.pdf](http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/clanky/nitinol.pdf).
30. **Addington, D.Michelle a Schodek, Daniel L.** *Smart Materials and New Technologies.* Harvard University : Architectural Press, 2005. str. 105. 0750662255.
31. **Robot Platform.** Types of Robot Actuators. [Online] Robot Platform. [Citace: 14. Únor 2012.] [http://www.robotplatform.com/knowledge/actuators/types\\_of\\_actuators\\_2.html](http://www.robotplatform.com/knowledge/actuators/types_of_actuators_2.html).
32. **Novák, Václav.** Intermetalika a jevy tvarové paměti. [Online] Fyzikální ústav akademie věd ČR. [Citace: 19. Leden 2012.] <http://archiv.otevrena-veda.cz/users/Image/default/C2Seminare/MultiObSem/003.pdf>.

33. **Stoeckel, Waram.** Use of NiTi Shape Memory Alloys for Thermal Sensor-Actuators. [Online] NDC, 1991. [Citace: 18. Leden 2012.] <http://www.nitinol.com/media/reference-library/059.pdf>.
34. **VŠB-TU Ostrava.** Co je mechatronika. [Online] VŠB-TU Ostrava. [Citace: 12. Leden 2012.]
35. **Maixner, Ladislav a kolektiv.** *Mechatronika*. Brno : Computer Press, a. s., 2006. str. 5. 8025112993.
36. **Maixner, Ladislav a kolektiv..** *Mechatronika*. Brno : Computer Press, a. s., 2006. str. 19. 8025112993.
37. **Gehman, David.** A smarter future. [Online] Aerospace, 16. Září 2009. [Citace: 16. Březen 2012.] [http://www.vistagy.com/downloads/smarter\\_future-9-16-09-aero.pdf](http://www.vistagy.com/downloads/smarter_future-9-16-09-aero.pdf).
38. **Lidovky.** Vědci vyvinuli umělé svaly. [Online] Lidovky, 19. Březen 2006. [Citace: 15. Leden 2012.] [http://www.lidovky.cz/ln\\_veda.asp?r=ln\\_veda&c=A060319\\_165718\\_ln\\_veda\\_znk](http://www.lidovky.cz/ln_veda.asp?r=ln_veda&c=A060319_165718_ln_veda_znk).
39. **Kapoun, Jan.** Nanotechnologie: dokonalé kostní implantáty. [Online] CIO Bussines World, 30. Září 2003. [Citace: 14. Březen 2012.] <http://businessworld.cz/ostatni/nanotechnologie-dokonale-kostni-implantaty-4052>.
40. **ČT24.** Vědci v Brně vyvíjí lak, který nahradí zubní sklovinu. [Online] CEITEC, 16. Únor 2012. [Citace: 15. Březen 2012.] <http://www.ceitec.cz/vedci-v-brne-vyviji-lak-ktery-nahradi-zubni-sklovinu/>.
41. **Homola, Jan.** Letadla blízke budoucnosti podle NASA. [Online] CARMIX, 20. Leden 2011. [Citace: 18. Leden 2012.] <http://www.caxmix.cz/2011/01/20/ledadla-blizke-budoucnosti-podle-nasa/>.
42. **Roupec, J.** Inteligentní závesy kol a tlumiče založené na elektrorheologickém principu. [Online] Vysoké Učení Technické Brno. [Citace: 16. Březen 2012.] [http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz\\_soubor.php?id=527](http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=527).

## 8. Seznam obrázků

Obr. 1 Fotochromatické brýle .....	4
Obr. 2 Změřená teplota pomocí tekutých krystalů .....	5
Obr. 3 Únik vodíku.....	6
Obr. 4 Elektrochromatické zpětné zrcátko.....	7
Obr. 5 Náplast reagující na přítomnost infekce .....	8
Obr. 6 Princip termotropních materiálů.....	9
Obr. 7 Uspořádání částic podle siločar.....	10
Obr. 8 Vznik napětí při deformaci .....	11
Obr. 9 Fotovoltaický jev.....	12
Obr. 10 Porovnání vodivosti polymerů s ostatními materiály.....	14
Obr. 11 Konjugovaná vazba .....	15
Obr. 12 Umělý sval.....	16
Obr. 13 Taktilní senzor .....	18
Obr. 14 Závislost odporu na síle.....	18
Obr. 15 Čtyřprstá ruka .....	19
Obr. 16 Přeměna austenitu na martenzit.....	21
Obr. 17 Průběh tvarové paměti .....	21
Obr. 18 Princip jevů tvarové paměti .....	23
Obr. 19 Jevy tvarové paměti v diagramu napětí .....	24
Obr. 20 Termostatický ventil pro regulaci tlaku v převodovce .....	25
Obr. 21 Termostatický regulační ventil chladiče .....	26
Obr. 22 Termostatický ventil pro kontrolu emisí .....	26
Obr. 23 Ventil pro zmírnění tlaku.....	27
Obr. 24 Mechatronika.....	28