



Nové možnosti rozvoje vzdělávání na Technické univerzitě v Liberci

Specifický cíl A2: Rozvoj v oblasti distanční výuky, online výuky a blended learning

NPO_TUL_MSMT-16598/2022



Smart textilie a oděvy

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.





KDE/VYF – Vysocefunkční textilie

Smart textilie a oděvy

Jana Drašarová
Katedra designu



Smart textilie (definice)

citlivé na vnější podněty

(teplota, chemické, elektrické, mechanické, magnetické)



Typ reakcí:

- 1) pasivní – citlivé na vnější podněty, reakce pouze nevratná (pouze cítí)
- 2) aktivní – schopné poznat změnu vnějších podnětů a reagovat vratně (cítí, reaguje), reakce je stále stejná
- 3) very smart materials – cítí, reaguje, adaptuje se (wearable electronics)
 - 1 generace – konvenční materiály + electronics added to the textile
 - 2 generace – funkce integrovány do textilie (textilní display, ...)
 - 3 generace – vlákna s integrovanou □ elektronikou – vize – výzkum
- 4) sebe-určující, samo-učící, předvídající – budoucnost nanoroboti,...

Cesty ke SMART textiliím I

1) Inovativní materiály a struktury na atomární a molekulární úrovni se smart funkcí

Jaké materiály ???

Vodivé materiály - vlákna

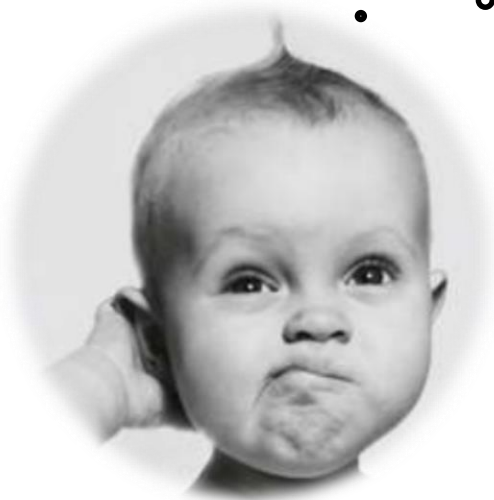
SSM Stimuli sensitive materials (magnetické, elektrické pole, chemické, teplotní mechanické, UL světlo, tlak,...)

Chameleonní (chromismus = změna barvy)

PCM Phase change materials

SMM Shape memory materials

AUXETICKÉ materiály



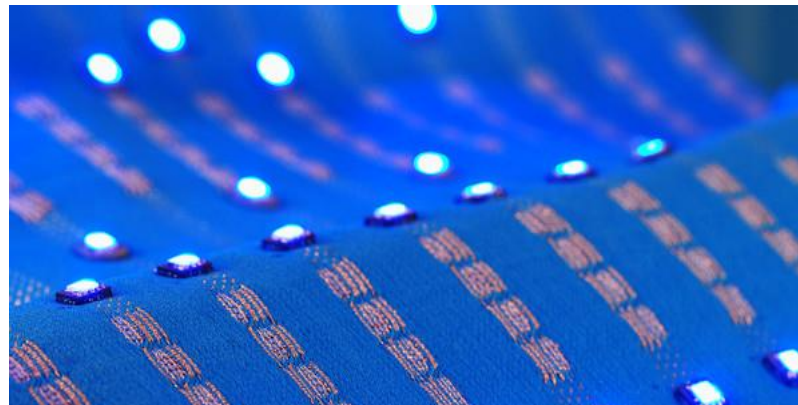
Vodivé dráhy

pasivní ST – použití např: senzory, indikátory, vodivé dráhy (snímání motorických funkcí a teploty – sport, medicína,...)

tisk vodivých drah (vodivé pigmenty)

zapřádání, zatkávání, zaplétání, vyšívání vodivých vláken

- kovová, uhlíková
- metalizovaná
- elektricky vodivé pásy
- bikomponentní - elastomerní materiály obsahující nanočástice aditiva (částičky kovů, uhlíku, uhlíkových nanotrubiček); deformace – vodivost
- vodivé polymery
- vodivá vlákna PANI konvenční (elastomer „Lycra“, bavlna) pokrytá polyanilinem, polypyrolinem = piezoresistivita + termoresistiva (deformace □ el- termo- odpor)

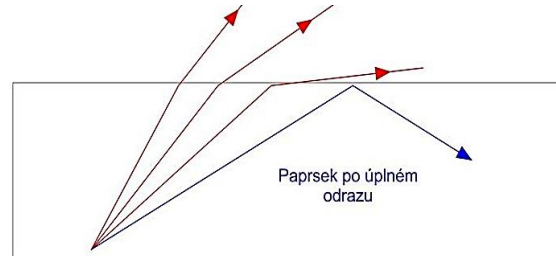


Vodivé materiály - vlákna

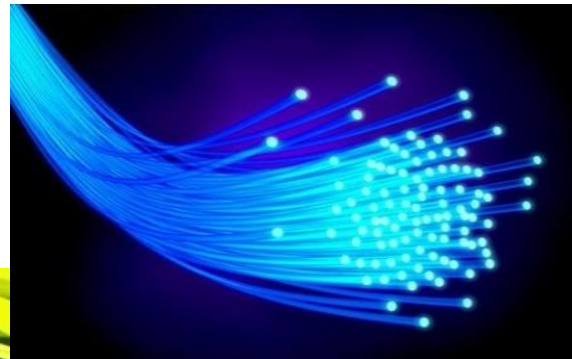
optická vlákna

 A) přenos světelného signálu + citlivost na deformace, chemikálie, tlak, tah, el. mg. pole,... (princip "vnitřních odrazů,, - 100% světla se odráží na rozhraní 2 prostředí s rozdílným indexem lomu a neopouští prostředí)

 B) stranově vyzařující vlákna (bezpečnost, design)

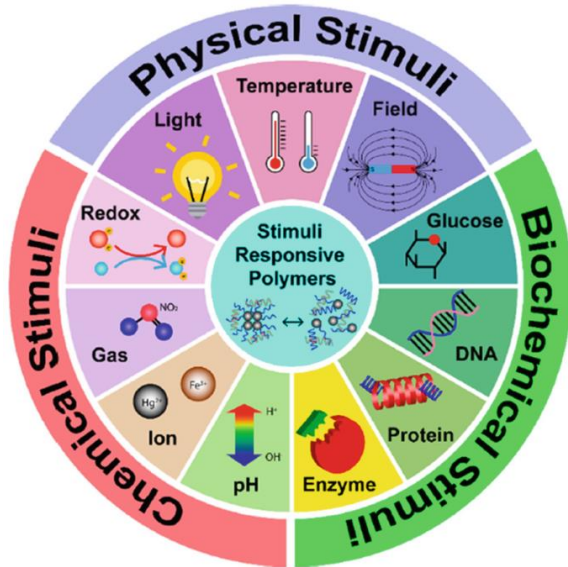


Pasivní ST
X
Aktivní ST



SSMs/SSPs Stimuli Sensitive (responsive) Materials/Polymers = Materiály/Polymery citlivé na podněty

podnět (stimul) – **rozhodnutí** (velikost podnětu) – **odpověď** (změna vlastnosti)



tlak
napětí
teplota
chemické látky
elektrické pole
magnetické pole
hydrostatický tlak
různé druhy záření
světlo
pH
...

vratná reakce

absorpce protonu
chemická reakce
posun/rotace segmentů
v molekulární struktuře
vznik a pohyb
krystalografických vad
změna polohy konformace
vznik či střídání napěťových
polí

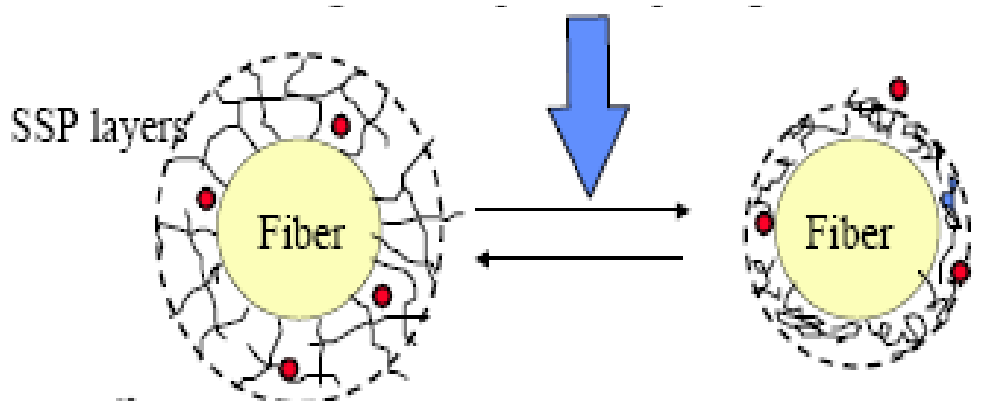
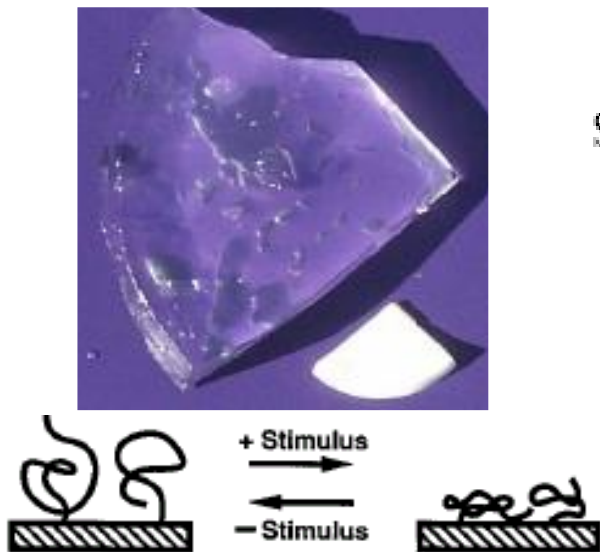
změna
barvy
objemu
indexu lomu
rozdělení tlaku
rozdělení napětí

SSMs/SSPs

polymerní materiály - gely = 3D zesítěné polymerní řetězce / schopnost bobtnat

Př: chitosan podnět – zvýšená vlhkost
x odpověď dramatické bobtnání nebo kolaps

použití – kontrolované uvolňování funkční substance

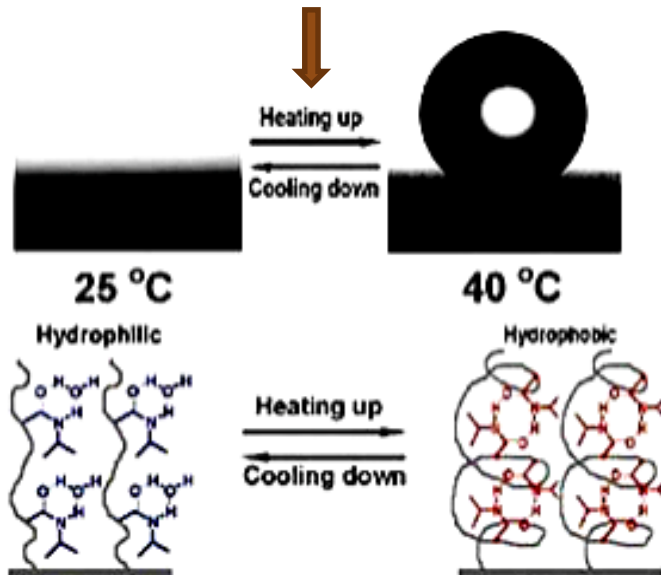


SSMs/SSPs

Př: Poly N-izopropylakrylamid (PNIPAAm) je pod 32°C hydrofilní nad 32°C hydrofobní
podnět – zvýšená teplota x odpověď řetězce hydratují (rozbalují se) nebo kolabují

kritická teplota (KT) = hydratace-dehydratace

pod KT
řetězce hydratují
=
rozbalují se
povrch je hydrofilní



nad KT
srážení řetězců
povrch je hydrofobní

SSMs

Chameleonní materiály/textilie

(chromismus = změna barvy)

aktivní ST - mění svou barvu působením vnějších podmínek

podle podnětů, které vyvolávají změnu barvy:

(pigmenty, které

....

v důsledku toho mění svoji chemickou strukturu a tím i své optické vlastnosti)

Termochromní – reagují na změnu teploty

(absorbují teplo)

Fotochromní – reagují na světlo (absorbují UV záření)

Elektrochromní – reagují na změny el. proudu

Piezochromní – reagují na změny tlaku

Solvatochromní – reagují na změny kapalin

Chemotropní –



Př: Solvatochromní – využití – medicína (obvazy, teploměry), móda



Sport – ALPINE PRO

DEŠTNÍK MĚNÍCI BARVU NA DĚŠTI



Př: termochromní



Uniforma – maskování: pouštní
FT TUL

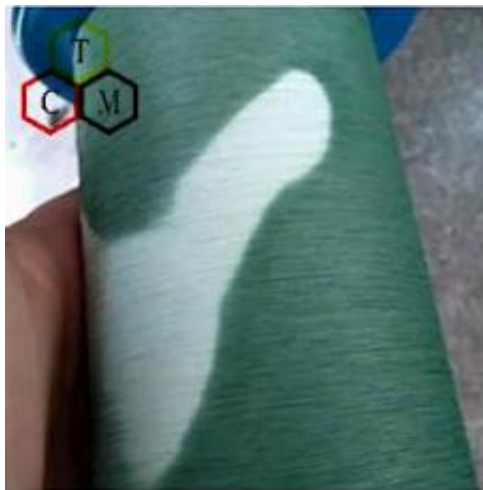
lesní

<https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/2904737-vojak-jako-chameleon-v-liberci-vyvinuli-uniformu-s-promenlivym-maskovanim>

Móda - VERONIKA BENEŠOVÁ



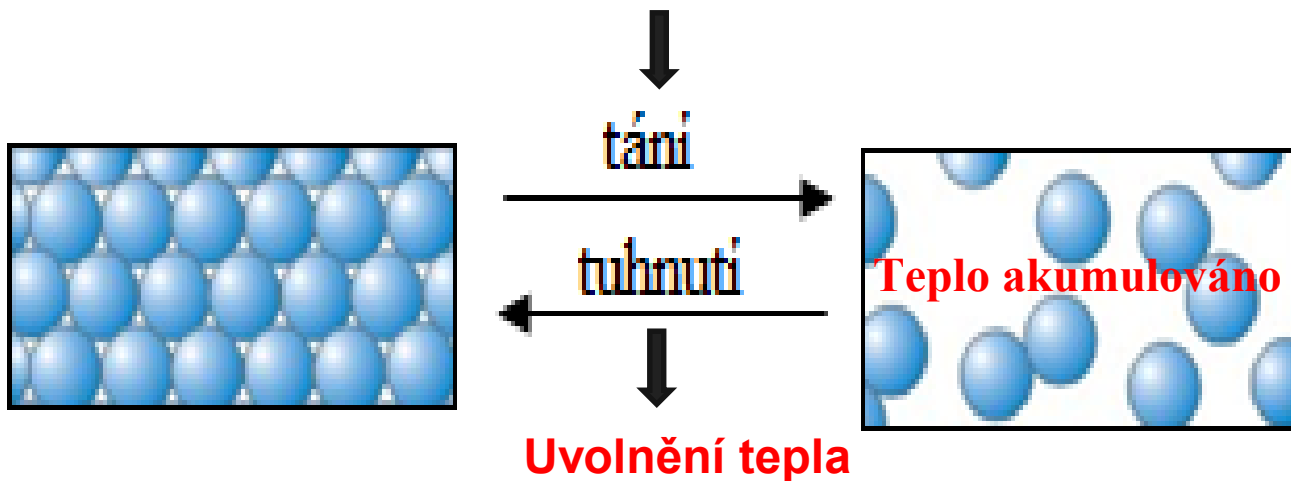
Př: fotochromní



SSMs

Phase Change Material PCM = Materiály měnící fázi

Změna: pevná I. – tekutina teplo absorbuje



ochlazování / zahřívání lidského těla

Změna: tekutina – pevná I. teplo uvolňuje

absorbce / uvolňování tepla

Phase Change Material PCM

Materiály - organické a neorganické

hydratované soli, parafinové vosky, mastné kyseliny, směsi

intenzita 6-1000 °C

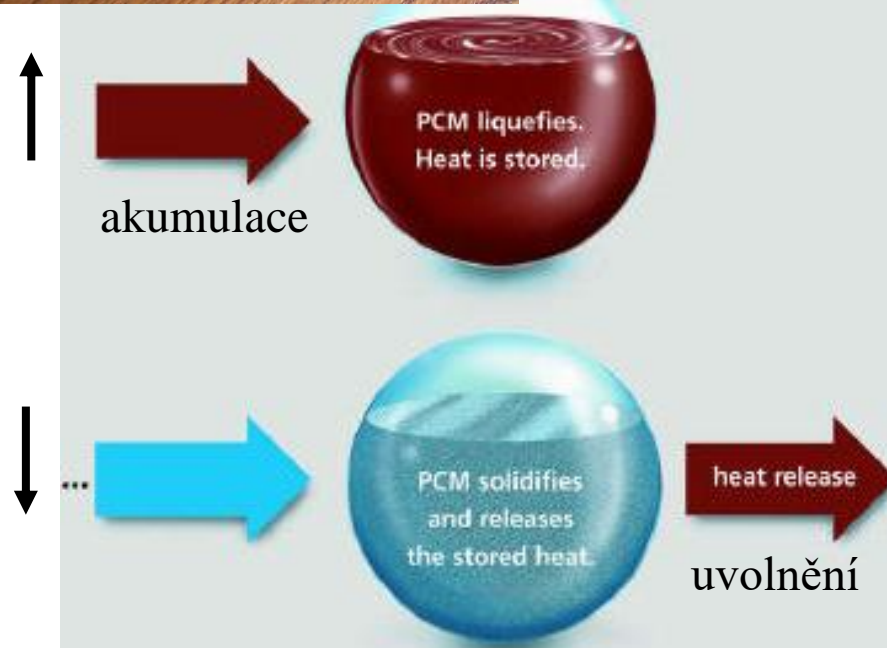
čas 6-10 min

Př: parafinové vosky

lineární řetězce

netoxické, nekorodují, chem. inertní

teplota tání a teplo tavení roste s délkou řetězců



Shape Memory Materials SMM

= materiály s tvarovou pamětí

Materiály

Slitiny (SMA)

nitinol = nikl + titan + další stopové prvky (měď-zinek-hliník, měď - hliník-nikl,...)

Polymery (SMP)

(blokované a segmentové kopolymery)

Keramiky

Organické materiály

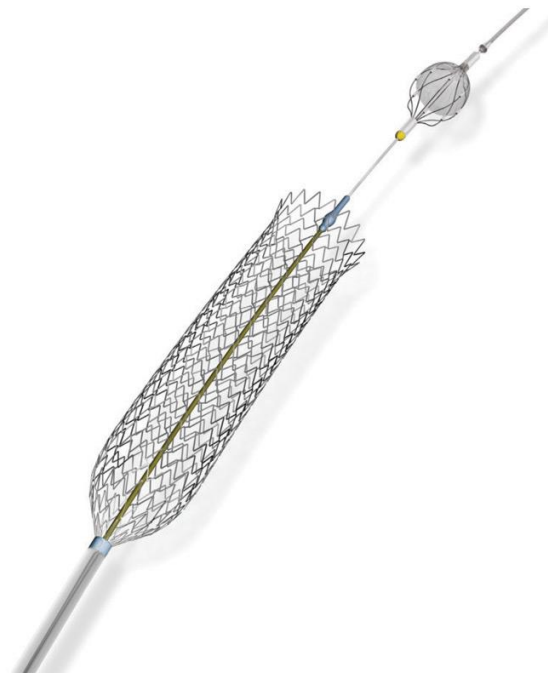
Použití

medicína

rovnátka, dentální aparáty, chirurgické nástroje, katetry, kostní protézy, šrouby

samo-roztažné:
expandují v 37 °C

akční členy



Slitiny (SMA)

NITINOL

Nickl (Ni), Titan (Ti) Naval Ordnance Laboratory (NOL)

1960s

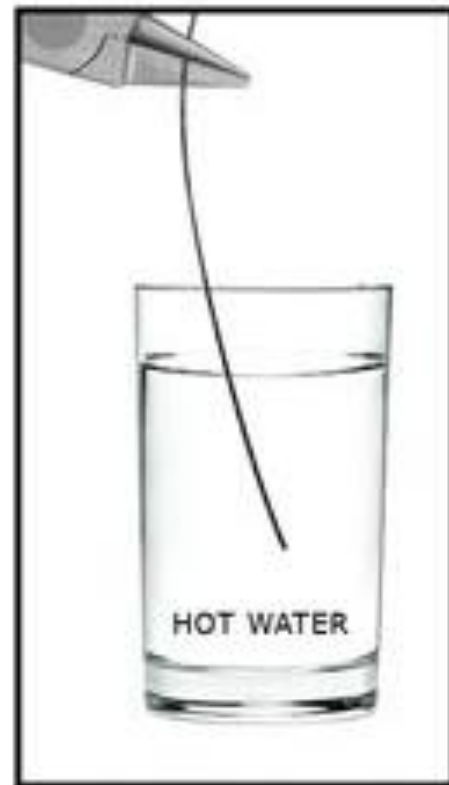
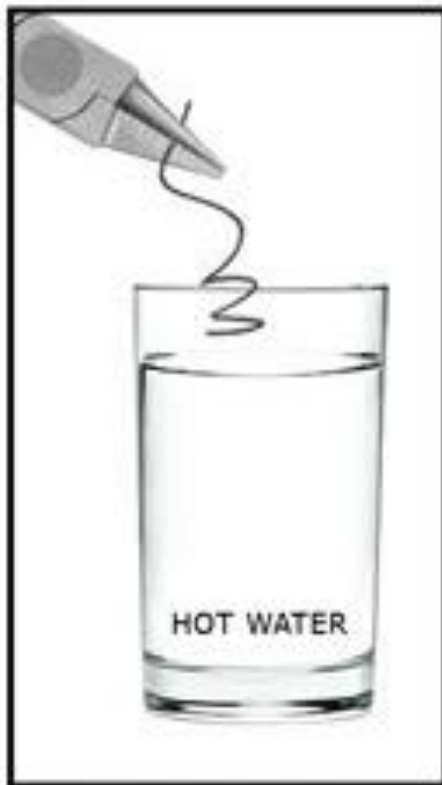
unikátní chování

tvárová paměť

superelasticita

biokompatibilita

nekoroduje

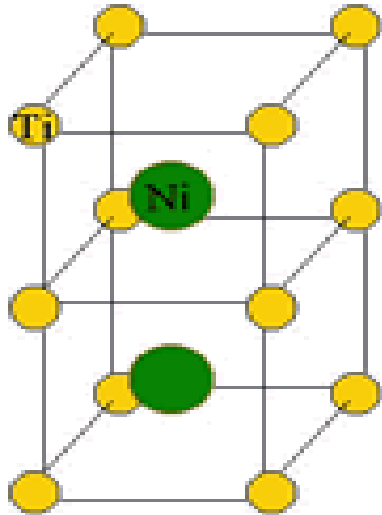


NITINOL

princip – vratná změna v rámci pevné fáze, posun atomů = změny v krystalické mřížce

Austenit vysokoteplotní

krystal symetrický centrováný tetragonální
tvrdost

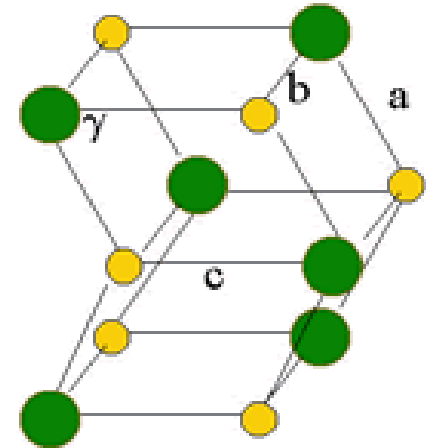


$$a = b = c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Martensit (až 24 variant) nízkoteplotní

„zkroucená“ krychle
měkčnost, deformabilita



a, b, & c are not equal,
 γ about 96°

NITINOL

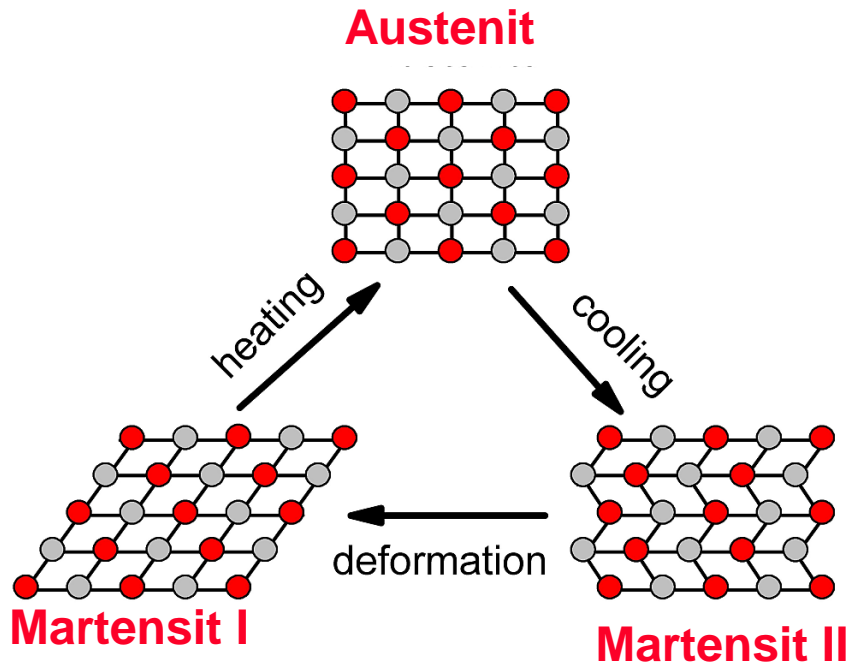
princip – vratná změna v rámci pevné fáze, posun atomů = změny v krystalické mřížce

efekt tvarové paměti

1) nastavení
materiál v požadovaném tvaru tepelně zpracován (540 °C; 2 - 5 min.) = fixace tvaru v **austenitické** struktuře

2) deformace
používání v **martensitické** (měkké) str. (pokojová teplota)

3) zotavení
původní tvar navrácen opětovným zahřátím nad teplotu transformace



Efekt pseudoplasticity (vysoké deformability)

1) deformace
používání v **martensitu I** (měkké struktuře)
deformací změna **na martensit II**

2) zotavení
transformace **z martensitu II na martensit I** po uvolnění zatížení
5% obnovitelnost elasticity, hystere
nejsou nutné tepelné změny



NITINOL – příklady využití v textiliích

Př: „Oricalco“ košile s tkaninou z NITINOLu
Nitinol - cca 50% Ti, lehká slitina
„naprogramované“ vyhrnování rukávů



SMPolymery

princip – vratná změna v rámci pevné fáze

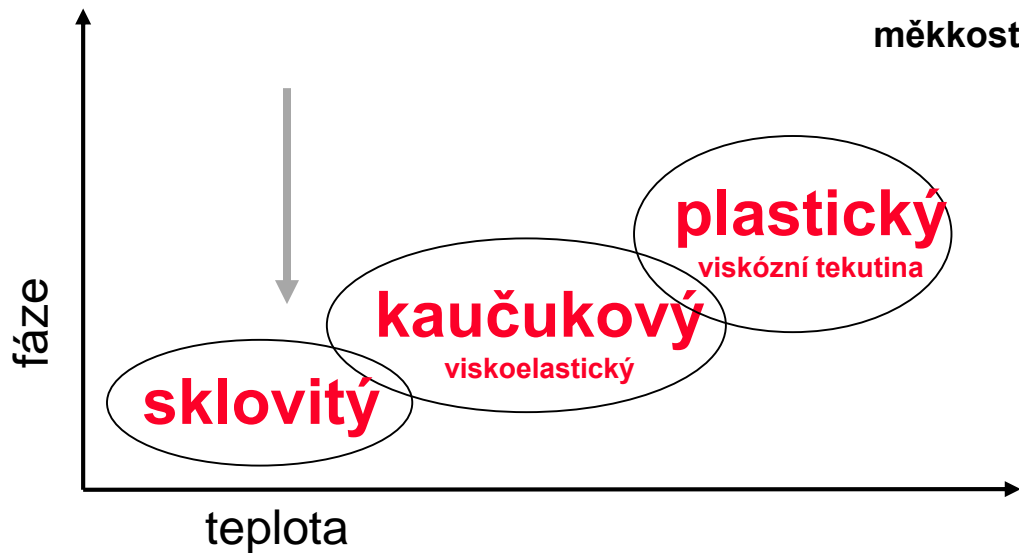
Sklovitý stav
nízkoteplotní

tvrdost

Změna při teplotě zeskelnění T_g
aktivační bod $-30\text{ }^\circ\text{C}, 70\text{ }^\circ\text{C}$

Kaučukový stav
vysokoteplotní

měkkost



krystalický - amorfní

SMP

Co to je tvarová paměť?

Teplota pod aktivačním bodem

SKLOVITÝ STAV

pevná struktura
propustnost je nízká



Propustnost se
mění v
závislosti na
teplotě
=
aktivní reakce

Teplota nad aktivačním bodem

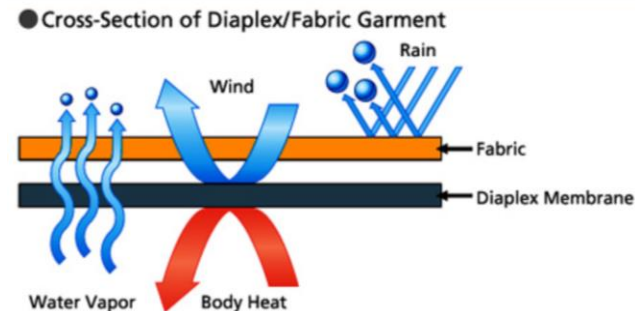
KAUČUKOVÝ STAV

Micro-Brownův pohyb
= roste propustnost pro
vlhko i teplo

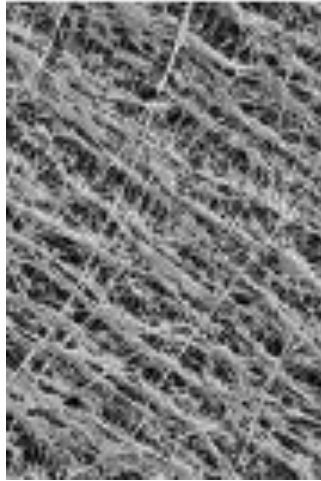


Využití – paropropustná membrána DIAPLEX, c_change™
(aktivační bod na 0°C)

Výroba – blokový kopolymer s tvrdými a měkkými segmenty
tvrdé segmenty = krystalická fáze = polyuretan
měkké segmenty = polyeter nebo polyester diol
waterproof (20 000 - 40 000 mm)
breathability (6 000 až 12 000 g/m² za 24 hod)
elasticita a měkký omak



Mikroporézní (Gore-Tex)

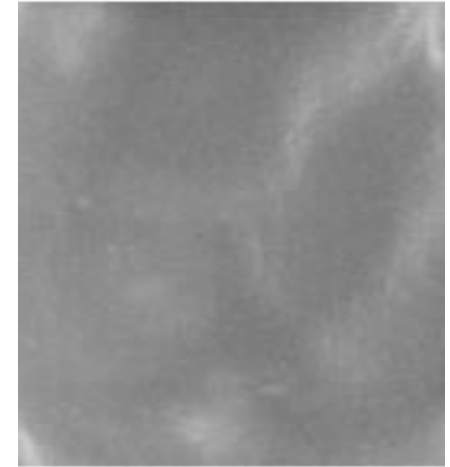


Světelná mikroskopie

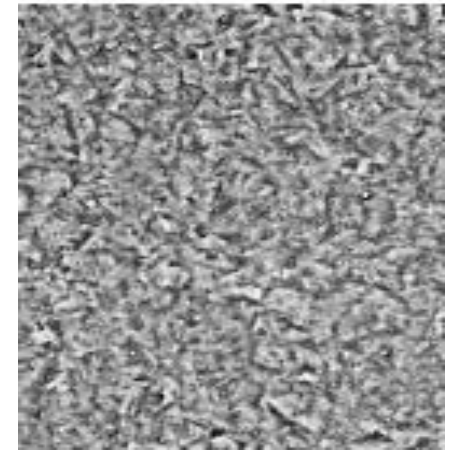
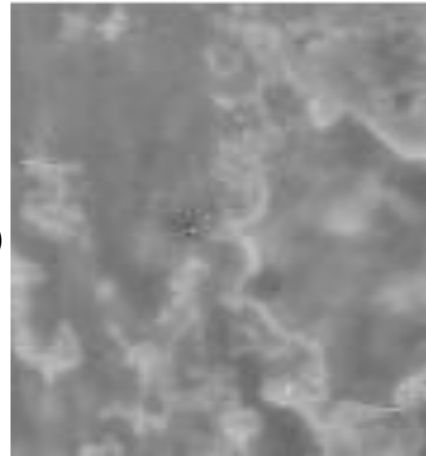
Hydrofilní (žádné póry)
chemické skupiny (adsorpce, difuze,
desorpce molekul vodní páry)



Shape memory
polyuretany (SMPUs)



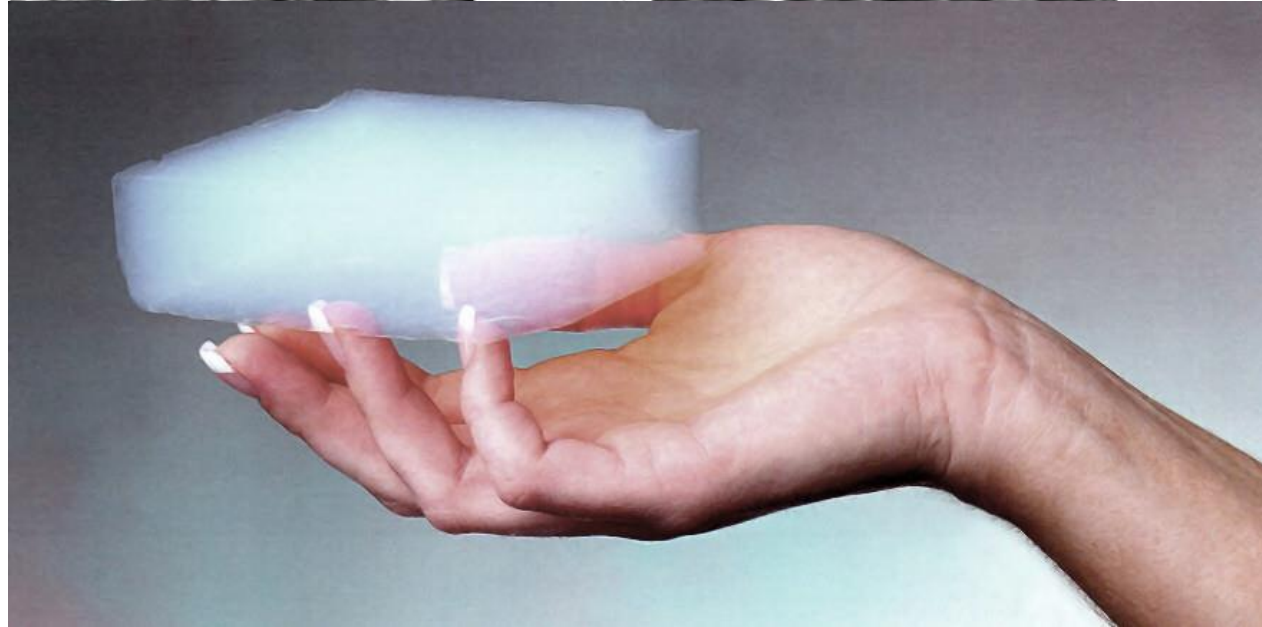
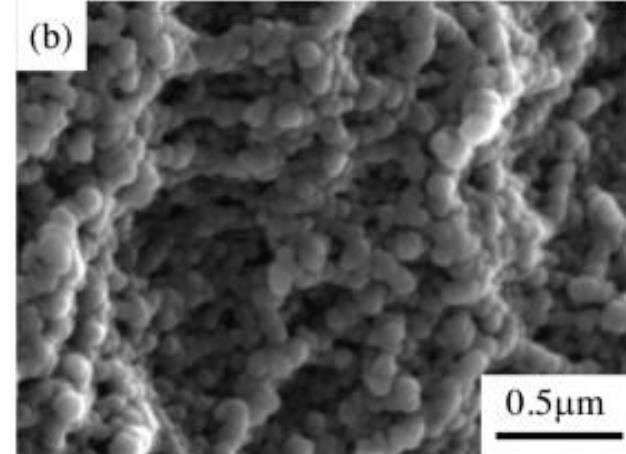
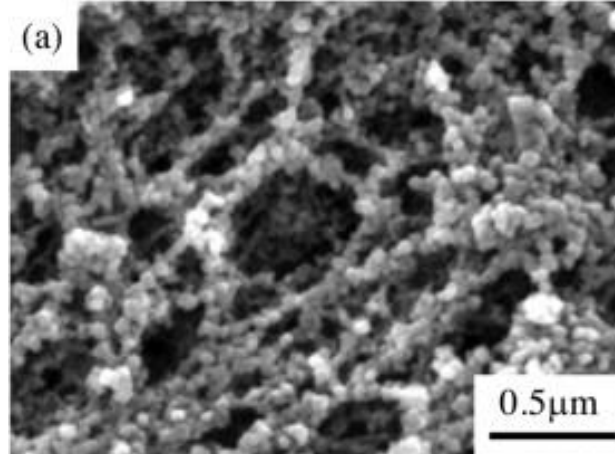
Transmisní elektronová mikroskopie (RTG záření)



Aerogely

“pevný kouř” - 96% porozita
matrice křemíku (SiO_2),
nejlehčí pevná látka

NASA, sol-gel chemie, 1931
v přírodě neexistuje
vesmírný výzkum, ...
izolace
aktivní, pasivní části senzorů



Aerogely

Výroba

sol-gel chemie

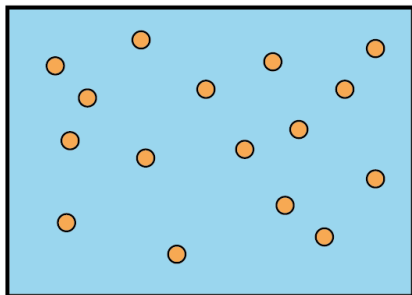
vypařování tekutiny z gelu

při superkritické teplotě a tlaku

komplikované, drahé (3x okenní sklo)

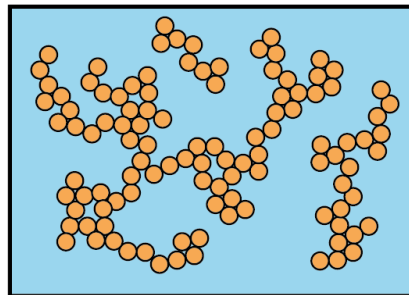
transformace kapalného systému (koloidní *sol*) na pevnou fázi (*gel*)

Sol

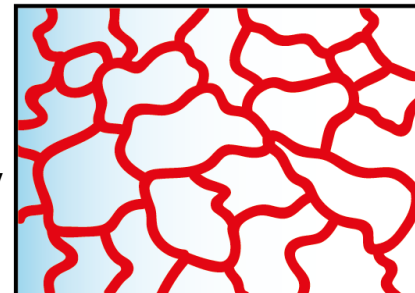


Agregace
(vznik gelu)

Gel



Vypaření tekutiny



Aerogely vlastnosti

hustota 1,6-3 mg/cm³

96% porozita (obsahuje více než 96% vzduchu,
váží 526x méně než voda)

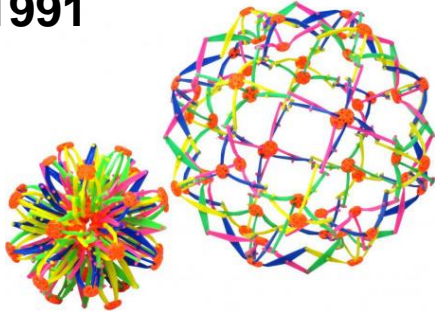
částice 2 - 5 nm měrný povrch 900 m²/g



tepelná izolace -300 až 1000°C
t. vodivost (40x méně než skleněná vlákna)

Auxetické struktury

r. 1991



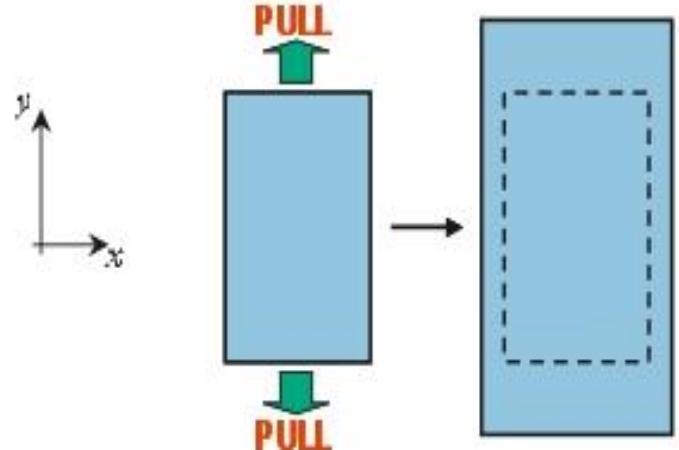
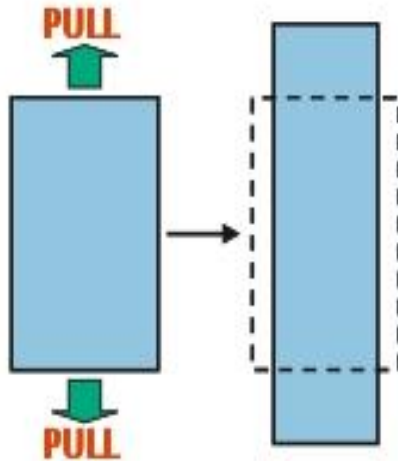
konvenční
pozitivní Poiss. číslo
protažení ve směru y (+)
sražení ve směru x (-)

auxetické
negativní Poiss. číslo
protažení ve směru y (+)
protažení ve směru x (+)

Poissonovo číslo

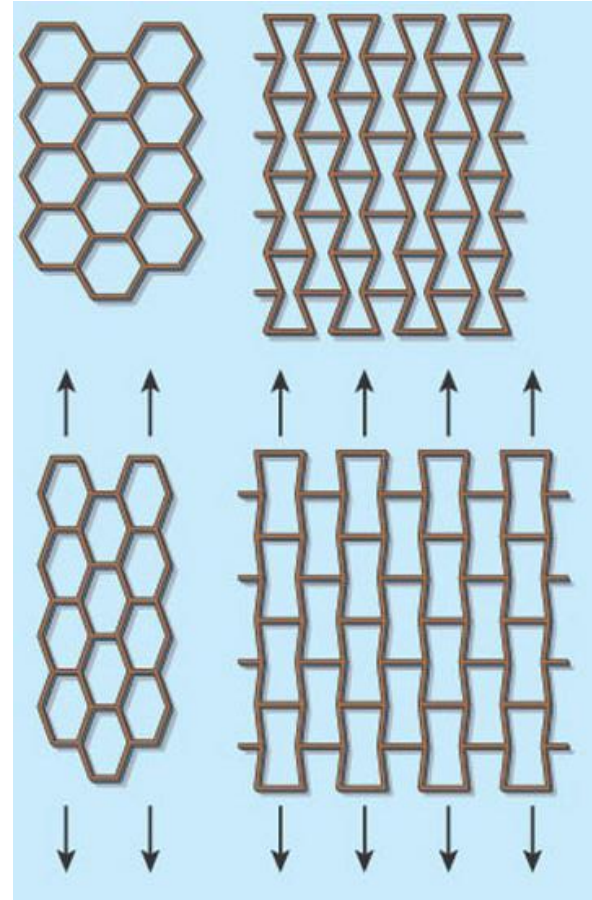
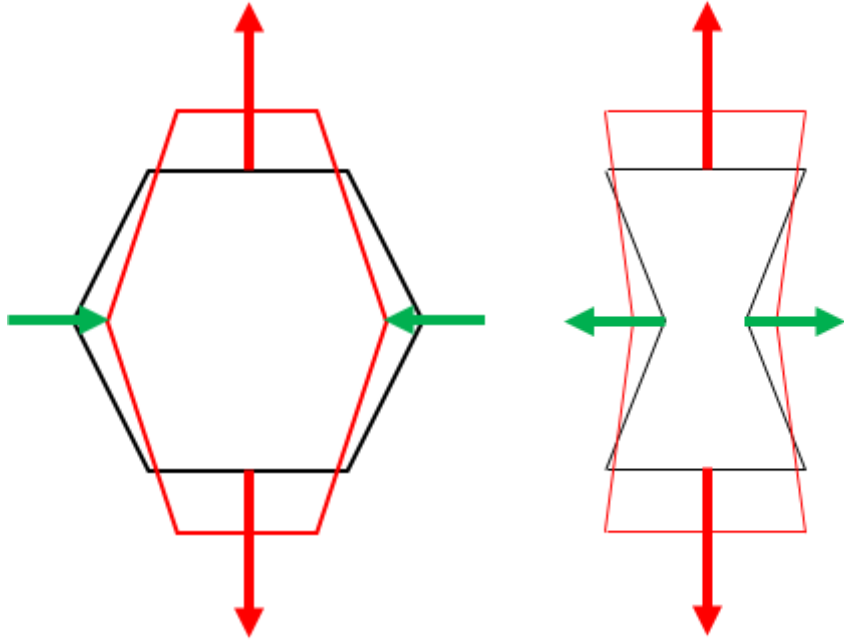
při působení síly ve směru osy y

$$\nu_{yx} = -\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y}$$



Auxetické struktury

model základní jednotky



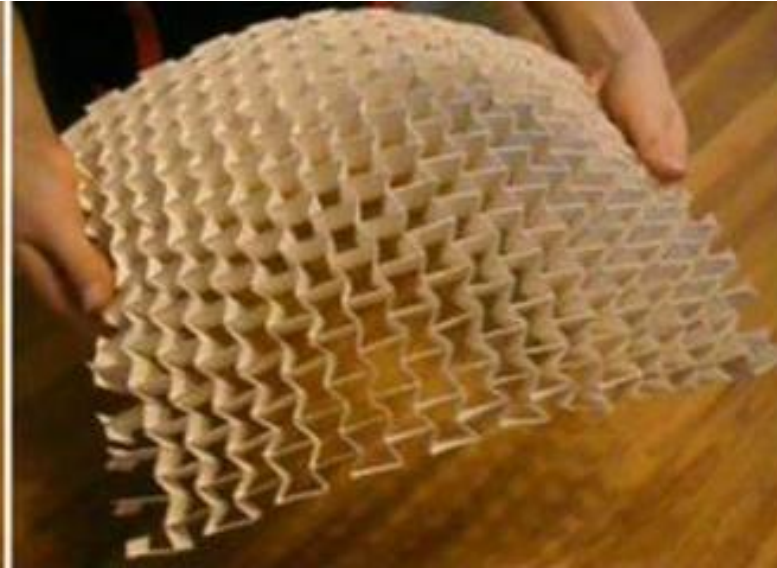
Auxetické struktury vlastnosti

pod tlakem:

- Konvenční – zeslabení, protržení
- Auxetické – kondenzace, odpor proti deformaci

vysoká absorpce energie, zvuku

vysoká zpracovatelnost



Auxetické struktury

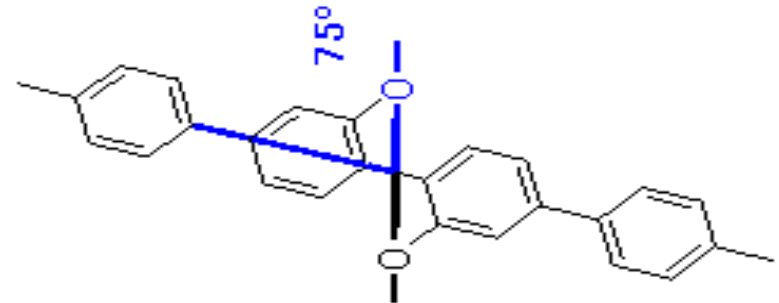
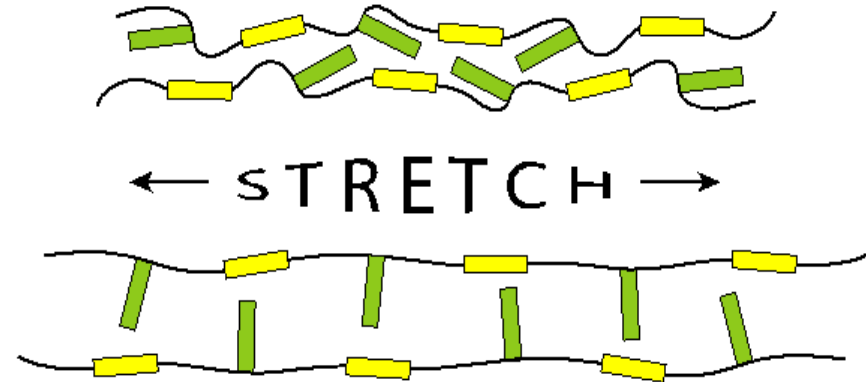
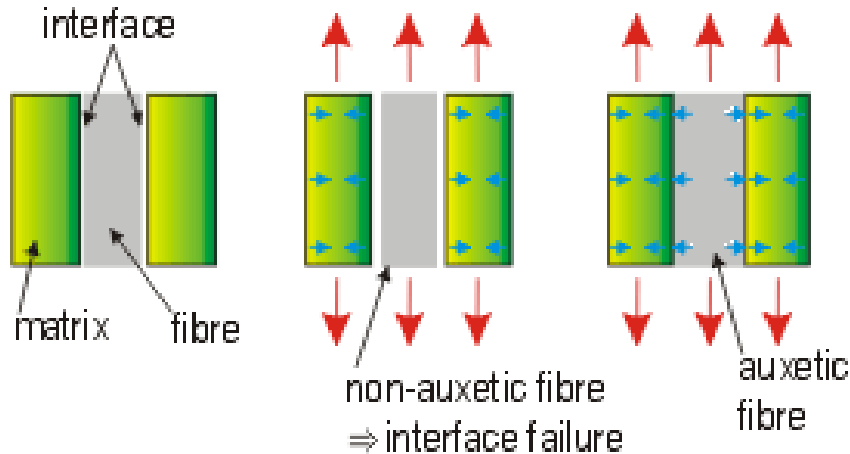
příklady

auxetické polymery, vlákna

včlenění molekulárních elementů do hlavního řetězce

rotace tyčinek = auxetické chování

Př: PTFE - Goretex (patent Toyota, Yamaha, Mitsubishi, AlliedSignal Inc, BNFL and US office of marine research)



Auxetické struktury příklady

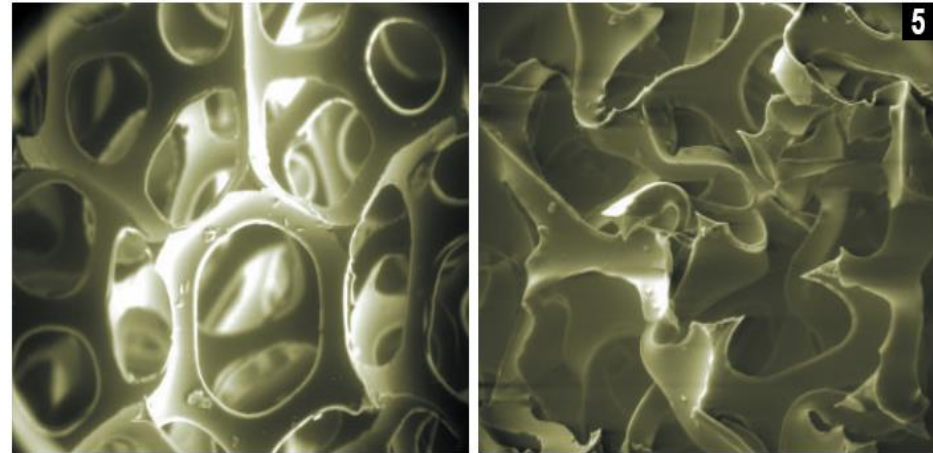
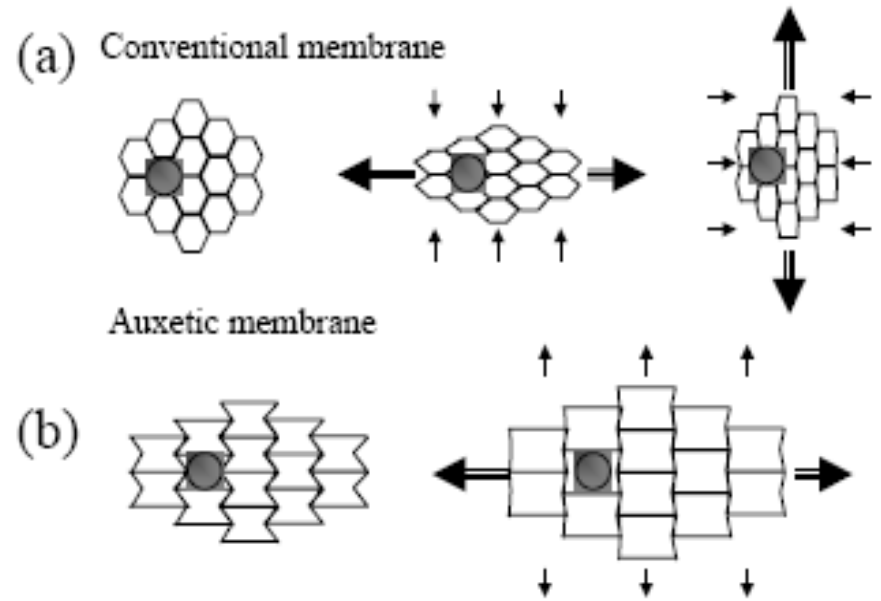
auxetické pěny, síta, filtry

Ne-auxetický filtr (struktura „medová plástev“)

otevírání póru ve směru dilatace
uzavírání v opačném směru

Auxetický filtr

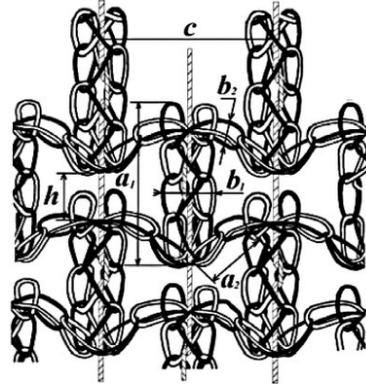
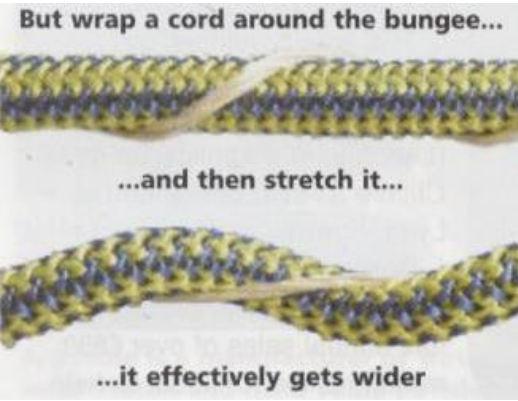
otevírání póru v obou směrech
čištění zaplněného filtru
nastavení efektivní velikosti pórů



Auxetické struktury

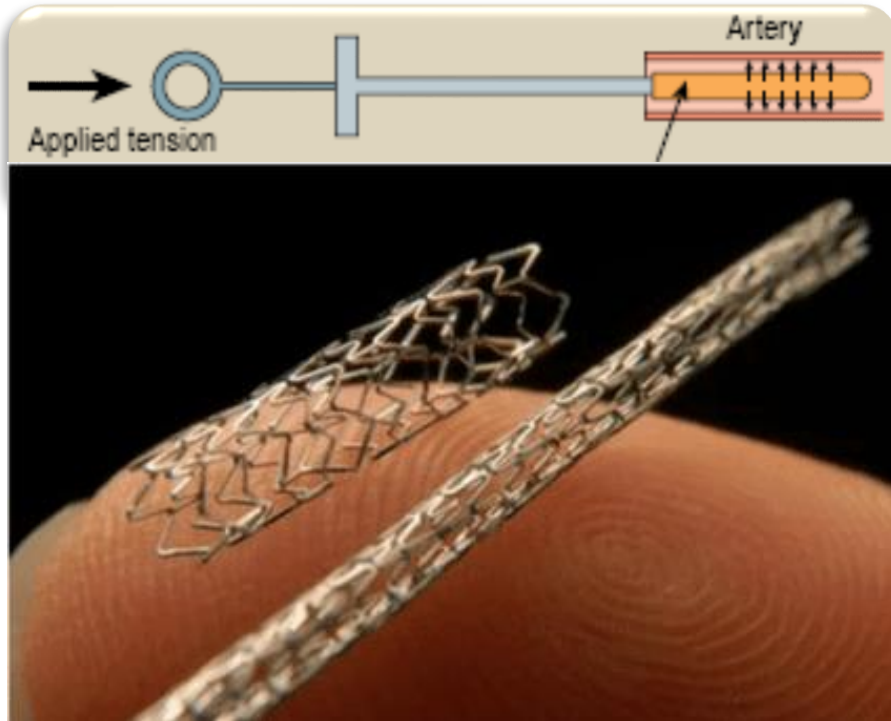
příklady

2D textilie, 3D textilie, kompozity

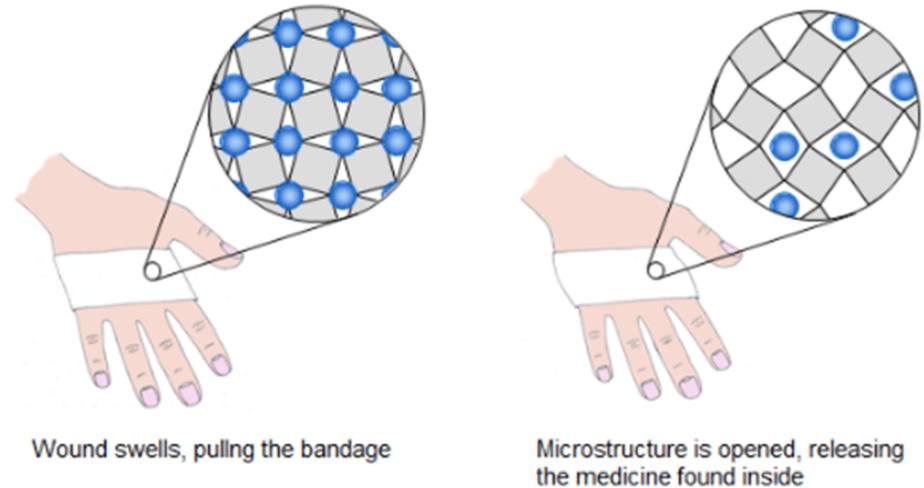


Auxetické struktury příklady – v medicíně

Př: chirurgické implantáty
(šití, šlachy, dilatátor cév – angioplastika PTFE)



Př: Kontrolované uvolňování léků



Aktivace textilních povrchů

vlákna s aditivy

finální úpravy (tisk, impregnace, zátěry, ... nanopovrchy)

nano-vlákna

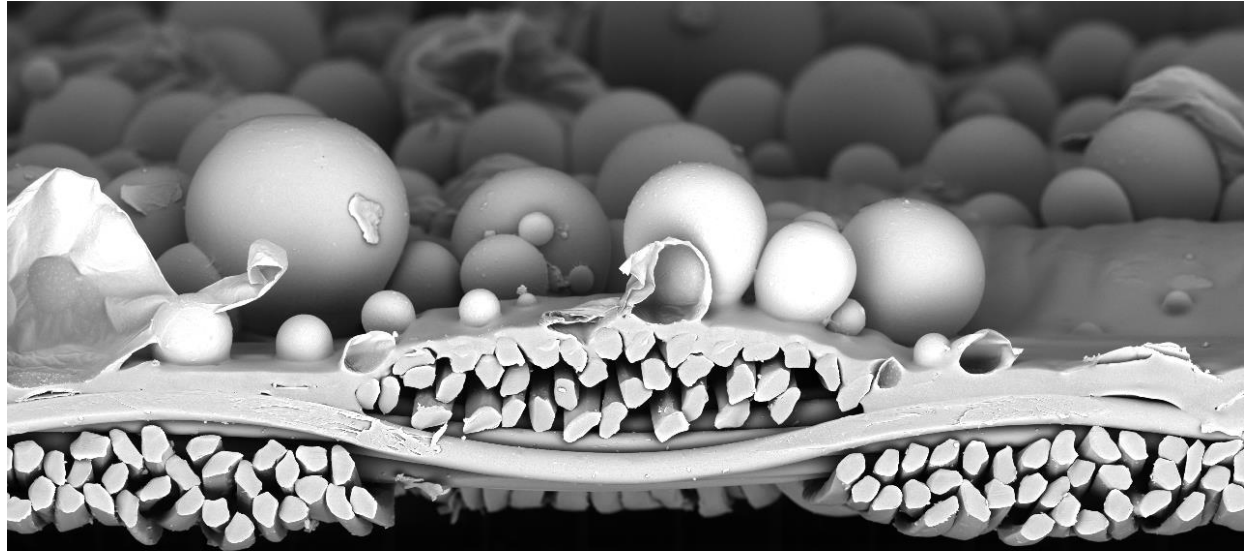
supramolekulární cyklické struktury

enkapsulace (mikro,- nano,- částice)

laminace (membrány)

Proč „nanopovrchy“ ?

nano částice = velký
měrný povrch m^2/kg



Rozvětvené makromolekuly - dendrimery

Dendrimery

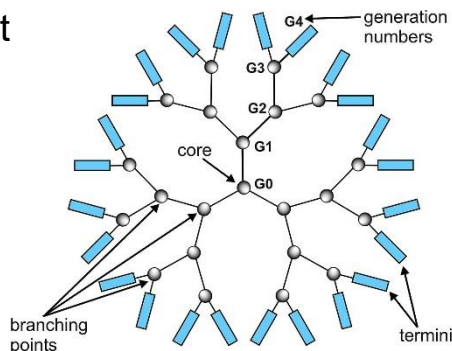
vysoce uspořádané polymery s rozvětvenými molekulami
obvykle souměrné podle svých středů a často zaujímají kulovitý tvar

Dodávání léčiv

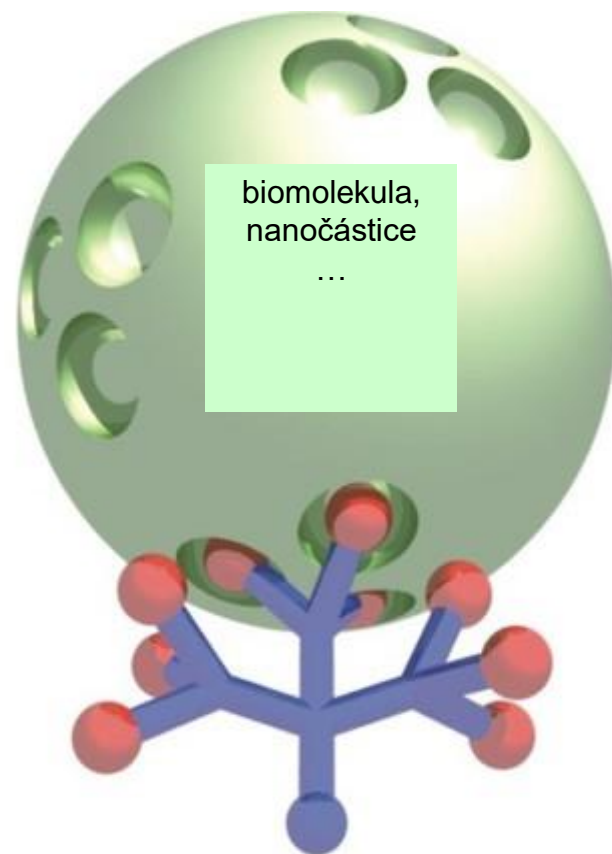
Ochranné materiály

ochrana proti biol. a mikrob. lát
(nanočástice stříbra)
léčba zranění

jednoduchý řetězec
polymerní krystal
dendrimer



DENDRIMER



Supramolekulární cyklické struktury

Cyclodextriny: cyklické produkty štěpení škrobu - uzavření kruhu 6-8 jednotek glukózy
hydrofilní (vnitřní) – fydrofobní (vnější) část molekuly

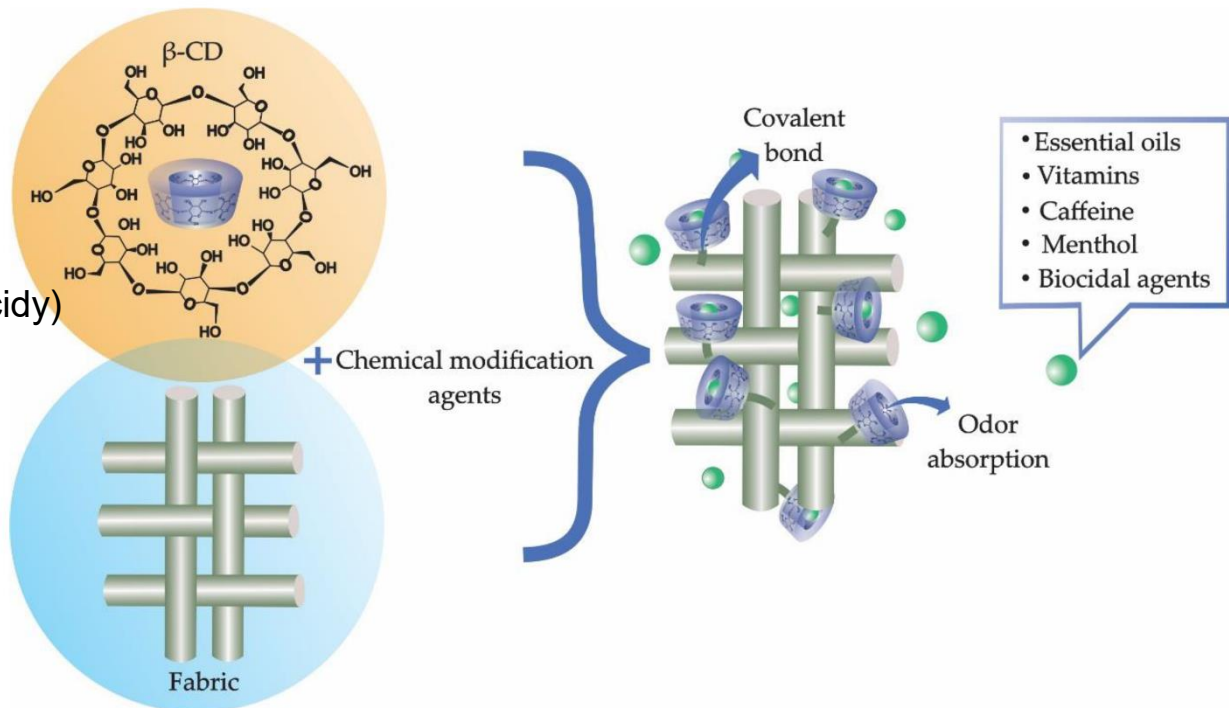
Ukotvení na povrch textilie

Funkce:

absorbuje (pot, kouř) – vypratelné

emituje (mikrobiální l., vůně, insekticidy)

aktivace – vlhko (uvolnění)

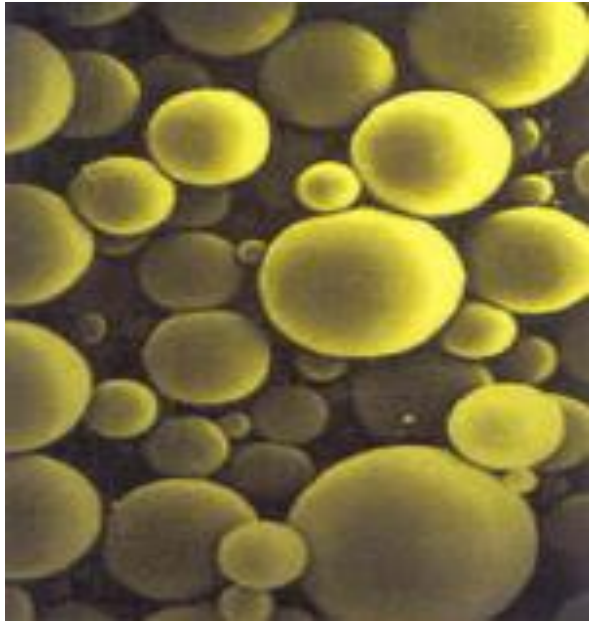


Enkapsulace

Mikro – balení, koule, krystaly

aktivní materiály uzavřené v tenkém polymerním obalu

1-1000um



neporézní

FAKULTA TEXTILNÍ IUL PCM, termotropní pigmenty, TiO₂



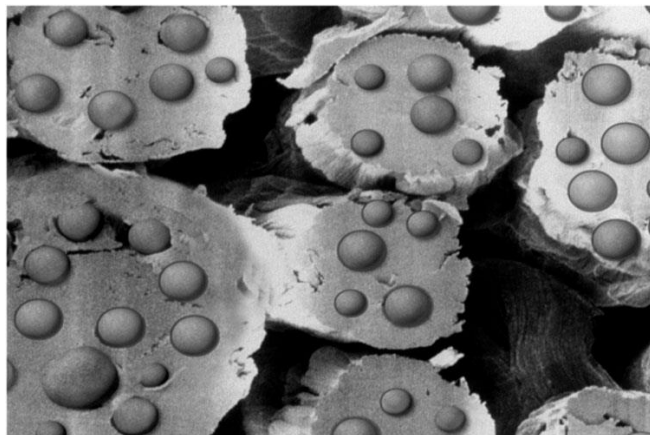
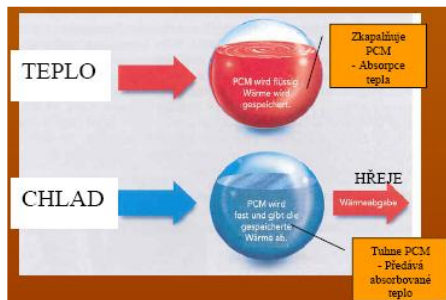
porézní

postupné uvolnění

- Vůně a esence
- Pesticidy and herbicidy
- Farmaka
- Vitamíny
- Antimicrobiální látky
- Kosmetické přípravky
- Vizuální indikátory

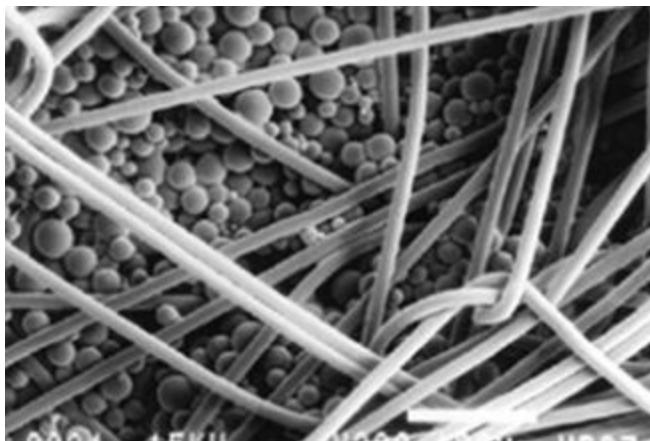
Mikroenkapsulace/ NEporézní/termotropní

PCM



aditivum vláken
zátěry, pěny
(Dupont, Schoeler)

aplikace:
automotiv, apparel active,
lifestyle apparel, outdoor
sports, aerospace textiles,
medical textiles



Cesty ke SMART textiliím II

- 2) Inovativní materiály a struktury vložením známých prvků
aktivní (parazitické) elementy připojené do struktury
aktivní elementy vložené do struktury

integrace mikroelektroniky do textilií/oděvů (very smart, e-textiles, wearable clothes,...)



Very smart – cítí, reaguje, adaptuje se

very smart, e-textiles, wearable clothes

- 1 generace** – přístroje přidané v textilií (mikrofon, mobil, MP3, GPS; vodivé dráhy)
- 2 generace** – el. funkce integrované v textilií
- 3 generace** – vlákna s integrovanou melektronikou – vize – výzkum

5 funkcí

- senzory
- akční členy
- kontrolní jednotky
- uložení energie
- komunikace



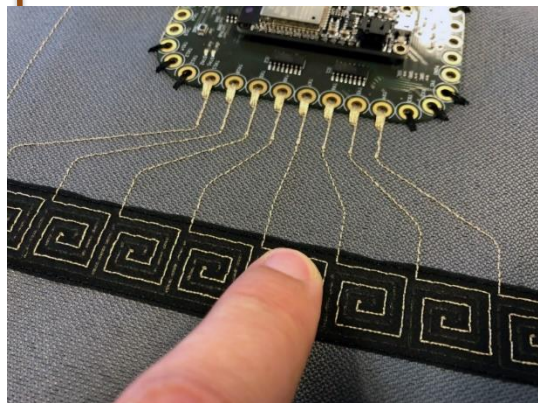
Senzory

- **Tepelné** (Př: termistor: změna odporu; bobtnání hydrogelu)
- **Světelné** (Př: fotorezistory: výstupní napětí)
- **Zvukové** (Př: piezoelektrické materiály - zvuk na elektrický signál)
- **Vlhkosti** (Př. kapacitní zařízení, které mění dielektrické vlastnosti)
- **Tlaku** (Př: tlak na elektrický signál – otevření/uzavření okruhu; kapacitní nebo piezoelektrické jevy)
- **Deformační** (Př: napětí na elektrický signál - polovodičové materiály, piezoelektrické efekty)
- **Chemické**
- **Biosenzory**

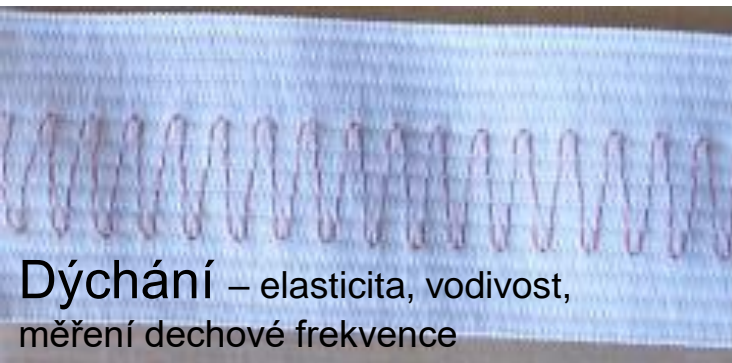
Miniaturizované pratelné komponenty



Piezokeramický mikrofon



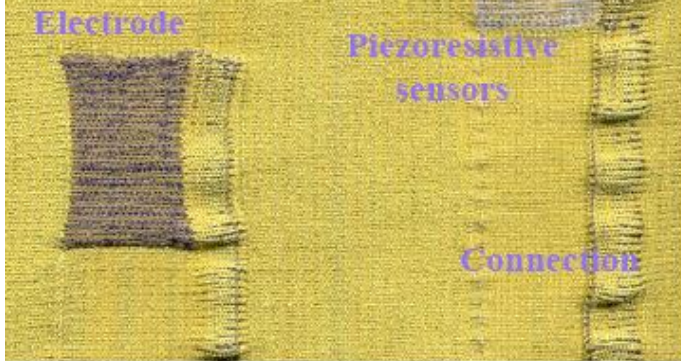
Senzory na bázi textilních struktur



Tlak – polyvinylidenfluoridová vlákna detekují malé síly

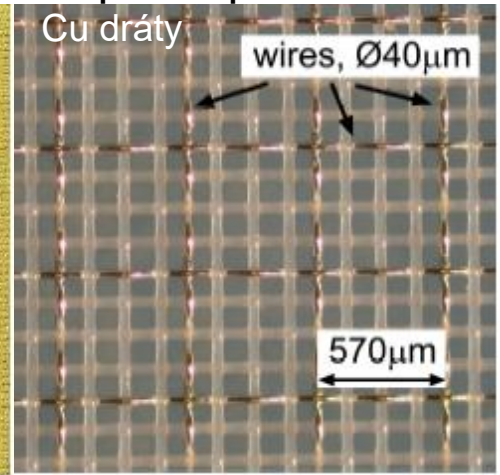
Textilní elektroda

vícevrstvá pletenina obsahující jak aktivní vrstvu, tak i ochrannou neaktivní



Tepelné pole

Cu dráty



Zpracování dat / kontrolní jednotka / procesor

- potřeba tehdy, když textilie aktivně zpracovává informace

Problémy:

- variabilita signálů a analýza signálů jsou hlavními problémy datových procesorů.
- energie potřebná pro procesor
- odlišnost od struktury textilie (tvrdost)
- prateľnost (nutnost hydroizolace)

žádný textilní materiál neposkytuje

technické úkoly pro plnou integraci:

miniaurizace flexibilní formy
propojení
balení & prateľnost

interdisciplinární přístup



Zpracování dat / kontrolní jednotka / procesor

System integrace 2 cesty: elektronické komponenty

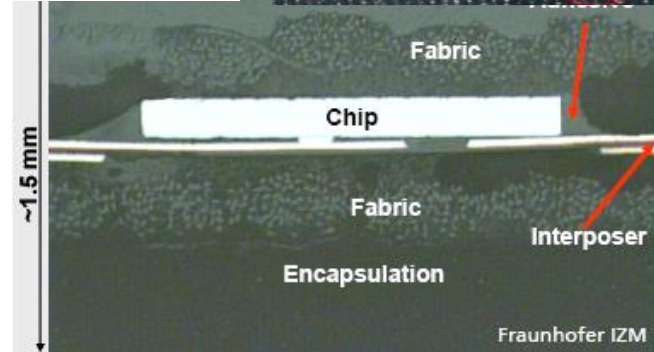
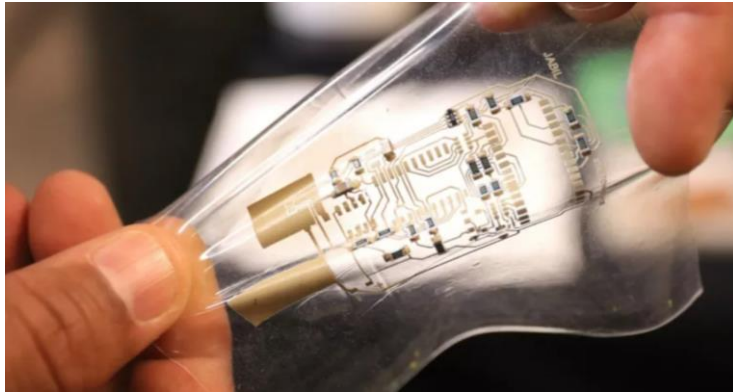
1. realizované na **ohebných** substrátech kombinované s textilíí

flexibilní (ohebná, polymerní) elektronika

nízká cena + nízká kvalita elektronických obvodů

tisk na ohebný materiál (textilní?)
aplikace do 5 až 10 let

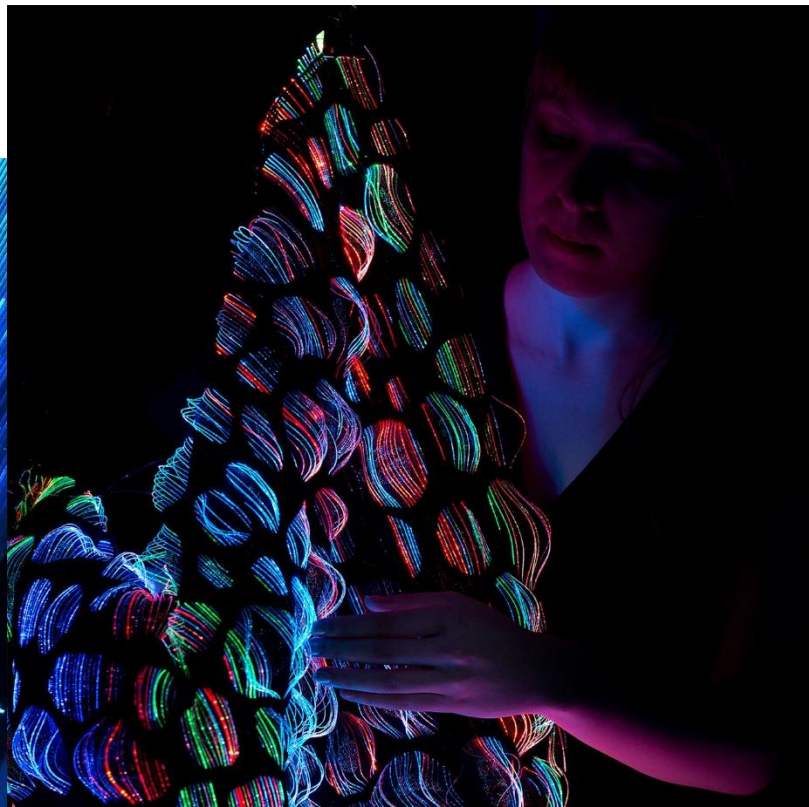
2. integrované **zapouzdřením** v textilní matici a spojení speciálními vlákny



Akční členy

zařízení určená k provádění reakce na impuls ze senzorů nebo procesoru

- uvolnění substance
- zvuk
- světlo ...



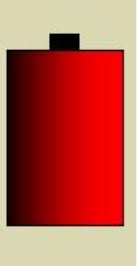
Akční členy

- pohyb – shape memory materiály (umělé svaly)



Zdroj energie / akumulace / uložení

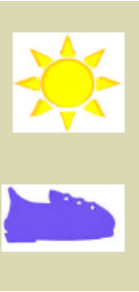
Primární baterie



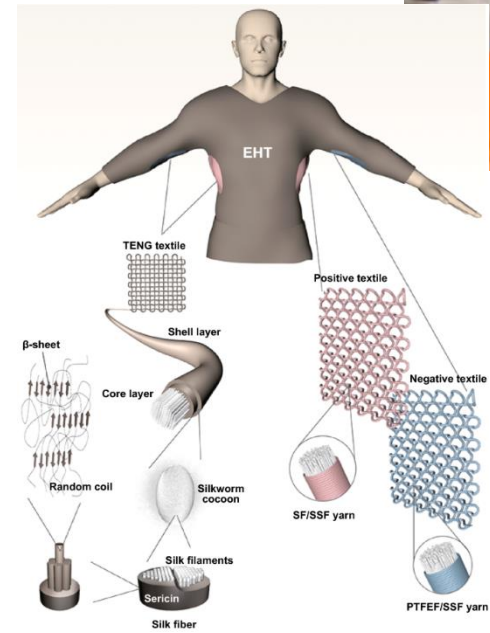
- malé a lehké baterie



Přímé napájení

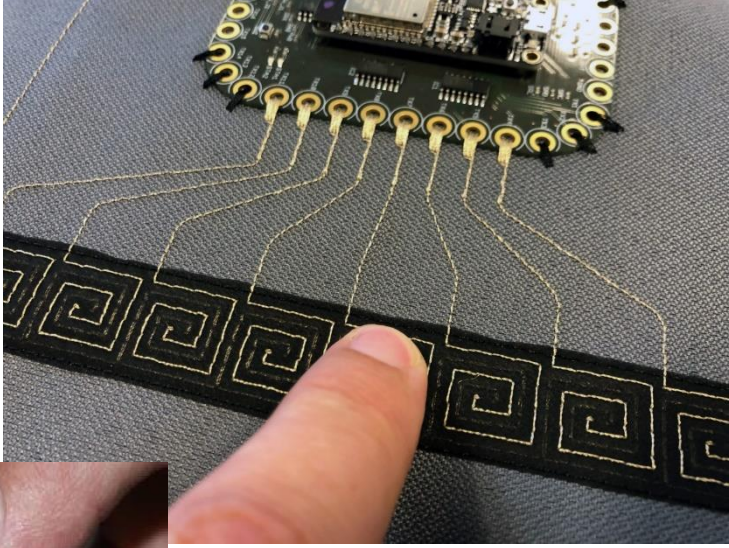
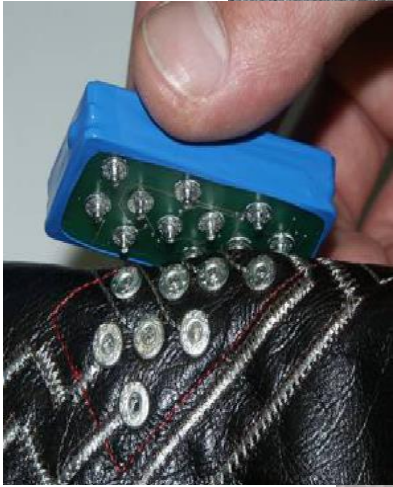
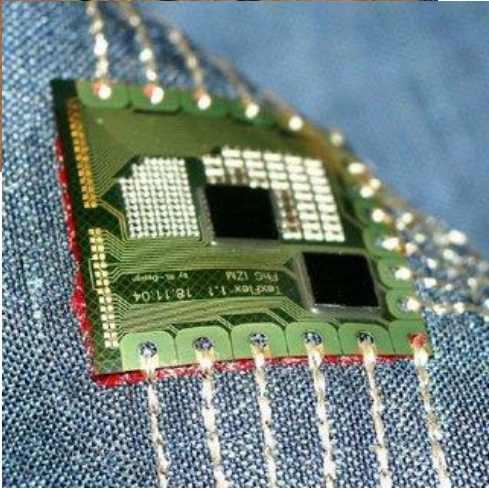
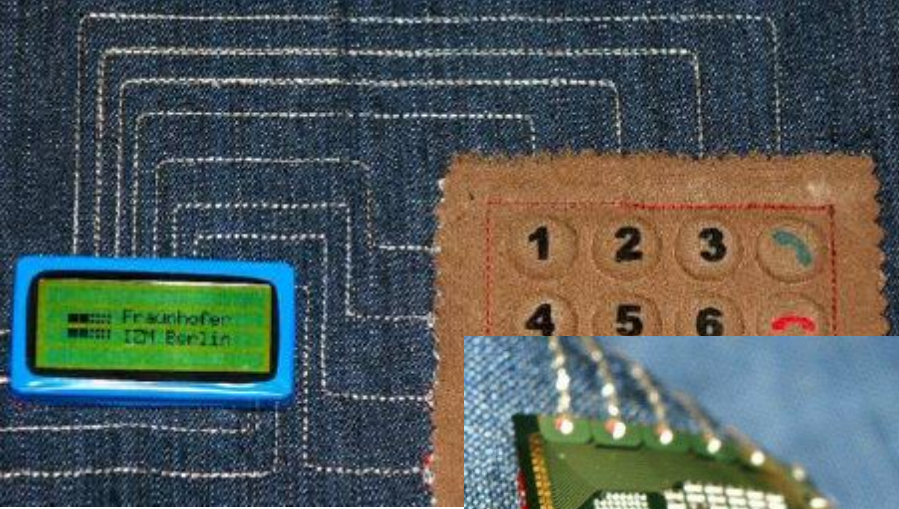


- solární panely (tvrdé součástky, nepratelné, odnímatelné)
 - tělesná teplota
 - mechanický pohyb (energie generovaná pohybem vyplývající z pružnosti látek nebo pohybu těla)
- není dořešeno



Komunikace — podle typu a potřeby komunikace

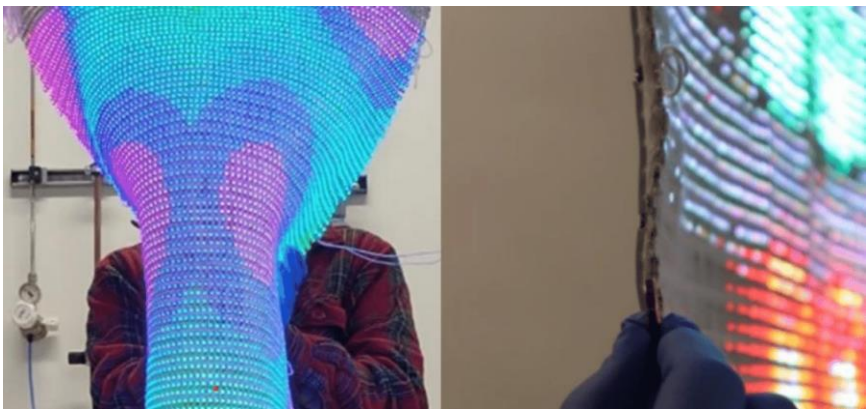
uvnitř oděvu (propojení/interface) - optická vlákna, vodivé dráhy (vyšívání, tkaní, tisk)



Komunikace podle typu a potřeby komunikace

optické obrazovky (France Telecom)

- vyžaduje více než jedno vlákno pro pixel



integrace antény do textilie/oděvu

- + velká plocha, aniž by si toho uživatel uvědomoval



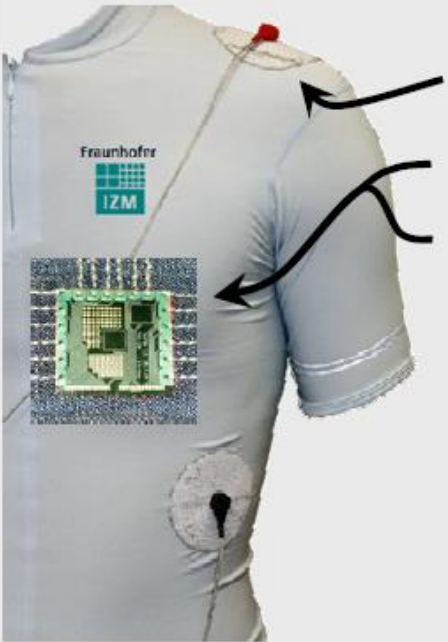
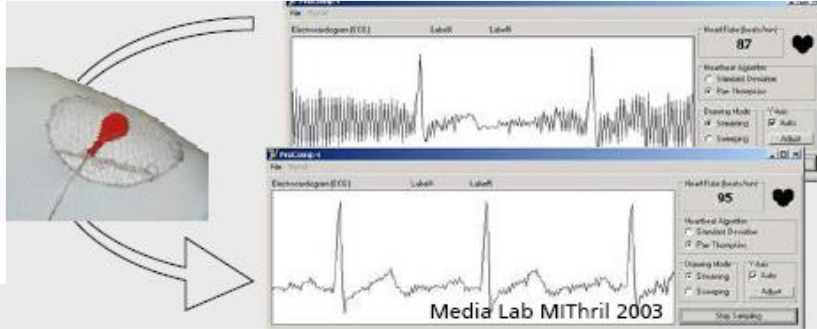
Rigid Copper



Flexible E-textile



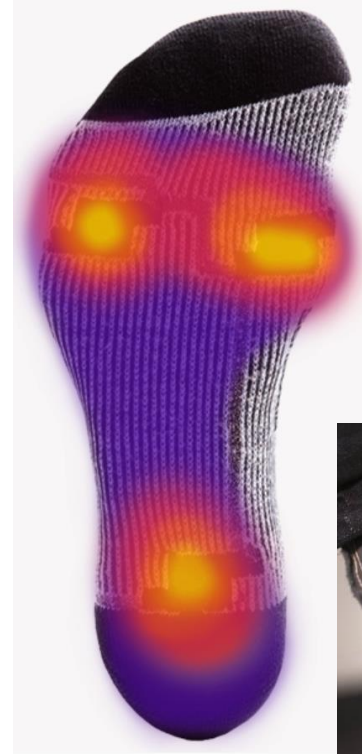
EKG T-shirt



Hug Shirt™



Chytré ponožky



Diagnostika a monitoring ve zdravotnictví (nemocní, staří, děti)

Textilní elektrody (Textrody)

(univerzita Ghent)

pletenina - elasticita

nerezavějící ocelová vlákna

velmi dobrý vodič

relativně dobrý omak

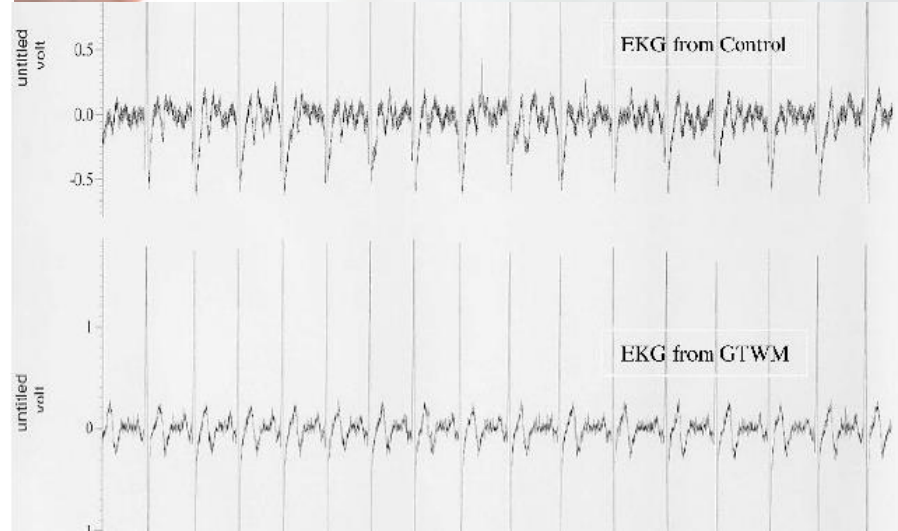
nízká toxicita

nízký obsah niklu, nezpůsobují alergie

lze prát bez ztráty vlastností

zpracovatelné - textilní materiál

- přímý kontakt s pokožkou (bez elektro-gelu)
- využití elektrolytických vlastností potu, zlepšuje vodivost elektrického signálu směrem k elektrodě
- zajistit velmi blízký kontakt mezi elektrodou a pokožkou
- velká plocha kontaktu = struktura textilního materiálu



Smart Fire Fighter Jacket

2009 VIKING
s tepelnými senzory
senzory připojeny ke 2
LED displejům (v rukávu a
na zádech)
napájení z dobíjecích a
vyjímatelných baterií





Shrnutí – okruhy ke zkoušce

- Technologie přípravy smart textilií - inovativní materiály a struktury na atomární a molekulární úrovni se smart funkcí (aktivace textilních povrchů)
- Chameleonní textilie – principy, aplikace v textiliích
- PCM Phase change materials – principy, aplikace v textiliích
- SMM Shape memory materials – principy, aplikace v textiliích
- AUXETICKÉ materiály – principy, aplikace v textiliích
- Technologie konstrukce smart oděvů - inovativní materiály a struktury vložením známých prvků, 5 funkcí a jak je lze zajistit v textiliích (oděvní elektronika)