

## 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 oděvy



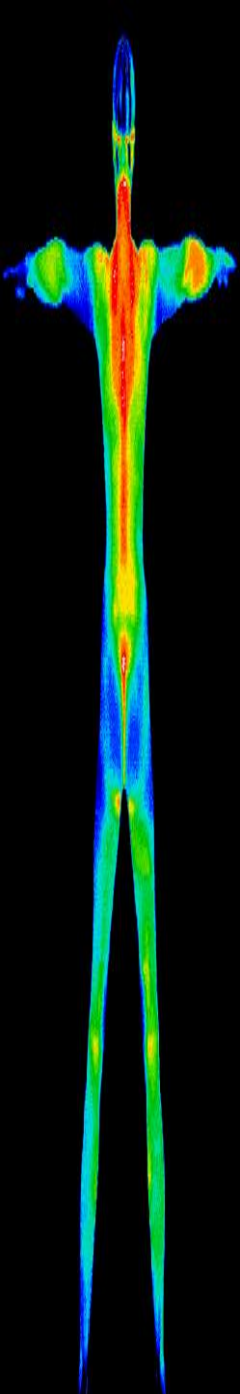
Financováno  
Evropskou unií  
NextGenerationEU



Národní  
plán  
obnovy

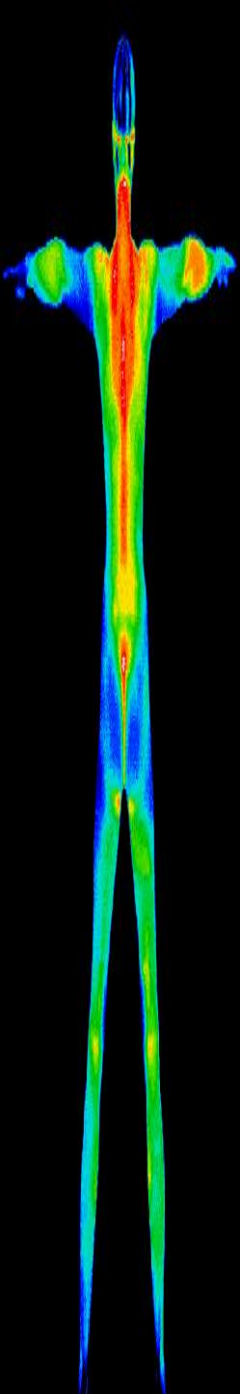


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



# SOD

## Smart oděvy



# SOD

Smart oděvy

e-textilie - materiály

# Vlákná

# Vlákna

- „skleněná“ vlákna - optická vlákna, vedou světlo. Mohou fungovat pouze jako vodič signálu ( mnoho typů, používají se v telekomunikacích - jednovidová, atd.) či sloužit jako senzor
- Mohou snímat deformace ( využití např. pro monitorování dýchání, atd.)
- Vodivá vlákna - nejjednodušší je využít přímo kov ( obvykle Cu, tenké kovové vlákno), nevýhody ve zpracování, tuhosti, odolnosti vůči chemickým vlivům (praní), atd.
- Nanomateriály - nanočástice ve vláknech - s deformací se mění elektrické vlastnosti

# Vodivé materiály

- *Optická vlákna ( vedení světelného signálu). Vláknó a případně jeho obal mají jiné indexy lomu než okolní prostředí ( obvykle vzduch)*
- *Elektrická vodivost - využití kovů nebo polymerů např. s příměsí nanočástic kovů*
- *Vodivé pasty ( obsahují Ag, atd.). Technologie sítotisku, atd.*

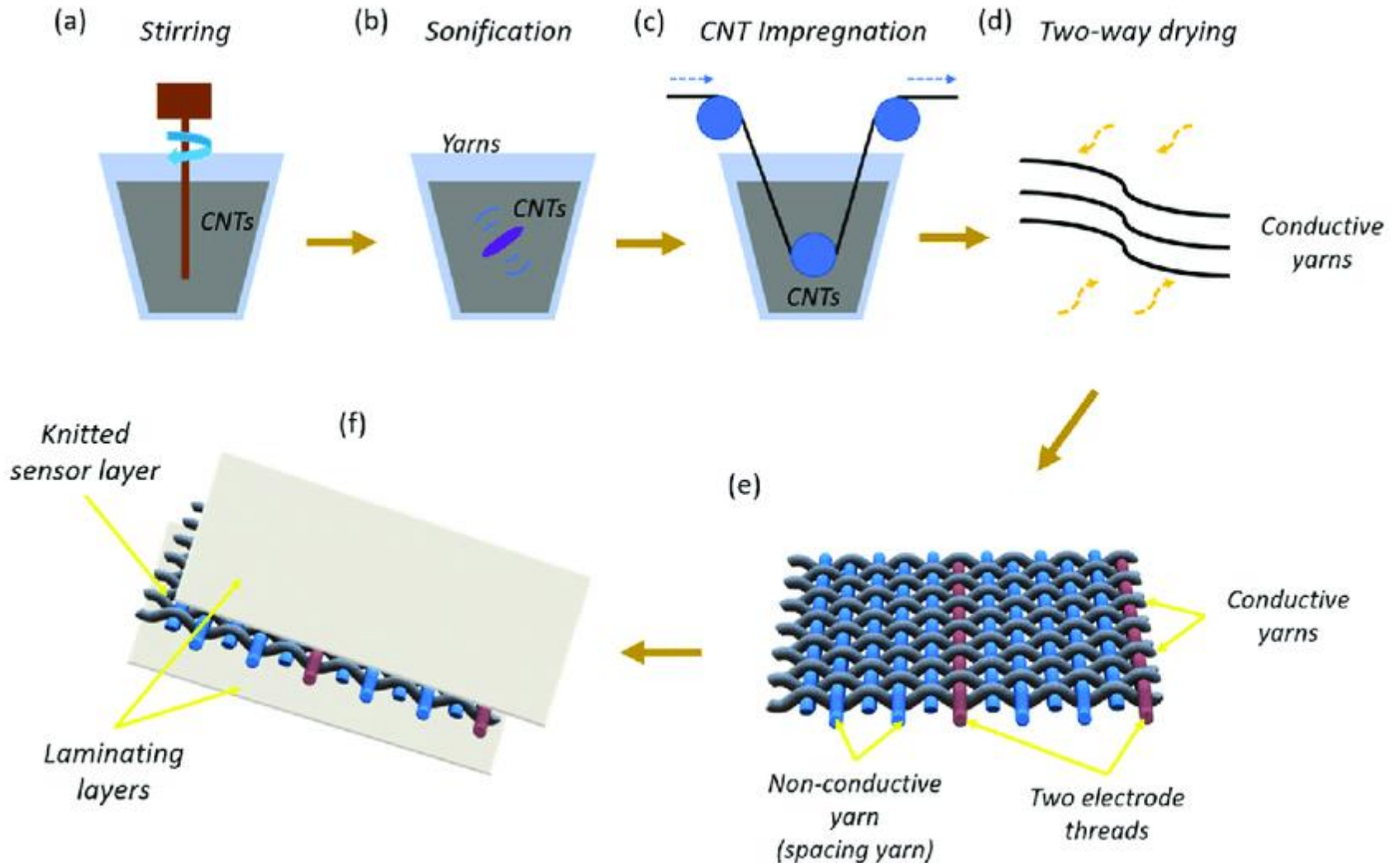
# Vodivé materiály

- *Běžné využití pro ohřev - použití vodivých vláken či natištěných vodivých cest.*
- *Je potřeba, aby byl dostatečně velký odpor těchto vodivých elementů, pokud mají sloužit jako topná tělesa.*
- *Naopak, pokud mají sloužit k propojení dalších komponent, jejich odpor má být co nejnižší*

- *Například:*

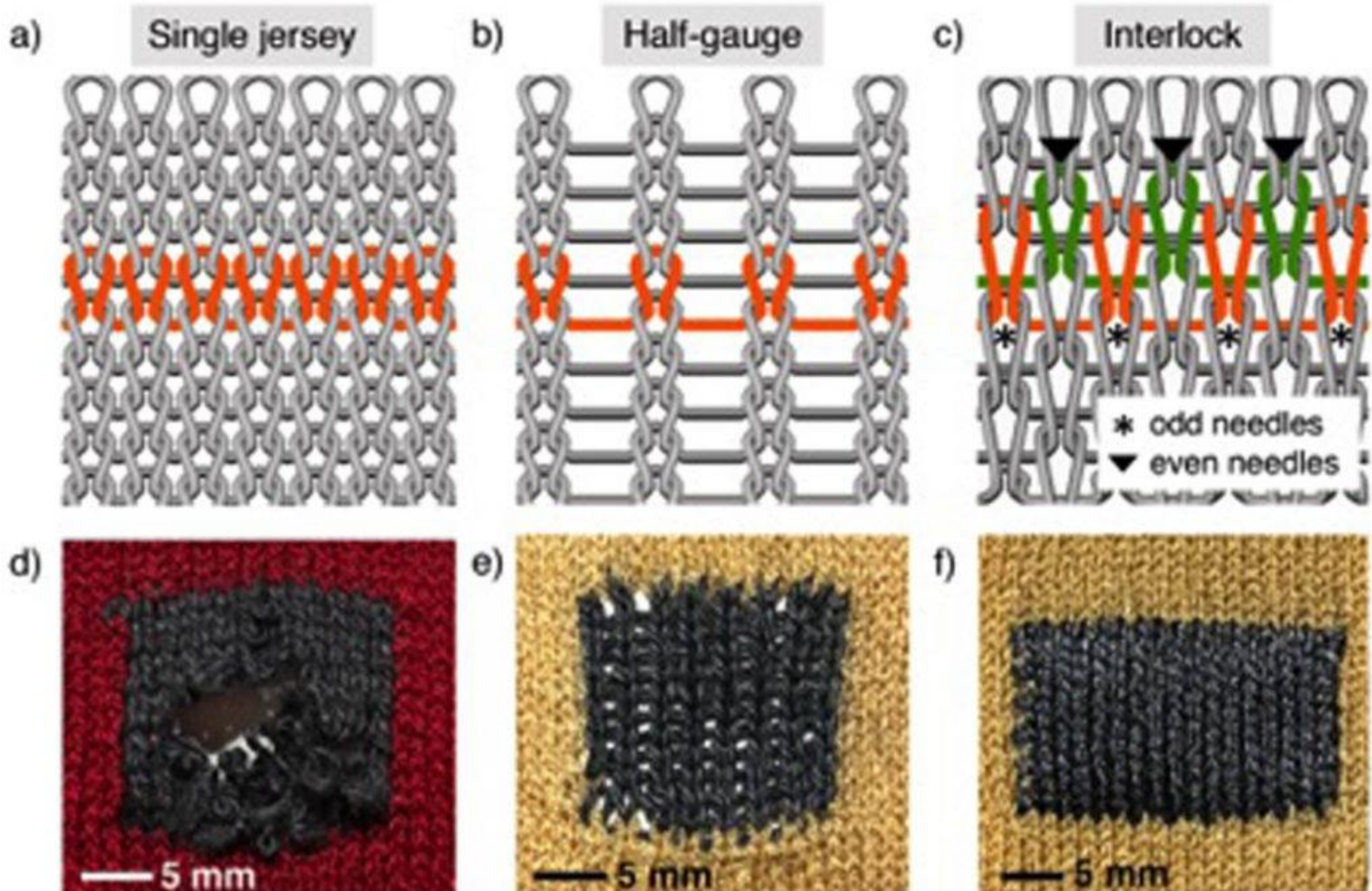
<b>látka</b>	<b><math>\rho</math> [<math>10^{-6} \Omega \cdot \text{m}</math>]</b>
měď	0,0178
zlato	0,0220
hliník	0,0285

# Vodivá vlákna



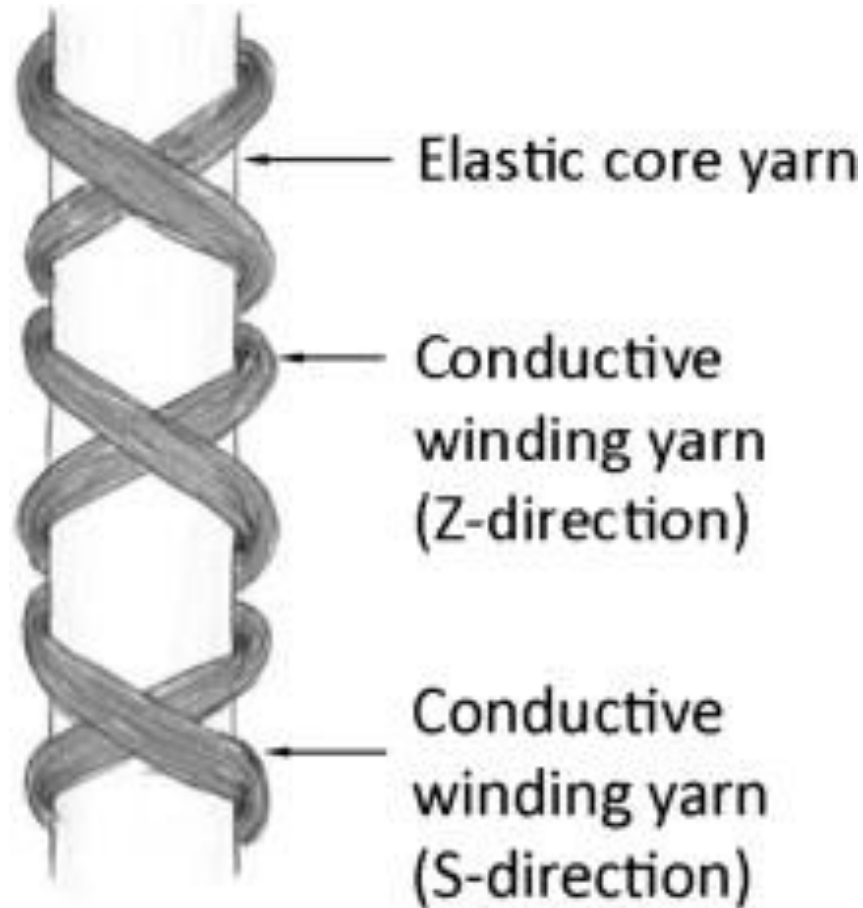


# Vodivá vlákna



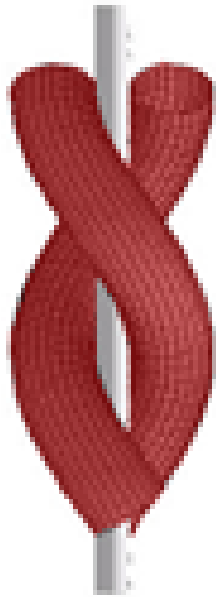
Obr.

# Vodivá vlákna

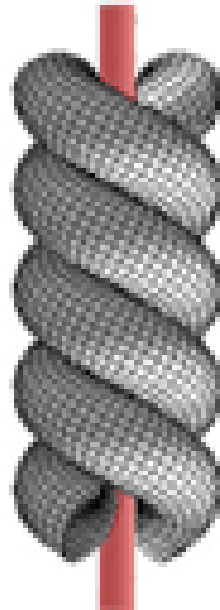


Obr. [Electro-conductive and elastic hybrid yarns - The effects of stretching, cyclic straining and washing on their electro-conductive properties - ScienceDirect](#)

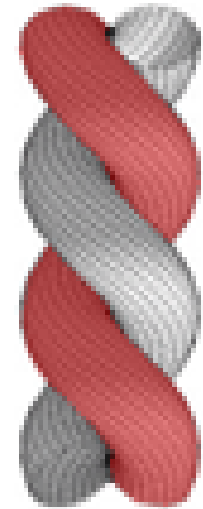
# Vodivá vlákna



a. Metal-wrapped Yarn

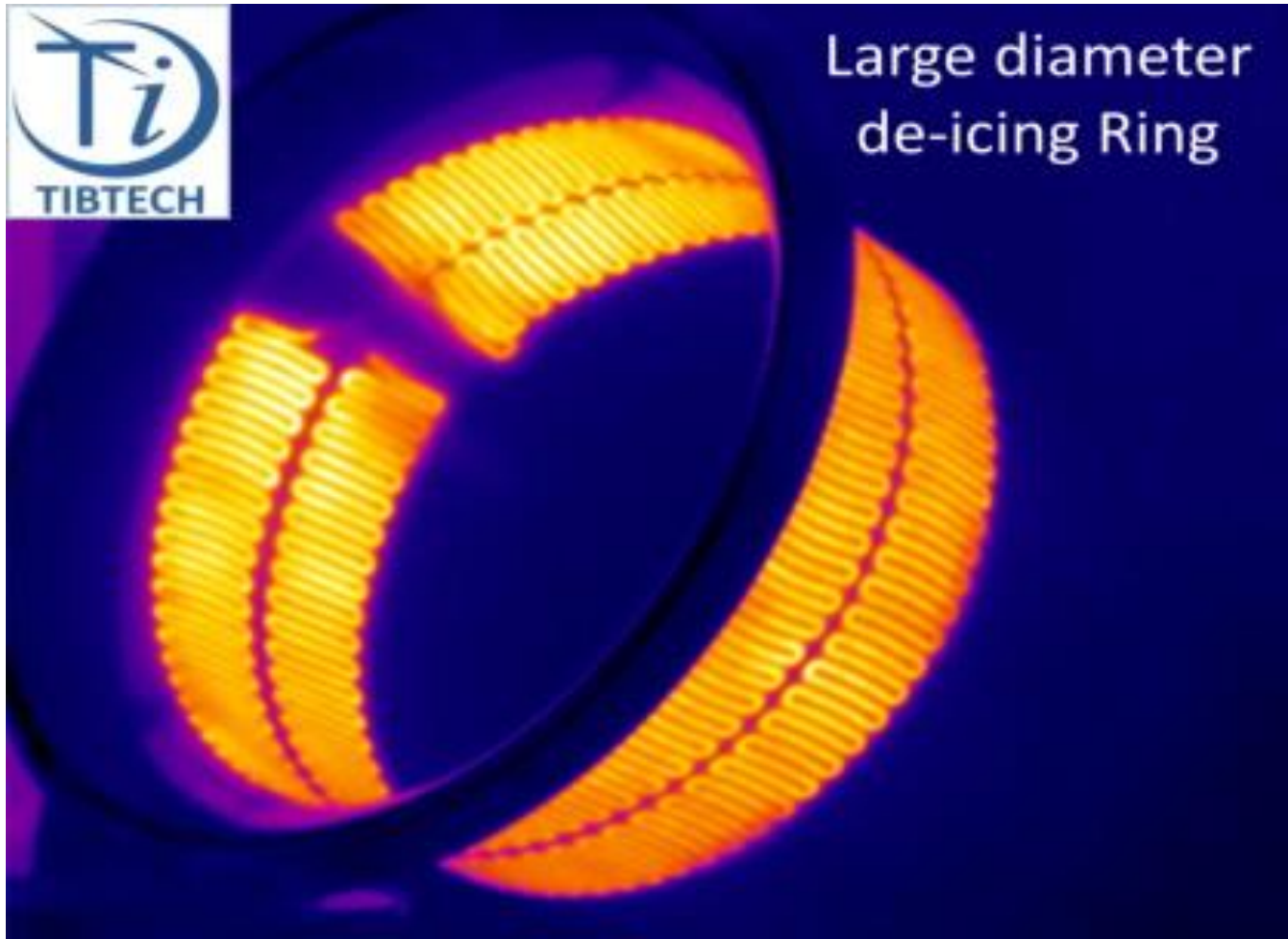


b. Metal-filled Yarn



c. Metal Yarn

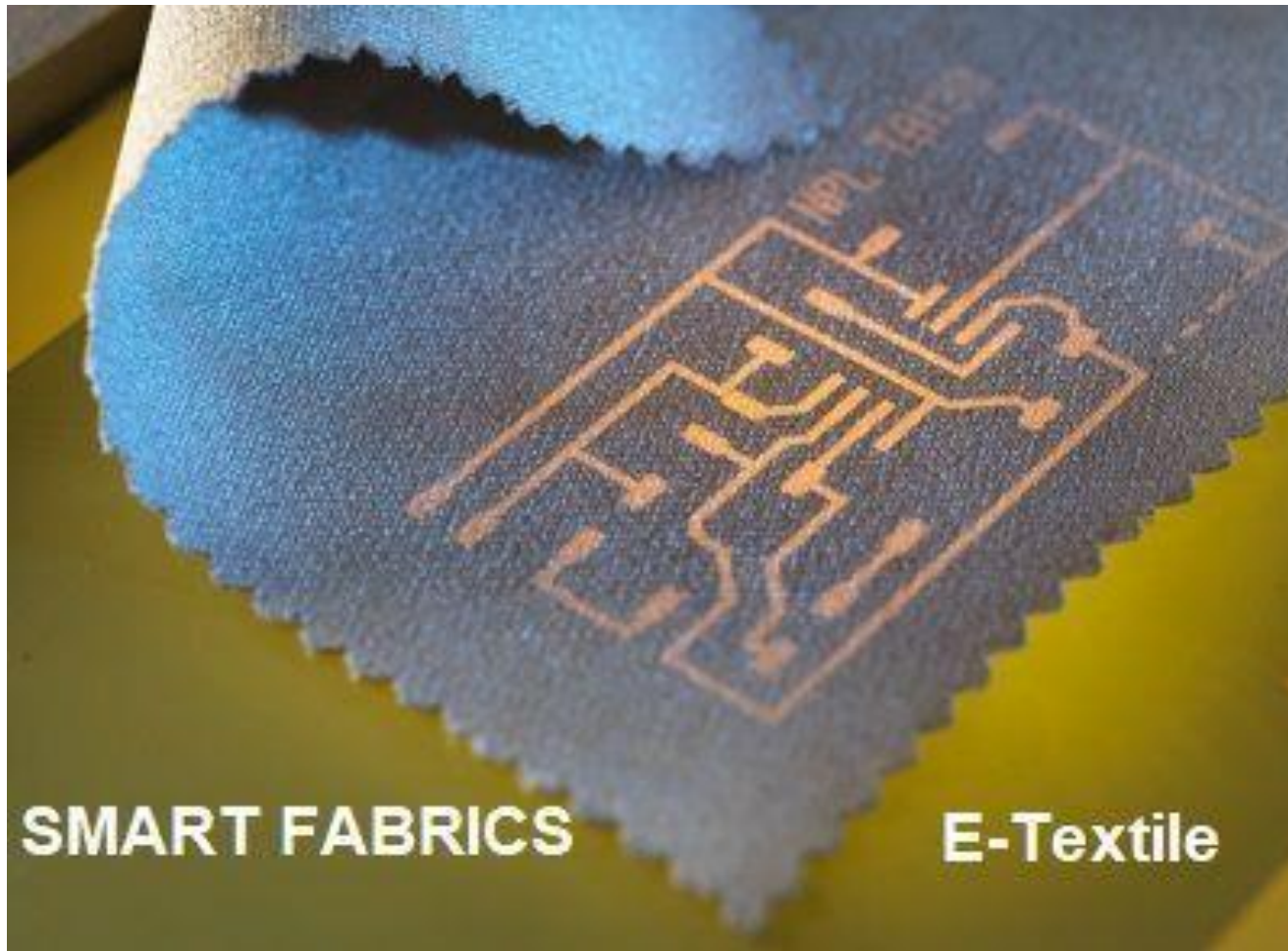
# Vodivá vlákna



Obr. [TIBTECH: SMART and conductive textiles, yarns or fabrics](#)



# Vodivé pasta - tisk



Obr. [TIBTECH: SMART and conductive textiles, yarns or fabrics](#)

# Připojení elektroniky



Obr. [Simple E-textile Connector : 8 Steps - Instructables](#)

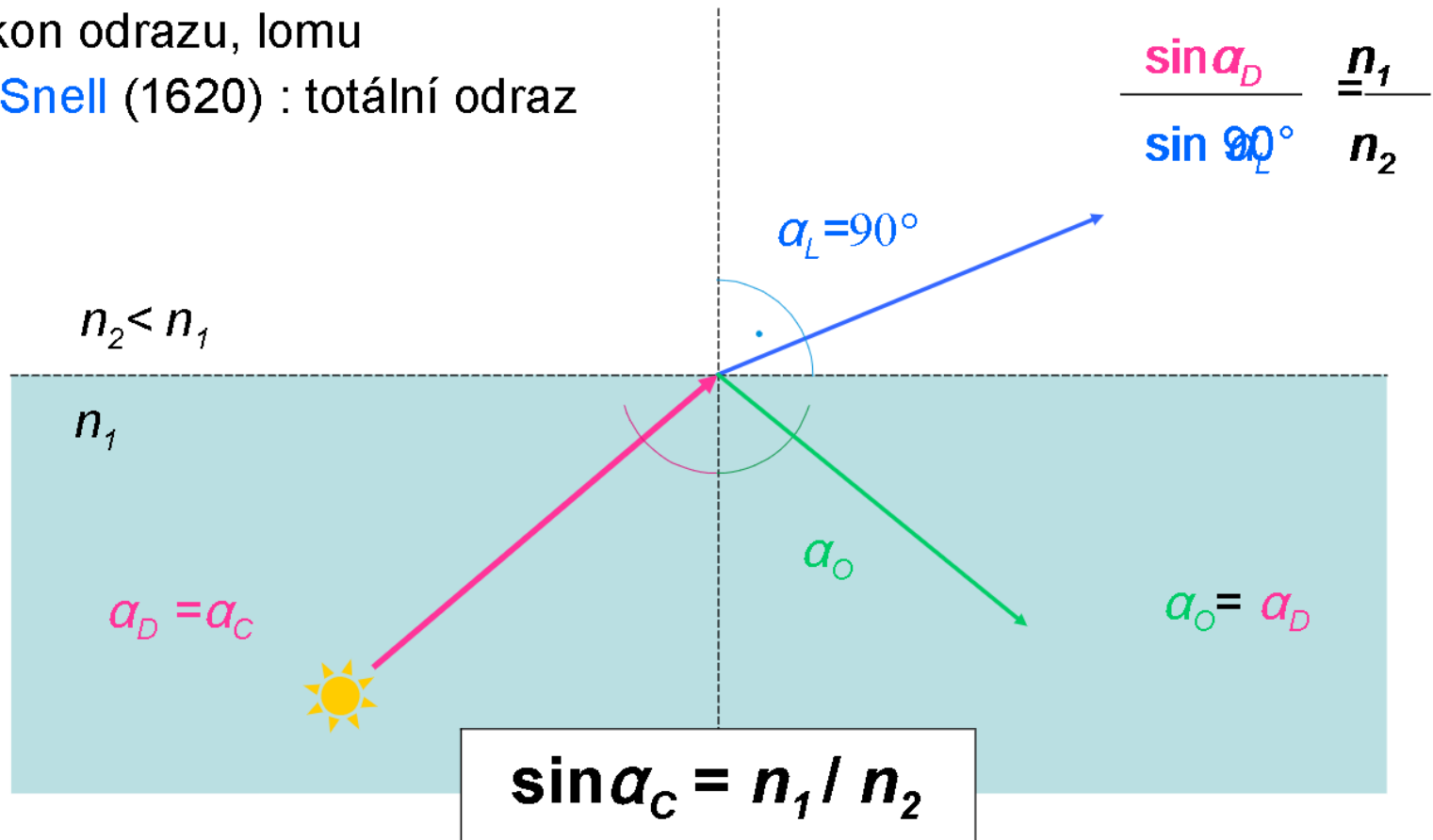
# *Optická vlákna*



# Optická vlákna - princip, druhy

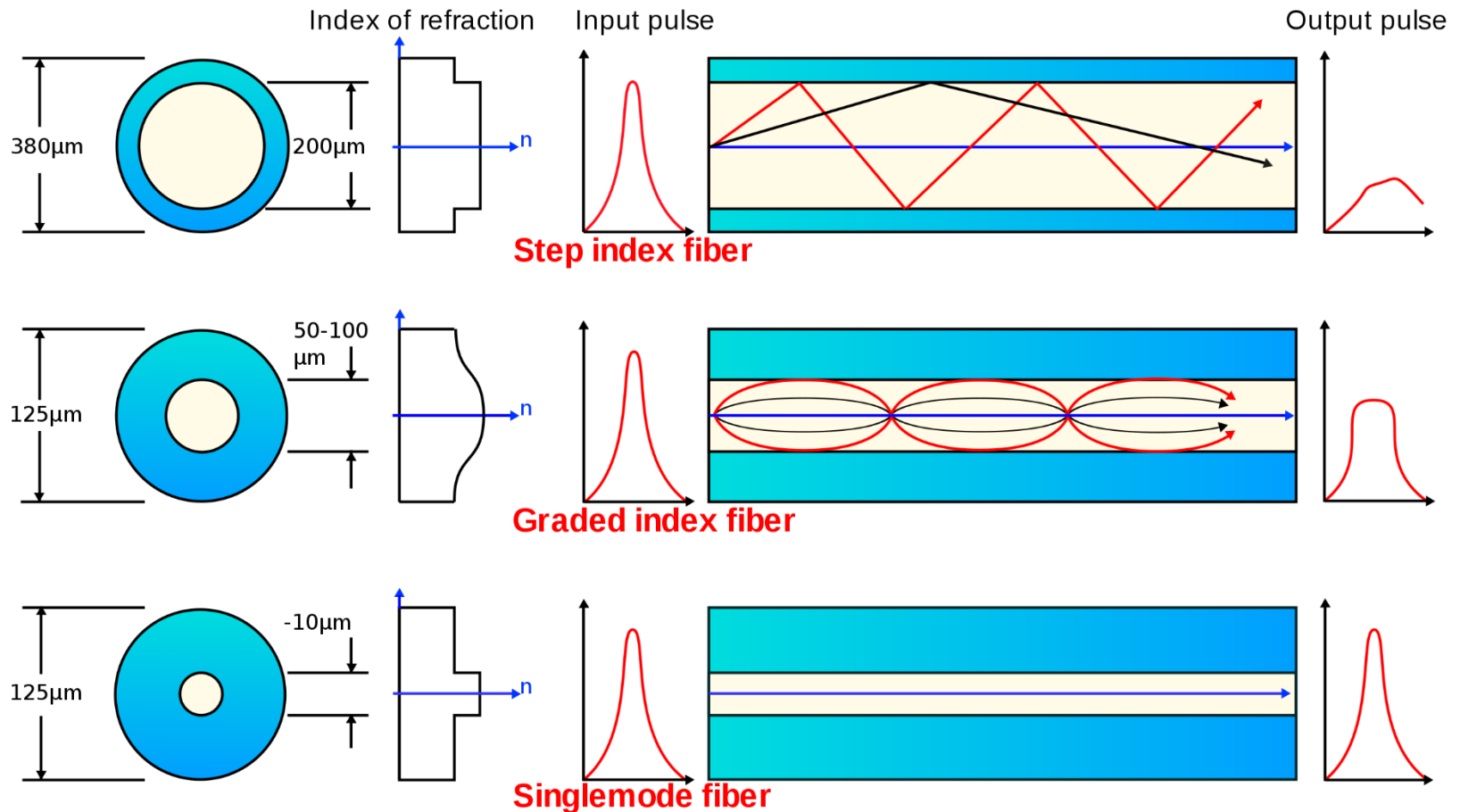
Zákon odrazu, lomu

W. Snell (1620) : totální odraz





# Optická vlákna - princip, druhy



# *Optická vlákna - využití*



Obr. TUL

# *Chameleonní textilie*

- *Výzkum na FT TUL*
- *Termochromní (teplota)*
- *Fotochromní (světlo)*
- *Piezochromní (tlak - piezoefekt)*
- *Elektrochromní (elektrický proud)*
- *Solvatochromní (změna kapaliny)*
- *Dochází ke změně barevnosti vlivem teploty při dosažení aktivací teploty*

# Luminiscenční materiály



# *Luminiscenční materiály*

- *Samovolně emitují světelné záření*
- *Energii na to získají působením jiného záření ( excitace atomů a návrat do původního stavu s emisí fotonu)*
- *Zářivá rekombinace excitovaných nosičů náboje ( opak absorpce fotonu, kdy dopadající foton dodá energii na excitaci atomu)*
- *Fluorescence x fosforescence*
- *Fluorescence - po vypnutí zdroje vymizí*
- *Fosforescence - postupně odeznívá*

# *Luminiscenční materiály*

- *Fotoluminiscence - vyvolaná světlem ( UV, viditelným či infra)*
- *Optická luminiscence - vedení světla*
- *Elektroluminiscence - vyvolaná el. polem*
- *Radioluminiscence - ionizujícím zářením*
- *Chemoluminiscence - chemickou reakcí*
- *Sonoluminiscence - zvukem*
- *Mechanoluminiscence - mechanicky, třením tlakem, deformací, ...*
- *Bioluminiscence - reakce v živých organismech*
-

# *Luminiscenční materiály*

- **Využití**
- **Fotoluminiscence**
  - Oděvy, kdy se osoba pohybuje v prostředí se sníženou viditelností
  - Zábava ( noční kluby, disco, ...)
  - Pracovní oděvy
  - Označování materiálu
- **Elektroluminiscence**
  - dochází k přeměně elektrické energie ve světlo při průchodu proudem vhodným materiálem (luminoforem). Prochází-li elektrický náboj luminoforem, excitované elektrony uvolňují svou energii ve formě fotonů - světla.
  - Malá energetická náročnost
  - Elektroluminiscenční vlákna v oděvu



# *Fotovoltaické materiály*

- *Alexander Becquerel ( 1839)*
- *Albert Einstein(1921 NP)*
- *Solární články - od padesátých let*
- *Účinnost rozdílná, od jednotek procent až do max. cca 60%*
  
- *V textilu např. termo-fotovoltaické články*
- *Peltierův článek*

# *Fotovoltaické materiály*



# *Fotovoltaické materiály*



# *Fotovoltaické materiály*



# PCM

# Materiály s fázovou změnou

## Základní pojmy

Pevná látka, kapalina a plyn jsou soustavy skládající se z velkého počtu částic.

Má-li soustava v rovnovážném vztahu ve všech částech stejné fyzikální a chemické nazýváme ji **fáze**.

Fázemi jsou například jednotlivá *skupenství* látky (led, voda, pára), různé *kryystalové struktury* (diamant, grafit) apod.

# Materiály s fázovou změnou

## Krystalické látky

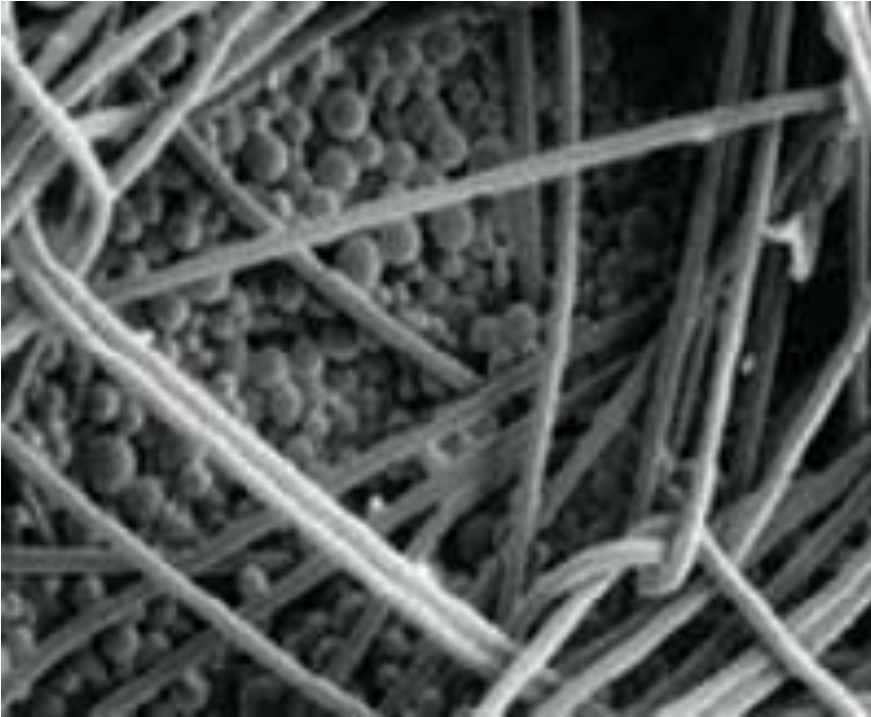
- po dosažení **teploty tání  $t_t$**  se přeměňuje na kapalinu téže teploty
- amorfní látky postupně měknou
- Ochlazujeme-li kapalinu, mění se při **teplotě tuhnutí** v pevné těleso, při tom odevzdá svému okolí **skupenské teplo tuhnutí**
- Při zvyšování teploty se zvyšuje rychlost pohybu částic
- Při tuhnutí se vytvářejí **krystalizační jádra**

# Materiály s fázovou změnou

- proces přechodu z jednoho fyzického stavu do jiného
- absorbují, ukládají a uvolňují teplo podle toho, jak se pohybují mezi pevným a kapalným skupenstvím
- Materiály s fázovou změnou jsou sloučeniny, které se roztaví a ztuhnou za určité teploty a jsou přitom schopné uložení nebo uvolnění velkého množství energie.
- Tepelná energie uskladněná změnou fáze materiálu za konstantní teploty se nazývá „latentní teplo“, to je při přeměně z kapalného stavu na pevný



# Materiály s fázovou změnou

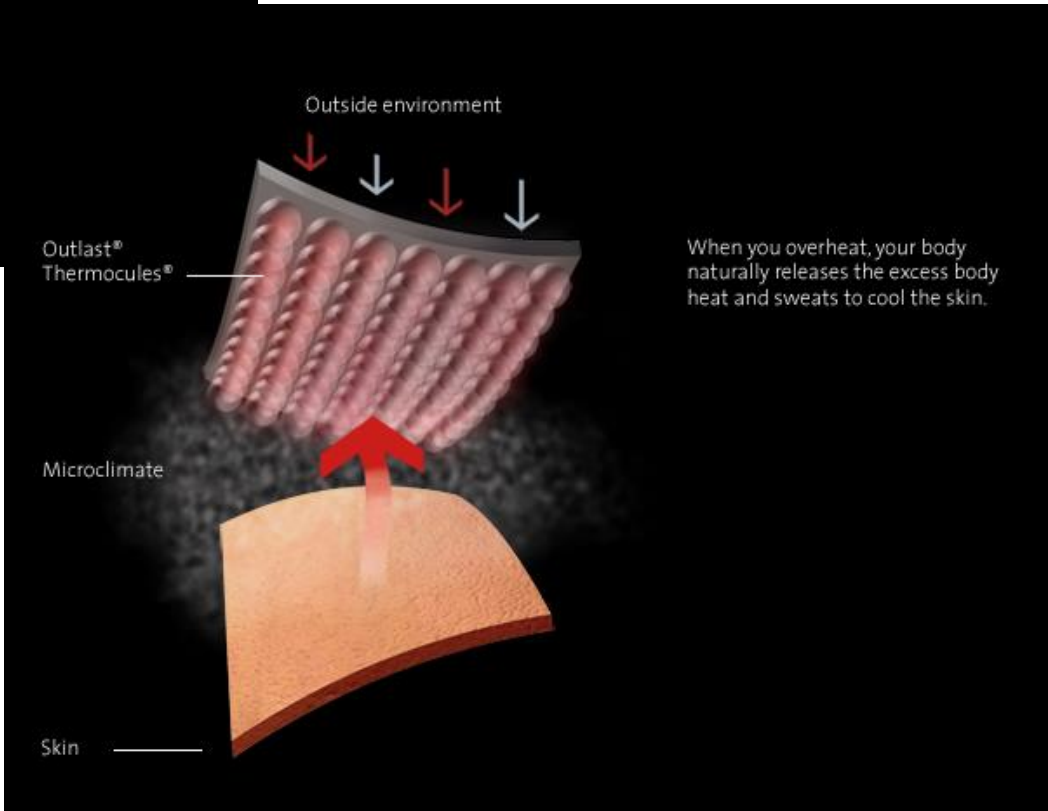
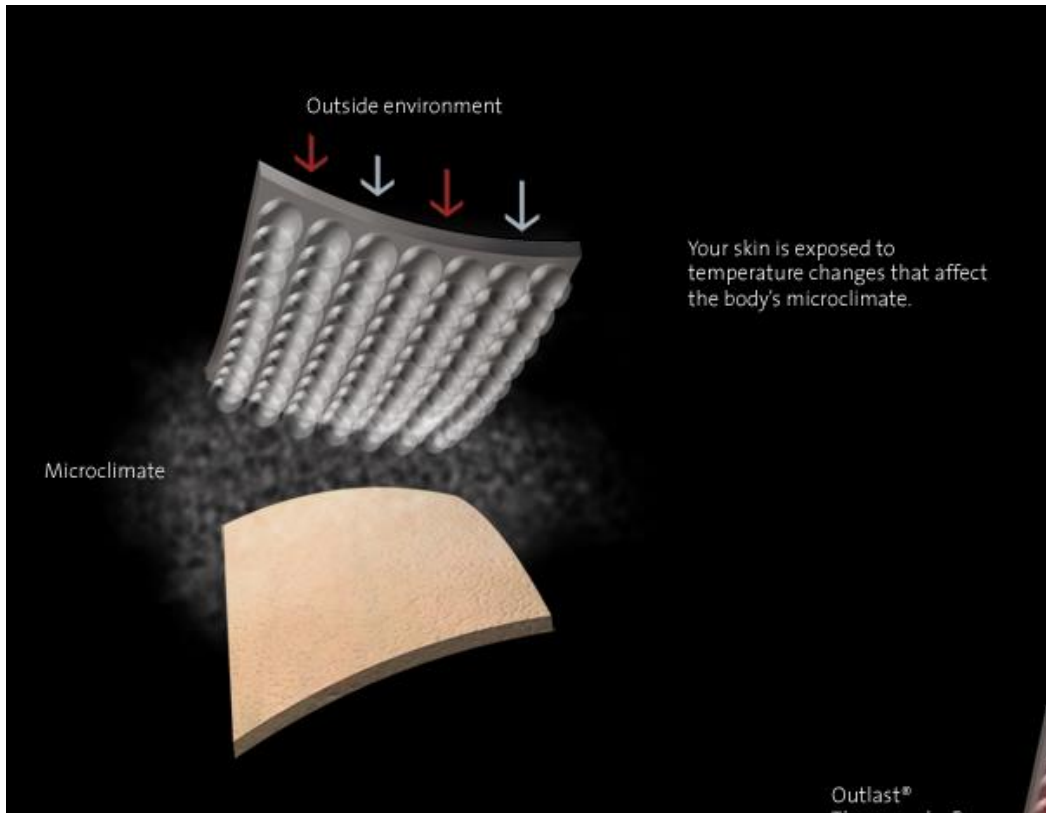


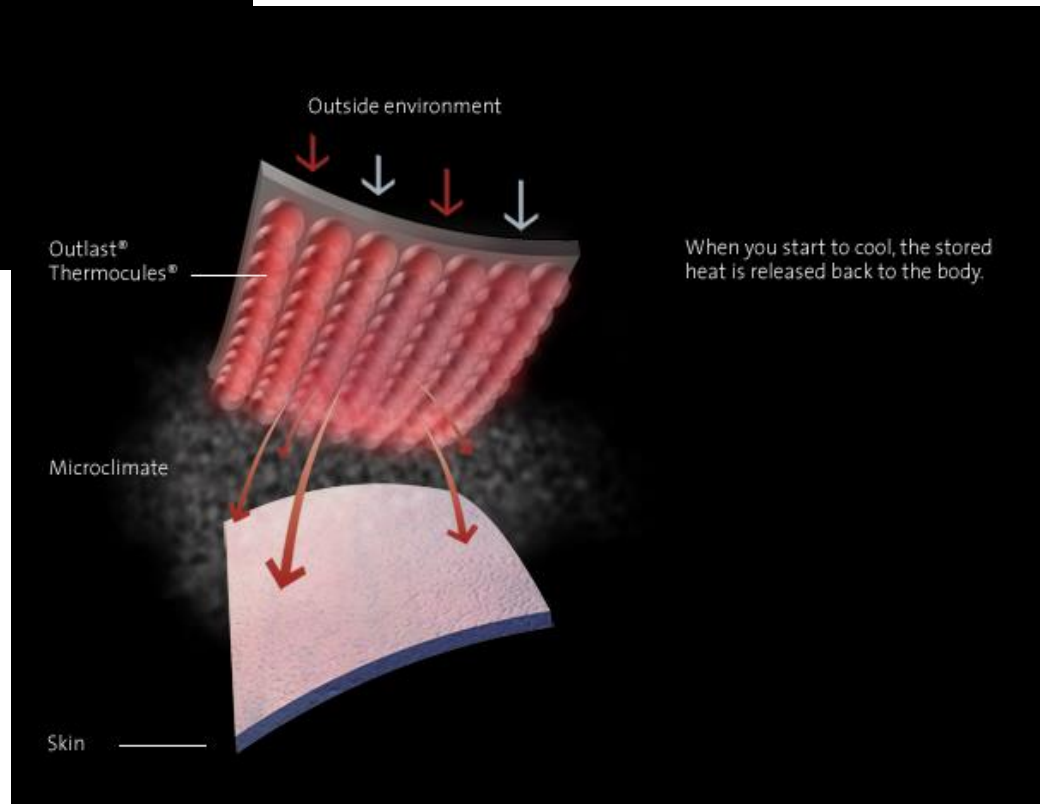
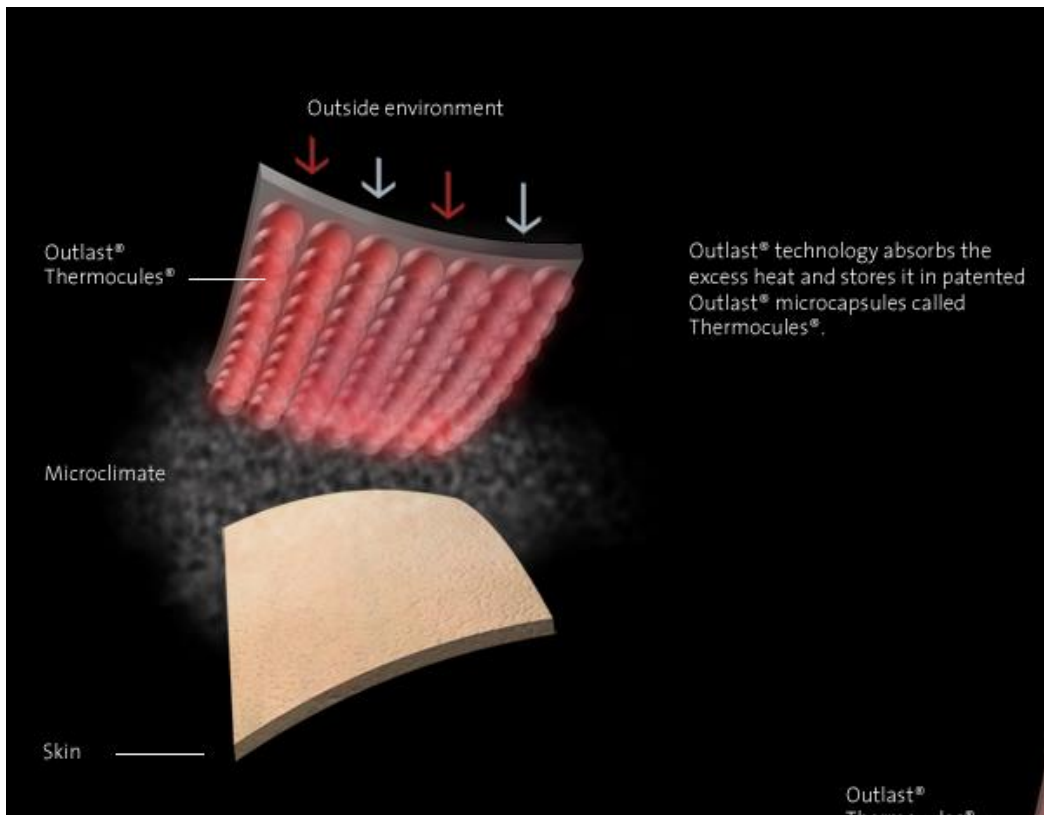
Mikrokapsle různých kruhových tvarů, čtvercových a trojúhelníkových tvarů ve vláknech v polymerovém stádiu. PCM mikrokapsle jsou permanentně uzamčeny ve vlákenné struktuře během předení za mokra při zpracování vláken.

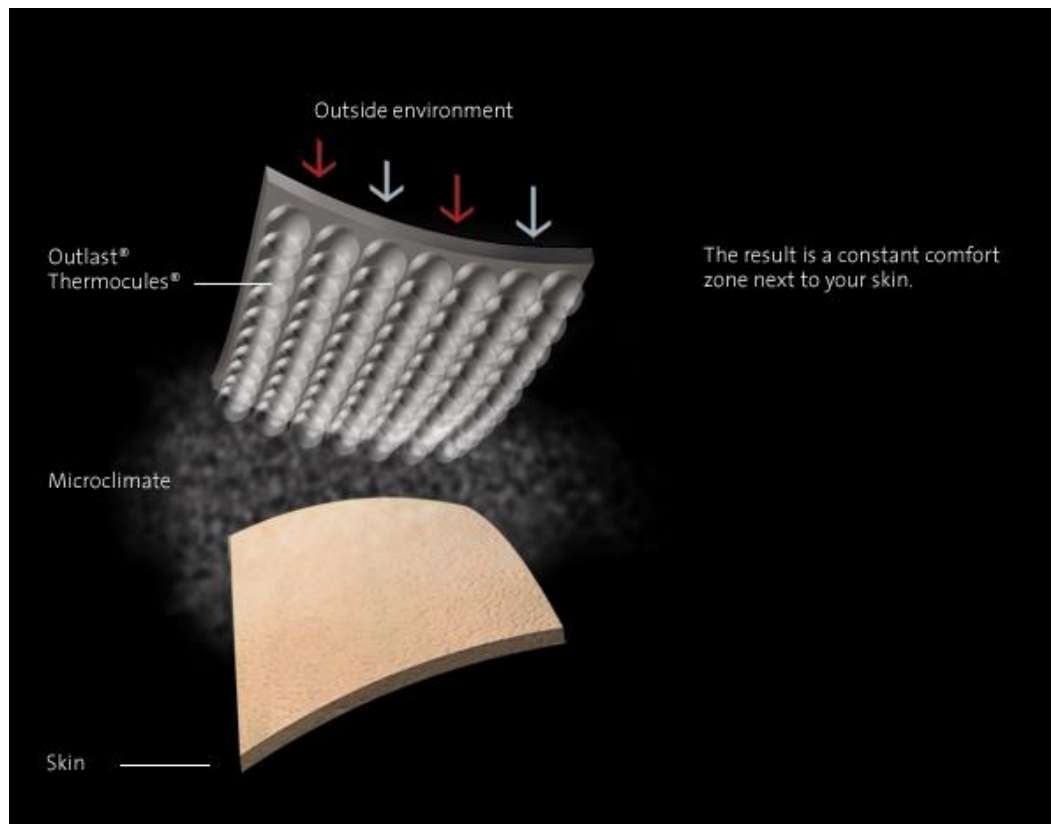
# Materiály s fázovou změnou

## Fázový diagram



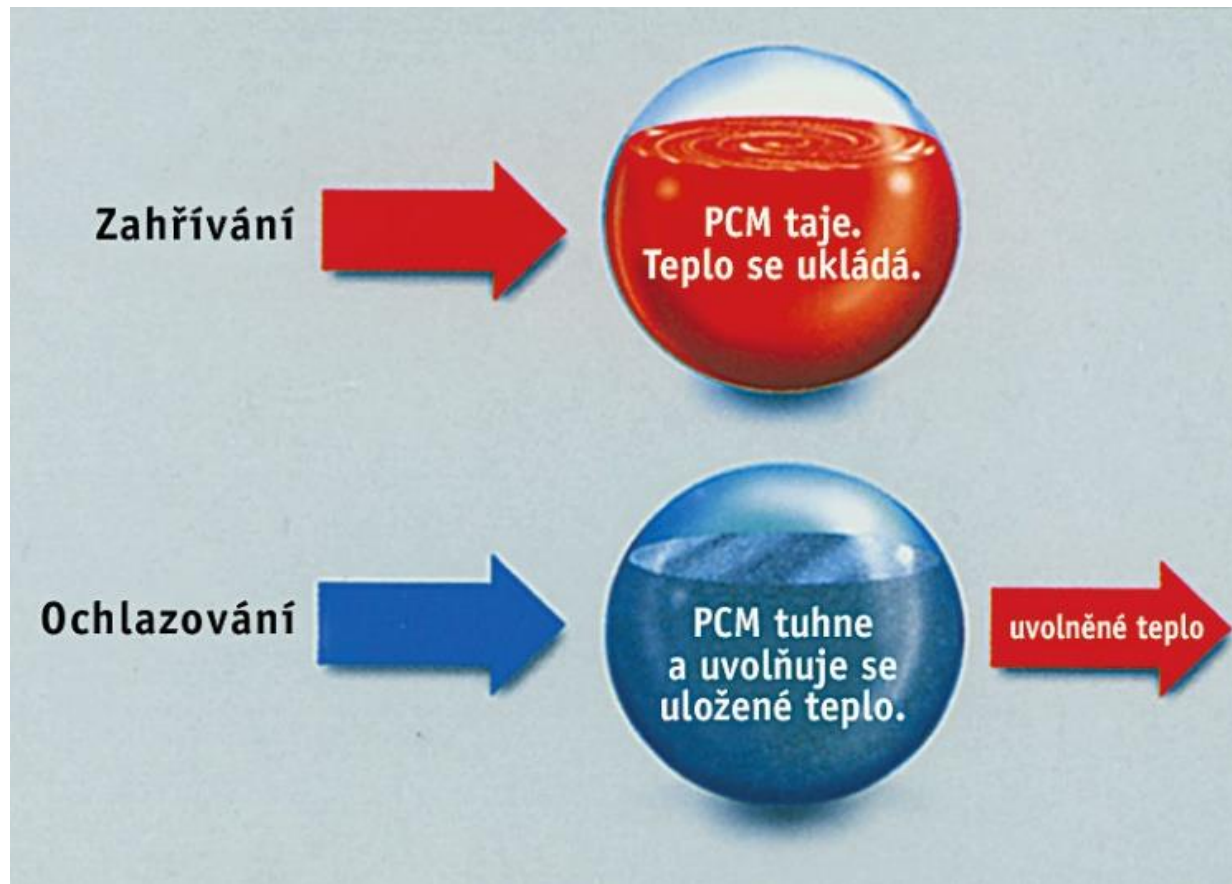






Vliv materiálu s fázovou změnou na tepelný komfort ochranného oděvního systému bude maximalizován, pokud nositel bude procházet mezi různými prostředími s přechodovou teplotou nebo případně při manipulaci nebo kontaktu s chladnými předměty. Teplota PCM vrstev se musí stále měnit, aby byl zachován vyrovnávací efekt.

# Jak PCM fungují v textiliích?

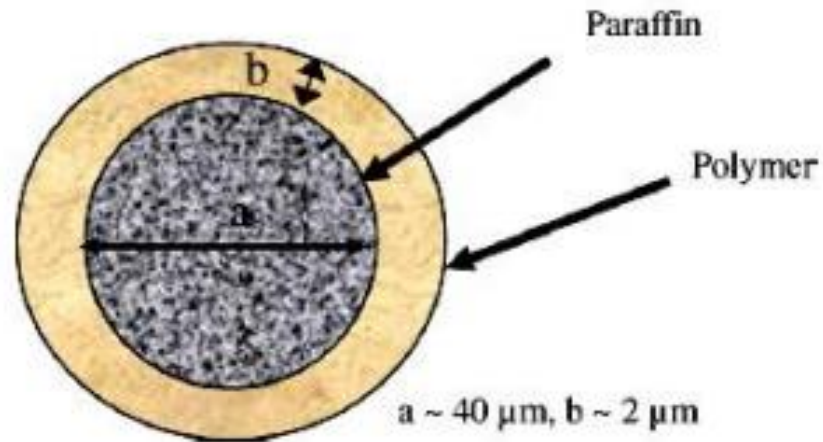


# PCM Phase change materials

- Dochází ke změně fáze (kapalná-pevná)
- Absorbuje (běžný materiál se ohřívá) či uvolňuje teplo (běžný materiál se ochlazuje)
- Omezená doba - využití pro práce v extrémních podmínkách
- Běžný textil pohltí cca 1 kJ/kg při nárůstu o 1K
- Materiály používané pro PCM (např parafín) absorbují cca 200 kJ/kg
- Použitím těchto materiálů se podstatně zvětší tepelná kapacita oděvu
- Během procesu tavení/tuhnutí parafínu se jeho **teplota nemění**. Nedochází k ohřevu, nežádoucímu růstu teploty
- Parafín je umístěn do mikrokapsulí

# *Mikrokapsule*

- *Účinná látka je zapouzdřená v obalu*
- *Možnost využití např. pro PCM, dávkování léků, atd*



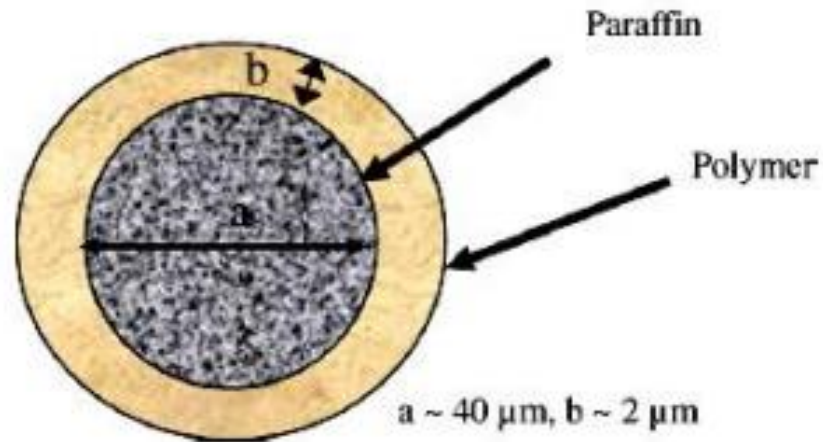
Obr.

<https://www.researchgate.net/>



# *PCM Phase change materials*

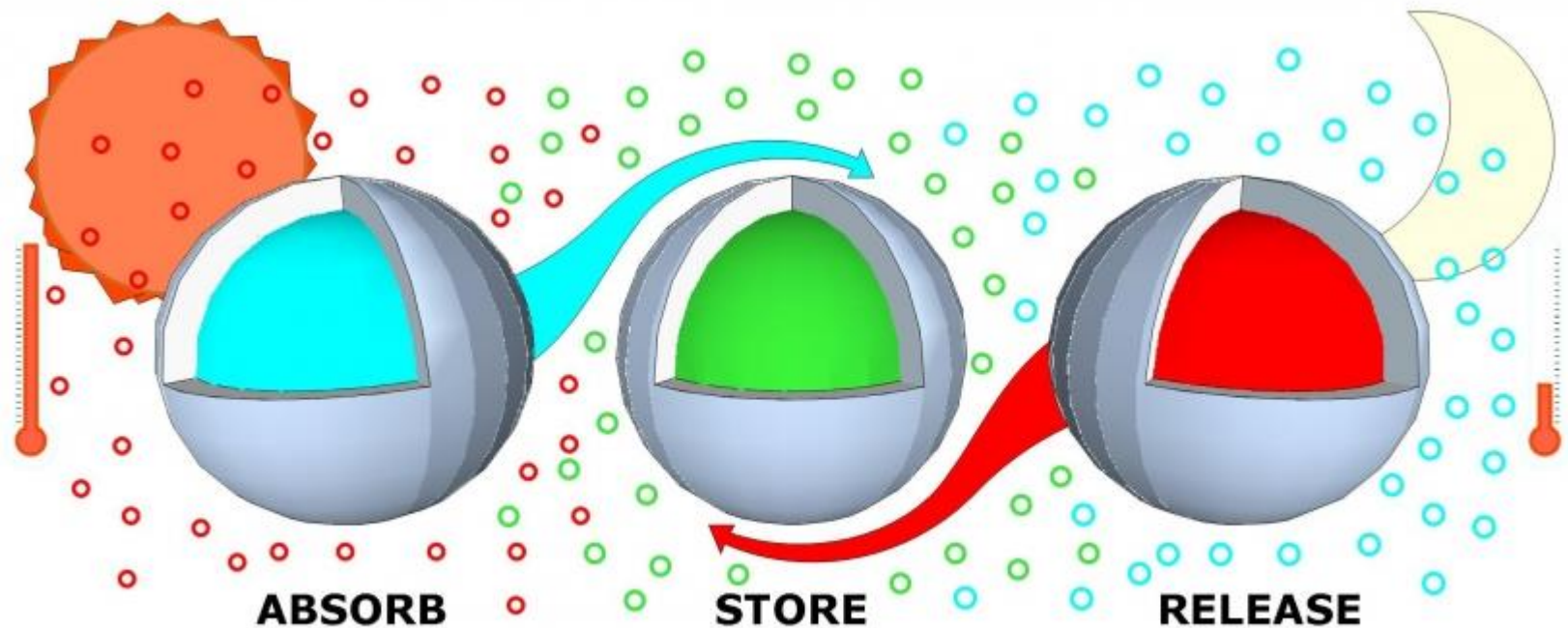
- Aplikace např. pro autosedačky, vesty, atd.*



Obr.

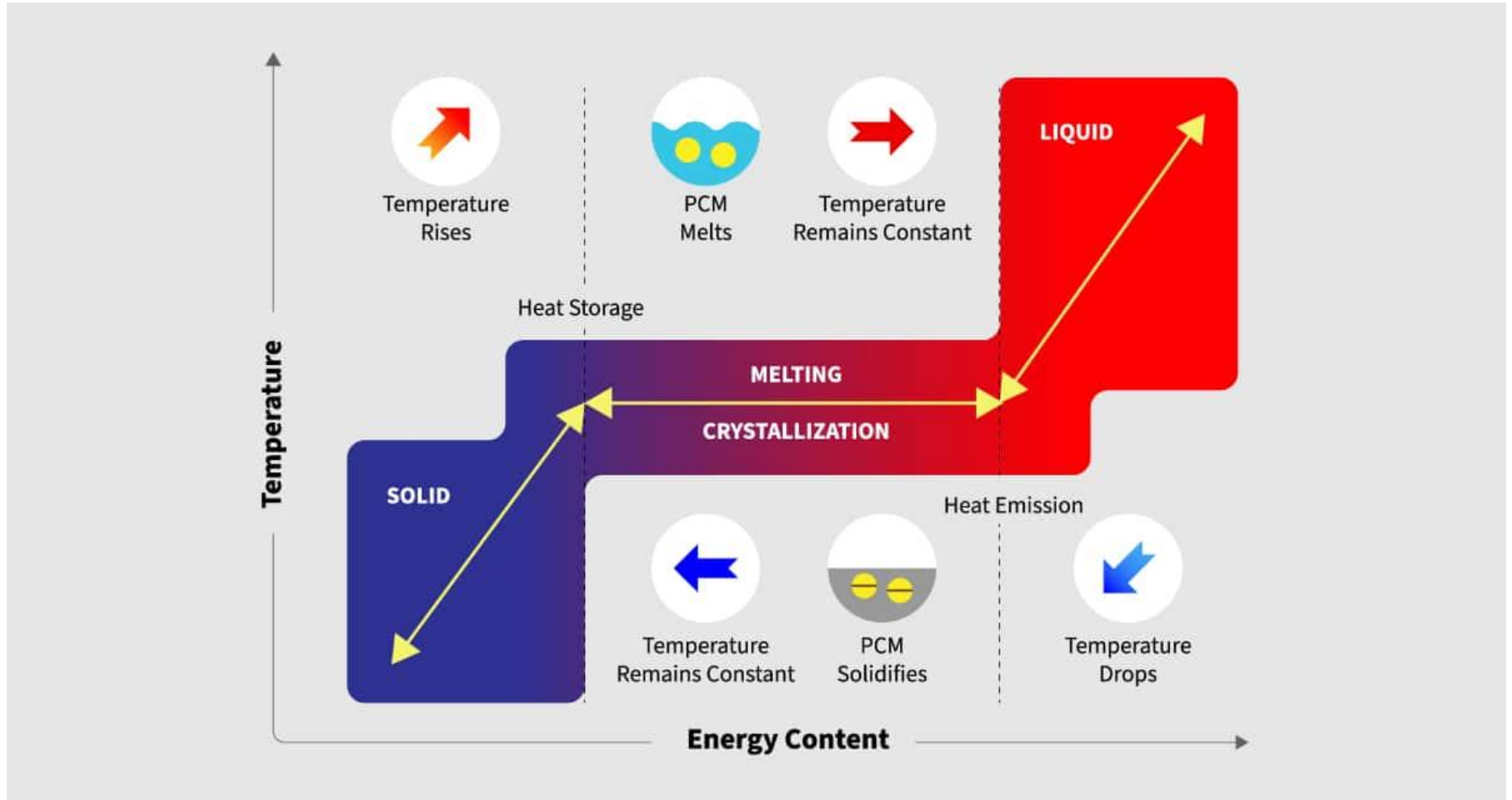
<https://www.researchgate.net/>

# *PCM Phase change materials*



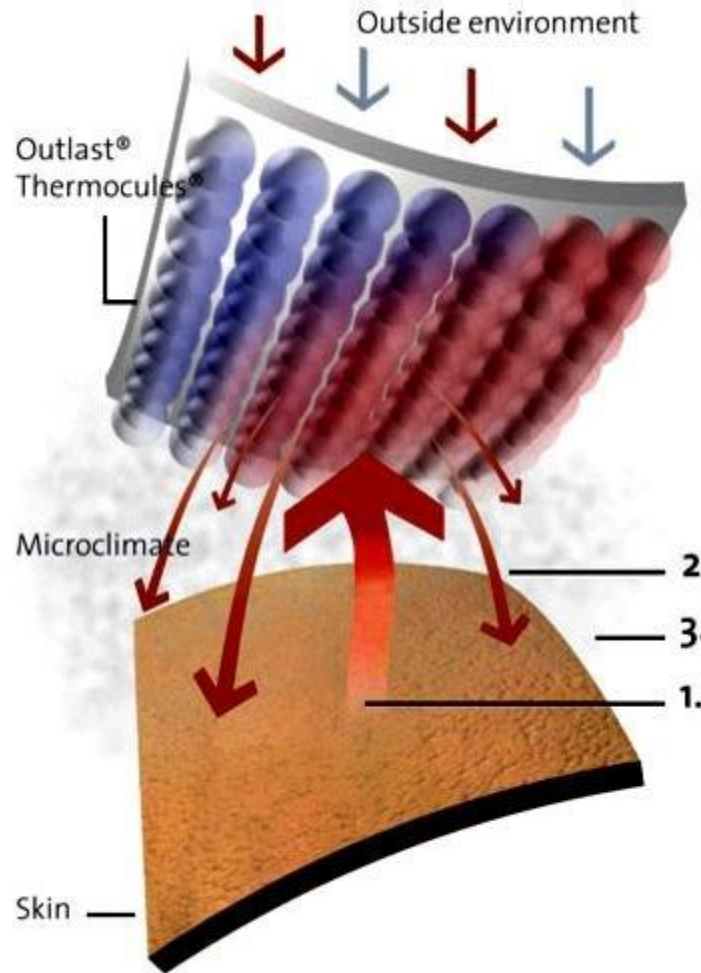
Obr. <https://www.aiaaustin.org/>

# PCM Phase change materials



Obr. <https://thermtest.com//>

# *PCM Phase change materials*



1. Outlast® Thermocules® absorb the excess heat.
2. Stored heat is released to the body as needed.
3. The result is a constant microclimate.

Obr.

<https://www.researchgate.net/>

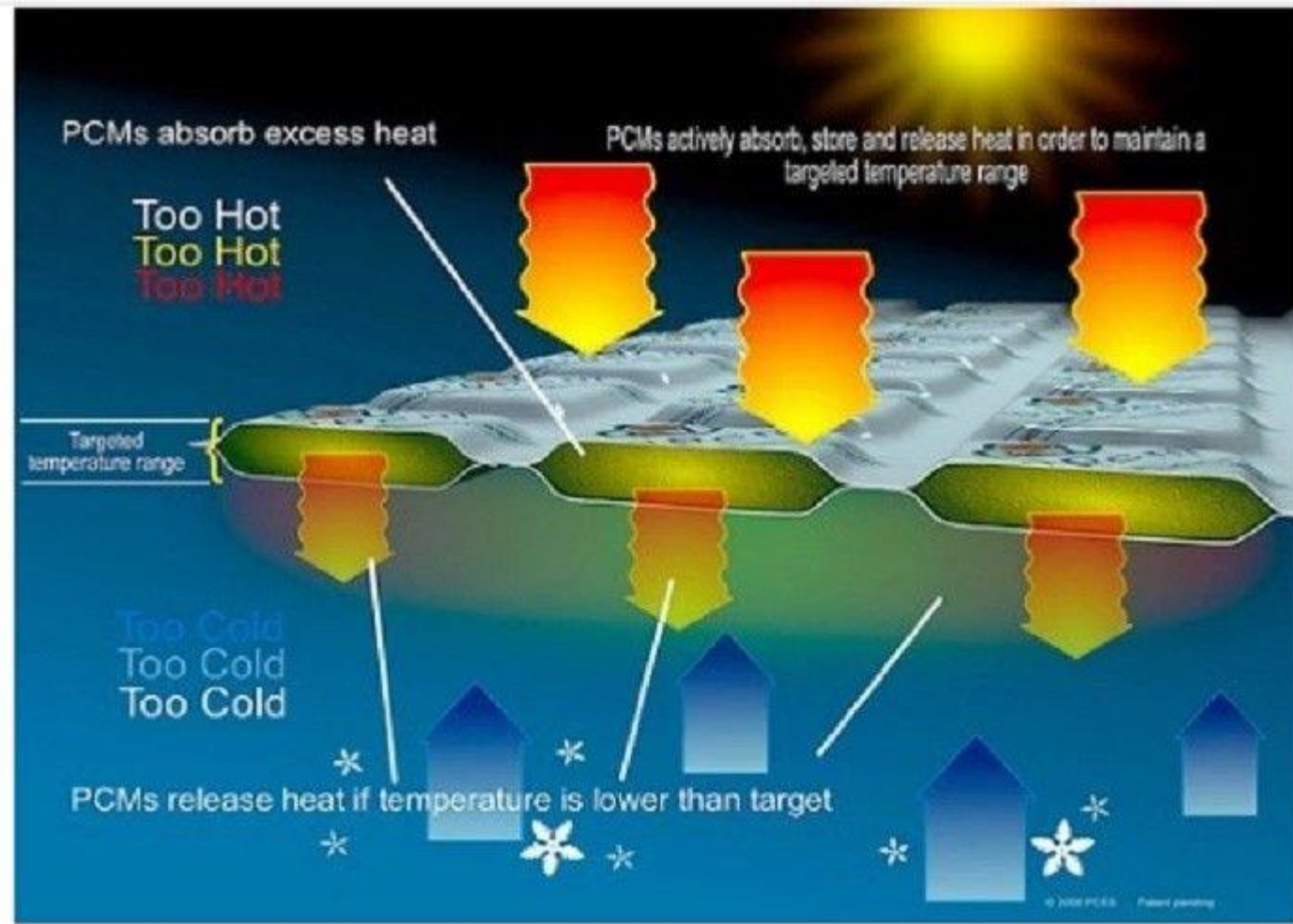
# *PCM Phase change materials*



Obr.

<https://www.textileworld.com/>

# *PCM Phase change materials*

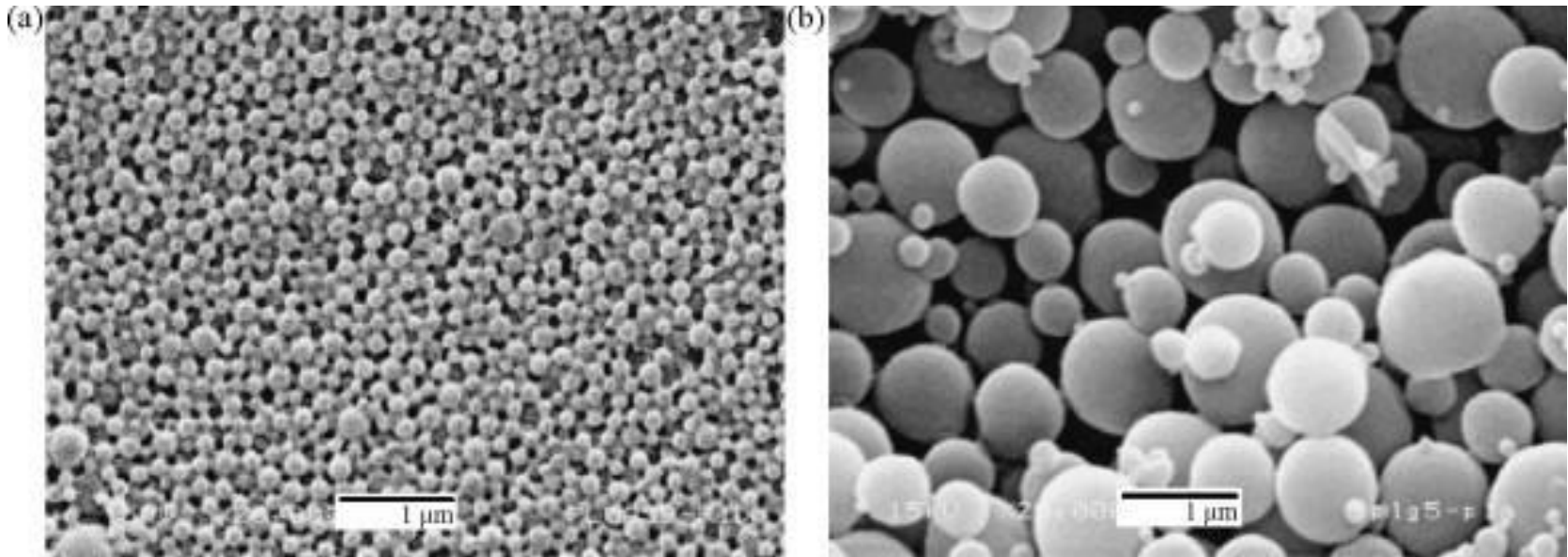


Obr. <http://www.andores.com/>



# *PCM Phase change materials*

- *Microcapsuled PCM*
- *Bod tání od -30 do 55 stupňů Celsia*
- *Absorbují a uvolňují teplo*



Obr. <http://www.andores.com/>

# *PCM Phase change materials*

- *Microcapsuled PCM*





# *PCM Phase change materials*



Obr. <http://www.andores.com/>

# *PCM Phase change materials*



Obr. <http://www.andores.com/>

# *PCM Phase change materials*

- [Video1](#)
- [Video2](#)

# *PCM Phase change materials*

- *polštář*



Obr. <http://www.andores.com/>

# Aplikace PCM

Automobilový průmysl

Oděvní průmysl

- Outdoorové sporty

- Obleky pro astronauty

- Oděvy životního stylu

Zdravotnictví

# Technologické postavení

Organické sloučeniny

Anorganické (soli)

	Výhody	Nevýhody
<b>Organické</b>	<b>Jednoduché na použití</b> <b>Nehrozí koroze</b> <b>Nehrozí podchlazení</b> <b>Recyklovatelný</b>	<b>Nižší latentní teplo/hustota</b> <b>Poměrně široké rozmezí tání</b> <b>Velké objemové změny během změny fáze</b> <b>Některé reagují s hydroxidem vápenatým</b>
<b>Na bázi solí</b>	<b>Poměrně levné</b> <b>Dobré latentní teplo/hustota</b> <b>Vyšší tepelná vodivost</b> <b>Definovaná teplota PCM</b> <b>Nehořlavý</b> <b>Biodegradabilní a recyklovatelný</b>	<b>Potřeba pečlivé přípravy</b> <b>Potřeba aditiv ke stabilizaci pro dlouhodobé užití</b> <b>Náchylné na podchlazení</b> <b>Může korodovat s některými kovy</b>

# Budoucnost PCM

Stále řeší technologické problémy, jako např. účinné zapouzdření, poměr jádra a obalu, stabilita během užívání a spojení kapslí se strukturou textilie

Jsou velmi podporovány u oděvů, ale jejich reálné použití je omezeno.

# SMM



# Historie tvarové paměti

- Poprvé byl objeven v roce 1951 u slitiny zlato – kadmium, AuCd
- Vědci se o tento obor začali více zajímat teprve v roce 1963, kdy byl tento jev pozorován na slitině NiTi. SMA
- SMP vytvořeny na základě polynorborenů se skelnou teplotou  $T_g$  v intervalu  $35^{\circ}\text{C}$  až  $40^{\circ}\text{C}$ .
- Pozdější SMP založené na směsích styrenu, butadienu a polyetylenu, tereftalátu a polyetylen oxidu, polyuretanu s polycypralaktanem a dalšími.  $T_g = 46 - 125^{\circ}\text{C}$

# Princip tvarové paměti

- Jev tvarové paměti je způsoben tím, že materiál, přechází při určité teplotě z jedné krystalické struktury do jiné
- Slitina snaží udržet v energeticky nejvýhodnějším stavu, a proto se vždy přeorientuje do krystalické mřížky, která je za daných podmínek energeticky nejúspornější.
- tzv. MARTENZITICKÁ TRANSFORMACE

# Materiály s tvarovou pamětí

Dva typy :

- materiály tvarově stabilní při dvou nebo více teplotách.
- elektroaktivní polymery

Efekt změny má dva projevy:

- jednocestná paměť
- dvojcestná paměť

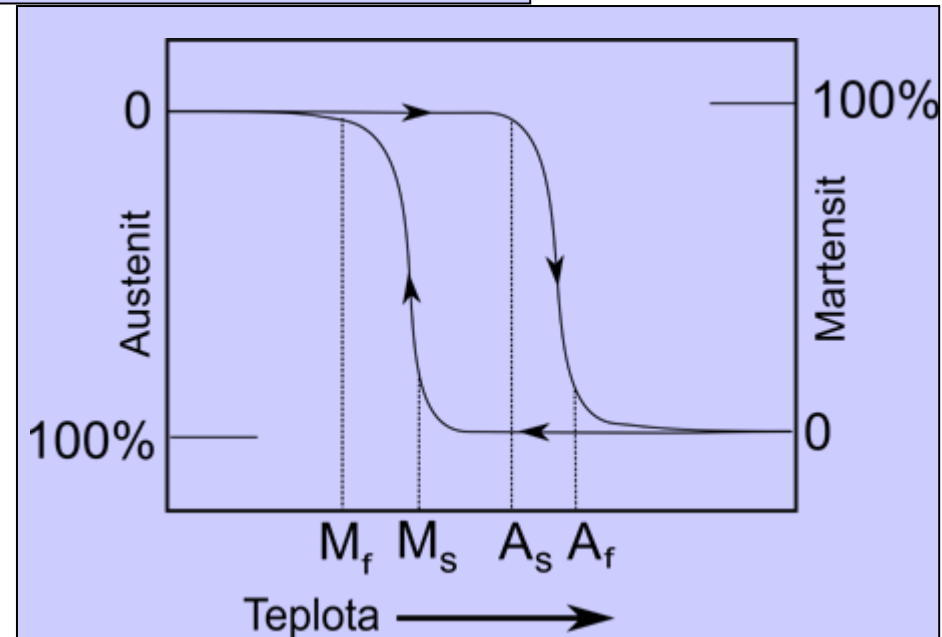
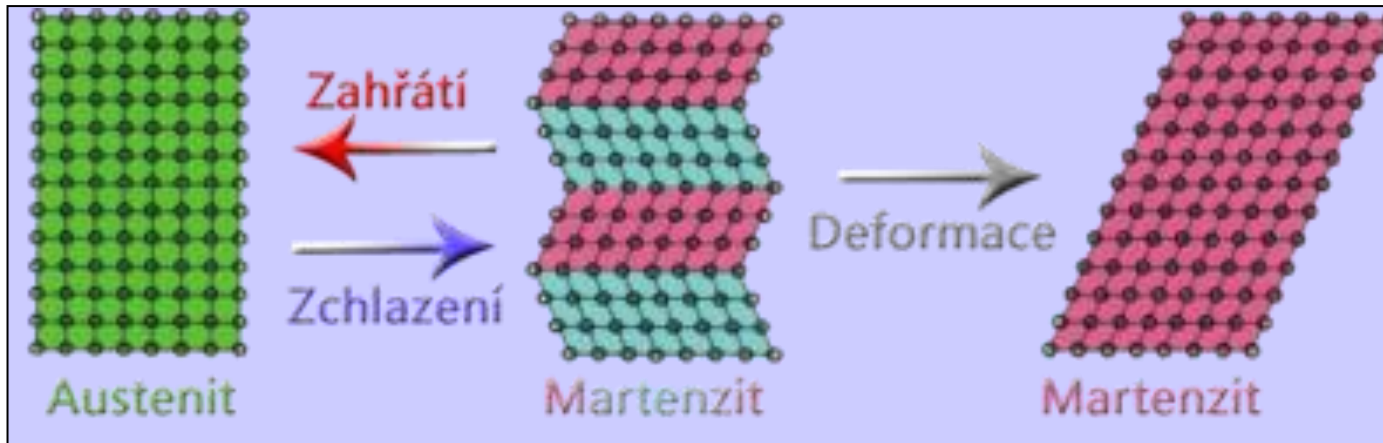
# SMM - shape memory materials

- Také SMA - shape memory alloys
- Materiály s tvarovou pamětí
- Poprvé pozorováno 1951 (Au-Cd)
- Nejznámější Nitinol ( slitina Ni+Ti) ale existuje i dlouhá řada jiných slitin s těmito vlastnostmi. Jev se vyskytuje při určitých hodnotách poměru kovů
- Také keramické materiály či polymery
- Vratná deformace je až cca 15 %

# SMM - shape memory materials

- Polymery
- Podobný efekt, změna fáze ze sklovitého do kaučukového stavu

# Princip tvarové paměti



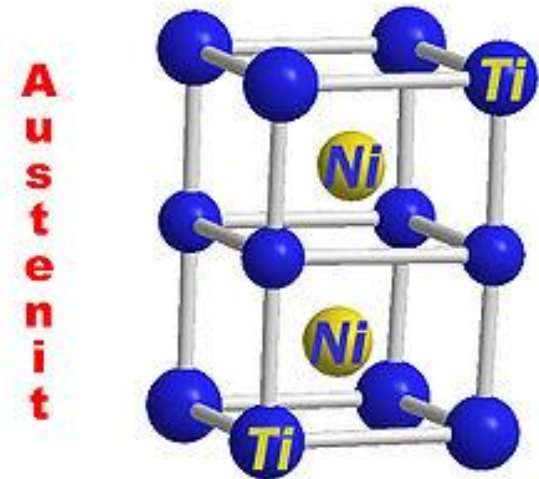
# *Nitinol - princip*

- Při zahřátí se smršťuje ( kovy se naopak roztahují !)
- Je velmi pružný
- Pamatuje si tvar při žíhání ( SME - shape memory effect)
- Po vychladnutí je možno tvar změnit ale zahřátím na **aktivační teplotu** se vrátí do zapamatovaného stavu

# *Nitinol - princip*

- Dochází ke změně krystalické struktury
- Austenitská fáze – při teplotě nad aktivační teplotou.  
(dle provedení od -10 do 130 stupňů C)

Kubická mřížka



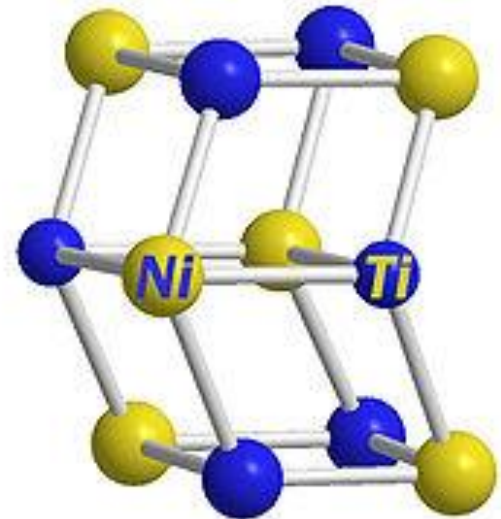
Obr. Wikipedia.cz



# *Nitinol - princip*

- Martenzitická fáze – teploty pod aktivační. Materiál lze deformovat
- Ortorombická mřížka

M  
a  
r  
t  
e  
n  
z  
i  
t

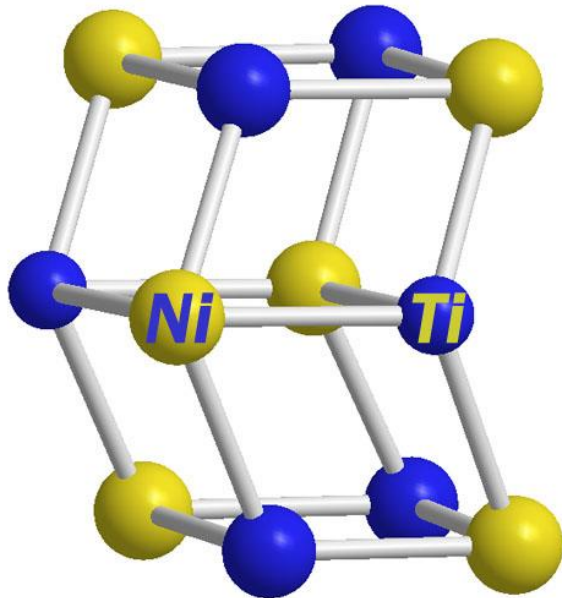


- Žihání – vysokoteplotní fáze ( cca 500 oC)

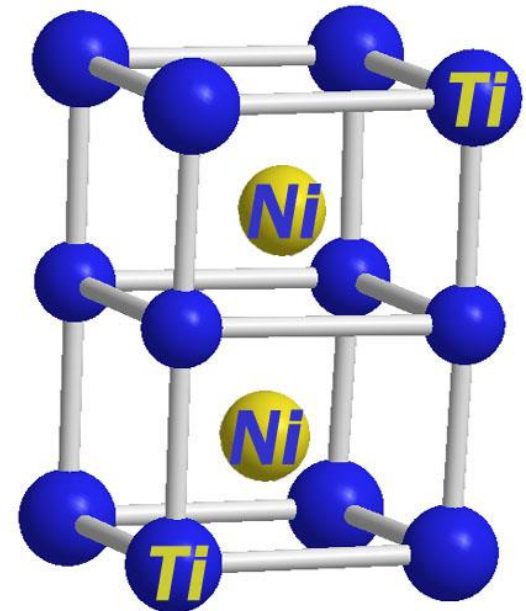
# Princip tvarové paměti

- Krystalická struktura, kterou látka zaujímá za nižších teplot, se nazývá *martenzit*. Struktura, která vznikne zvýšením teploty nad  $A_s$ , se nazývá *austenit*.

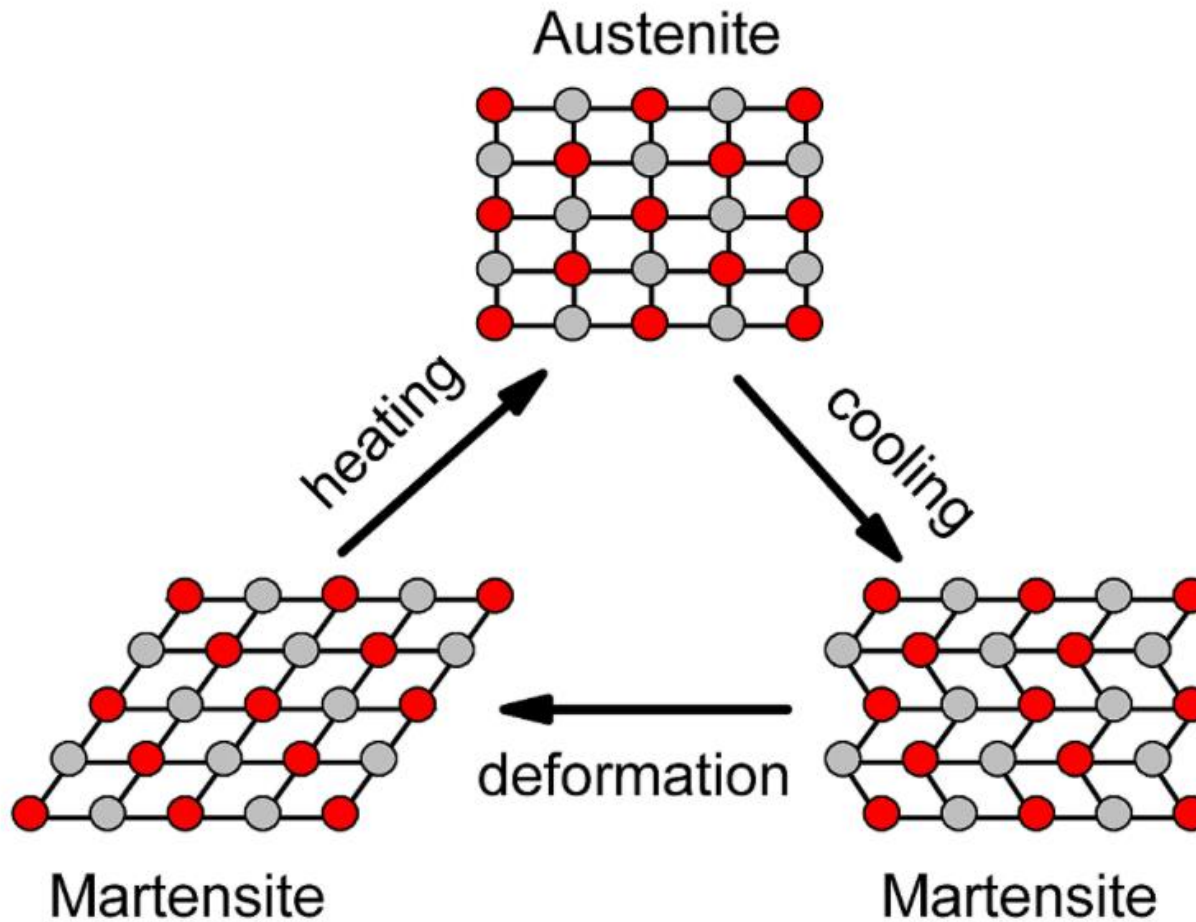
M  
a  
r  
t  
e  
n  
z  
i  
t



A  
u  
s  
t  
e  
n  
i  
t



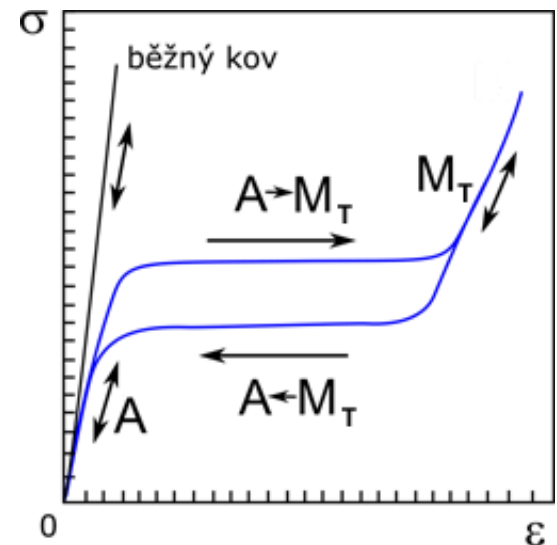
# *Nitinol - princip*



Obr. <https://smartwires.eu/>

# *Nitinol - princip*

- Superelasticita – nitinol se vrací do původního tvaru a „brání“ se deformaci. Chová se jako ocel
- Při teplotách těsně nad aktivační
- Je nežíhaný

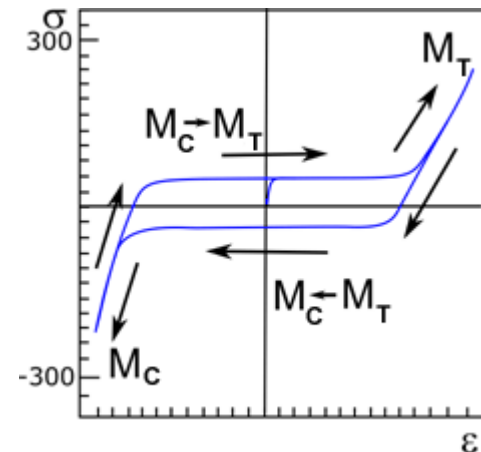


- Nitinol s tvarovou pamětí je pod aktivační teplotou velmi snadno deformovatelný (cca jako Sn)

Obr. Wikipedia.cz

# *Nitinol - princip*

- Pseudoplasticita
- Podobná superelasticitě ale za nižších teplot
- Při teplotách těsně nad aktivační
- Je nežíhaný



- Nitinol s tvarovou pamětí je pod aktivační teplotou velmi snadno deformovatelný ( cca jako Sn)

Obr. Wikipedia.cz

# Aplikace SMM



# Aplikace SMP

- Chirurgické přípravy
- Cévní protézy, stenty
- Ortopedické pomůcky na spaní
- Ochrana proti přehřátí
- Regulace toku el. proudu
- Úpravy finálních výrobků – nežehlivá



# *Nitinol - použití*

- Zdravotnictví
- Obecně v technice
- V oděvnictví například dámské prádlo



# *Nitinol - použití*



Figure 1: The rising hem line of the Vilkas dress. Photo by Shermine Sawalha.

Kukkia\_and\_Vilkas\_Kinetic\_Electronic\_Garmen  
ts/

# *Nitinol - vlastnosti*

- Důvod chování nitinolu
- Nitinol v oděvu
- Další aplikace

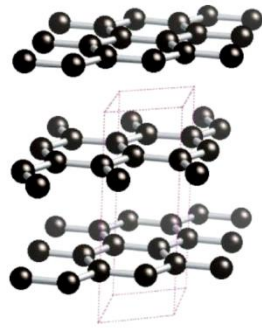
# *Nitinol - použití*

- [Nitinol and Felt \(test 4\): the "jellyfish" - YouTube](#)
- Košile - vyhrnutí rukávů (?!), aktivní teplený komfort
- [Nimesis - Shape Memory Textile - YouTube](#)

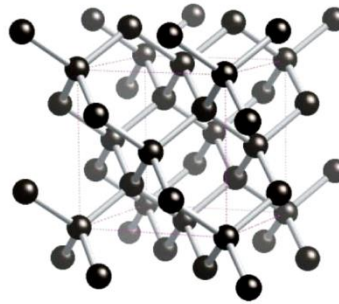
# C

# Textilní struktury pro e-textilie

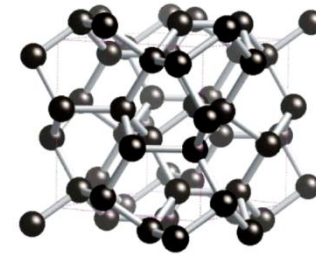
- Uhlík



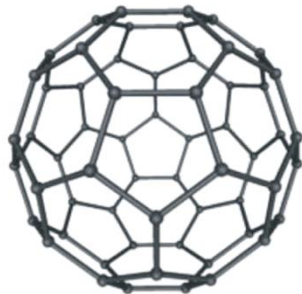
grafit (tuha)



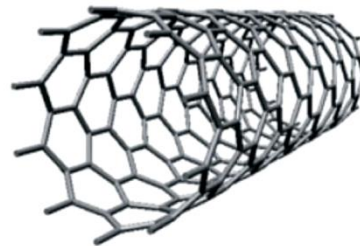
diamant



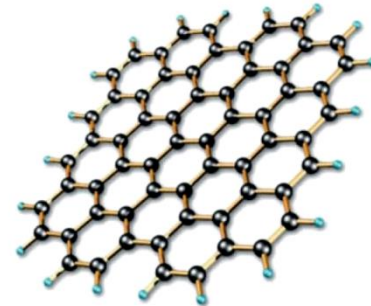
BC8



fulleren



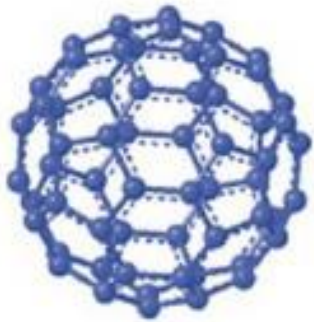
nanotrubička



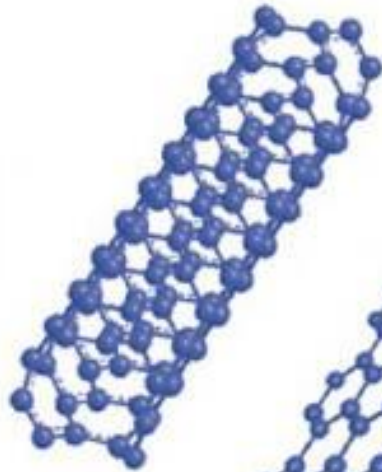
grafen

# Textilní materiály pro e-textilie

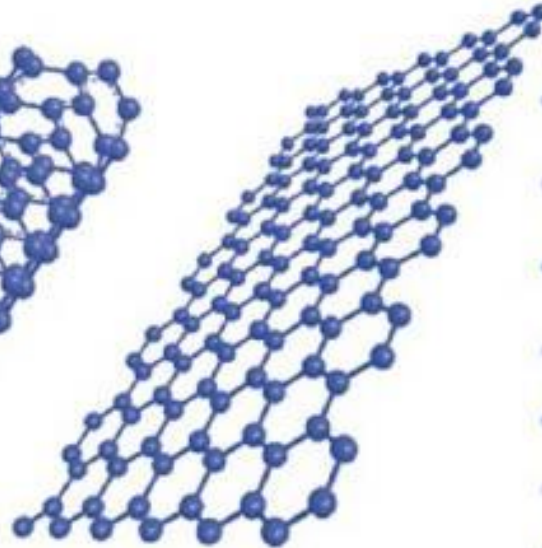
- Fuleren, nanotube, grafen, grafit



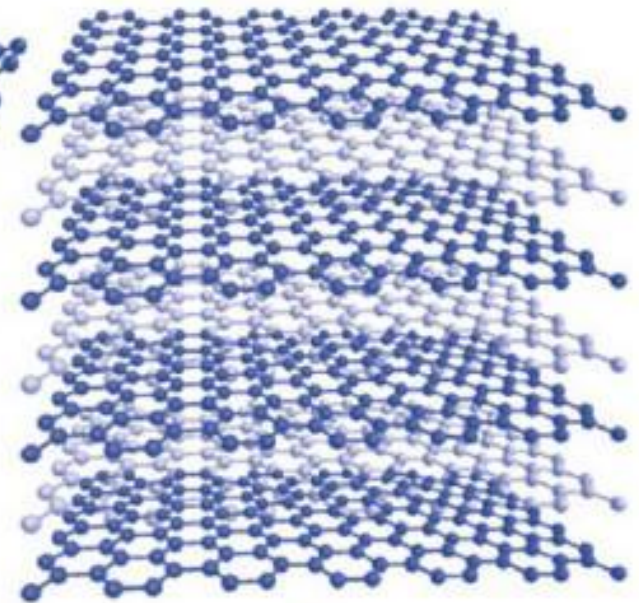
(a)



(b)



(c)



(d)

# Textilní struktury pro e-textilie

- **grafen**
  - Lehký (1 hektar cca 1 gram)
  - Pružný ( až o 25% ) , pevný
  - Velmi tenký ( tloušťka jednoho atomu)
  - Velmi dobře vodí elektrický proud ( cca 100 x lépe, než Cu)
  - Velmi dobře vodí teplo
  - Opticky transparentní

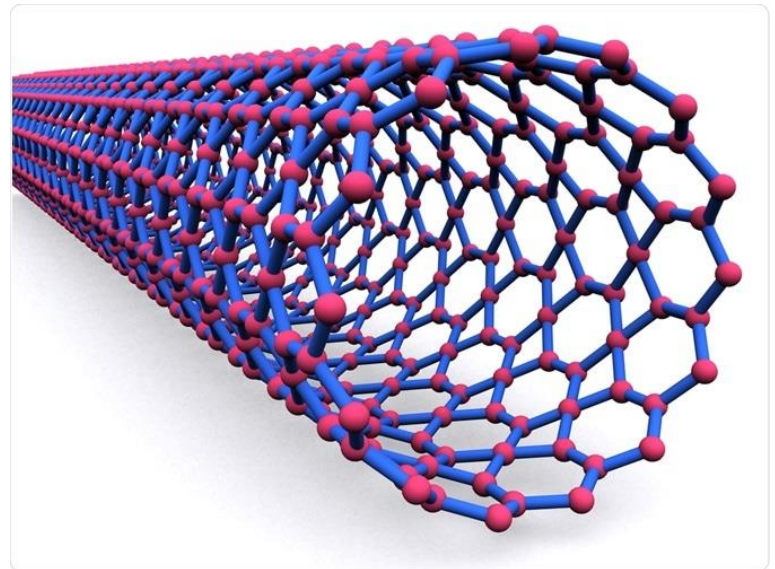
# Textilní struktury pro e-textilie

- **Grafen - možnosti využití**
  - *Baterie, superkondenzátory*
  - *Elektronika obecně*
  - *Dotykové ovládací prvky*
  - *Senzory*
  - [Graphene video 1](#)



# Textilní struktury pro e-textilie

- **Uhlíkové nanotrubičky**
  - *Carbon nanotubes*
  - *Velmi dobře vodí elektrický proud*
  - *Zřejmě samy o sobě karcinogenní*
  - *Lze je zabudovat do kompozitů*
- [Video1](#)
- [... video2](#)



# Textilní struktury pro e-textilie

- **Uhlíkové nanotrubičky**
  - lze zhotovit příze, i jádrové (CNT tvoří plášť)
  - lze zkonstruovat senzor teploty a napětí
  - Superkondenzátor
  - Aktuátory (umělý sval)

# Použití e-textilií

- *Monitorování životních funkcí (pacient, člověk v náročném prostředí)*
- *Měření údajů typu EKG, atd.*
- *Sledování stavu sportovce*
- *Monitorování pozice osob, zejména dětí*
- *Kontrola stavu osoby ( například vojáci v boji)*
- *Zpříjemnění pobytu osoby v extrémních podmínkách ( ohřev, atd.)*
  
- *Budoucnost třeba náhrada smyslů člověka*

*ale také*

- *Módní prvky*

# Carbon nanotubes

- *Monitorování životních funkcí (pacient, člověk v náročném prostředí)*
- *Měření údajů typu EKG, atd.*
- *Sledování stavu sportovce*
- *Monitorování pozice osob, zejména dětí*
- *Kontrola stavu osoby ( například vojáci v boji)*
- *Zpříjemnění pobytu osoby v extrémních podmínkách ( ohřev, atd.)*
  
- *Budoucnost třeba náhrada smyslů člověka*

*ale také*

- *Módní prvky*

# Aerogely

# Aerogely

Vzniká z gelu, u kterého je odstraněna kapalná složka a nahrazena plynem ( vzduch)



# Aerogely

- **Aerogel (zmrzlý dým, modrý dým)** je porézní ultralehký materiál vyráběný odstraněním kapalné části z **gelu**.
- Poprvé Samuel Stephens Kistler v roce 1931
- Nejčastějším typem je aerogel vyráběný z oxidu křemičitého (tzv. *silica aerogel*)
- Obsahuje 99,98 % vzduchu, zbytek připadá na oxid křemičitý.
- Aerogel lze vyrobit např. i ze sloučenin uhlíku, hliníku, chromu, zinku, cínu.



# Gel

- **Co to je?**





# Gel

- Lat. Gelatus (zamrzlý, zmrzlý), Gelu (led, mráz, ztuhlost)
- Koloidní systém, síť vzájemně spojených nanočástic zachytí tekutinu. Pokud nahradíme kapalinu vzduchem – aerogel
- Podobné kapalinám, mohou být tixotropní
- **Koloid (disperzní soustava obsahující částice (1 nm až 1000 nm), nebo heterogenní disperzní soustava s takovými částicemi)**

# Disperzní systém

Disperzní systém		Disperzní podíl		
		Plyn	Kapalina	Pevná látka
<b>Disperzní prostředí</b>	Plyn	<b>Netvoří, není</b> (Plyny jsou mísitelné)	<b>Aerosol (mlha)</b> Příklad: Mlha	<b>Aerosol (dým)</b> Příklady: kouř, mrak
	Kapalina	<b>Pěna</b> Příklady: šlehačka, pivní pěna	<b>Emulze</b> Příklady: mléko, majonéza, krémy na ruce	<b>Sol</b> Příklady: inkoust, krev, barviva
	Pevná látka	<b>Tuhá pěna</b> Příklady: aerogel pemza, pěnové plasty	<b>Gel</b> Příklad: želatina	<b>Tuhý sol</b> Příklady: drahokamy, polodrahokamy, barevná skla

# Disperzní systém

Disperzní systém		Disperzní podíl		
		Plyn	Kapalina	Pevná látka
<b>Disperzní prostředí</b>	Plyn		<b>Aerosol (mlha)</b> Příklad: Mlha	<b>Aerosol (dým)</b> Příklady: kouř, mrak
	Kapalina	<b>Pěna</b> Příklady: šlehačka, pivní pěna	<b>Emulze</b> Příklady: mléko, majonéza, krémy na ruce	<b>Sol</b> Příklady: inkoust, krev, barviva
	Pevná látka	<b>Tuhá pěna</b> Příklady: aerogel pemza, pěnové plasty	<b>Gel</b> Příklad: želatina	<b>Tuhý sol</b> Příklady: drahokamy, polodrahokamy, barevná skla

# Disperzní systém

Disperzní systém		Disperzní podíl		
		Plyn	Kapalina	Pevná látka
<b>Disperzní prostředí</b>	Plyn			<b>Aerosol (dým)</b> Příklady: kouř, mrak
	Kapalina	<b>Pěna</b> Příklady: šlehačka, pivní pěna	<b>Emulze</b> Příklady: mléko, majonéza, krémy na ruce	<b>Sol</b> Příklady: inkoust, krev, barviva
	Pevná látka	<b>Tuhá pěna</b> Příklady: aerogel pemza, pěnové plasty	<b>Gel</b> Příklad: želatina	<b>Tuhý sol</b> Příklady: drahokamy, polodrahokamy, barevná skla

# Disperzní systém

Disperzní systém		Disperzní podíl		
		Plyn	Kapalina	Pevná látka
<b>Disperzní prostředí</b>	Plyn			
	Kapalina	<b>Pěna</b> Příklady: šlehačka, pivní pěna	<b>Emulze</b> Příklady: mléko, majonéza, krémy na ruce	<b>Sol</b> Příklady: inkoust, krev, barviva
	Pevná látka	<b>Tuhá pěna</b> Příklady: aerogel pemza, pěnové plasty	<b>Gel</b> Příklad: želatina	<b>Tuhý sol</b> Příklady: drahokamy, polodrahokamy, barevná skla

# Disperzní systém

Disperzní systém		Disperzní podíl		
		Plyn	Kapalina	Pevná látka
<b>Disperzní prostředí</b>	Plyn			
	Kapalina		<b>Emulze</b> Příklady: mléko, majonéza, krémy na ruce	<b>Sol</b> Příklady: inkoust, krev, barviva
	Pevná látka	<b>Tuhá pěna</b> Příklady: aerogel pemza, pěnové plasty	<b>Gel</b> Příklad: želatina	<b>Tuhý sol</b> Příklady: drahokamy, polodrahokamy, barevná skla

# Disperzní systém

Disperzní systém		Disperzní podíl		
		Plyn	Kapalina	Pevná látka
<b>Disperzní prostředí</b>	Plyn			
	Kapalina			<b>Sol</b> Příklady: inkoust, krev, barviva
	Pevná látka	<b>Tuhá pěna</b> Příklady: aerogel pemza, pěnové plasty	<b>Gel</b> Příklad: želatina	<b>Tuhý sol</b> Příklady: drahokamy, polodrahokamy, barevná skla

# Disperzní systém

Disperzní systém		Disperzní podíl		
		Plyn	Kapalina	Pevná látka
<b>Disperzní prostředí</b>	Plyn			
	Kapalina			
	Pevná látka	<b>Tuhá pěna</b> Příklady: aerogel pemza, pěnové plasty	<b>Gel</b> Příklad: želatina	<b>Tuhý sol</b> Příklady: drahokamy, polodrahokamy, barevná skla



# Disperzní systém

Disperzní systém		Disperzní podíl		
		Plyn	Kapalina	Pevná látka
<b>Disperzní prostředí</b>	Plyn			
	Kapalina			
	Pevná látka		<b>Gel</b> Příklad: želatina	<b>Tuhý sol</b> Příklady: drahokamy, polodrahokamy, barevná skla

# Disperzní systém

Disperzní systém		Disperzní podíl		
		Plyn	Kapalina	Pevná látka
<b>Disperzní prostředí</b>	Plyn			
	Kapalina			
	Pevná látka			<b>Tuhý sol</b> Příklady: drahokamy, polodrahokamy, barevná skla

# Disperzní systém

Disperzní systém		Disperzní podíl		
		Plyn	Kapalina	Pevná látka
Disperzní prostředí	Plyn			
	Kapalina			
	Pevná látka			

# Aerogely

- A nyní zpět k aerogelům

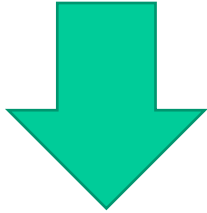
# Aerogely



- S.S. Kistler, Stockton. Kalifornii.
- hypotéza
- - obyčejný, kapalný gel se skládá jednak z kapalné fáze, jednak také z pevnolátkové sítě, jejíž póry vyplňuje ona kapalná složka.
- - na první pohled jednoduchý způsob, jak tuto hypotézu ověřit, spočíval v odstranění kapalné složky gelu, aniž by se poškodila pevnolátková síť.
- - při běžných způsobech sušení se však tato snaha ukázala jako marná. Gel se scvrkl na zlomek původní velikosti a z původní gelové sítě nezbylo nic, co by dokazovalo přítomnost pevné složky v gelu, vysušený gel kromě velikosti změnil podstatně i tvar.

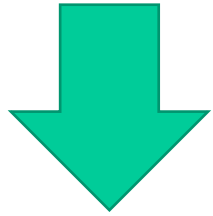
# Aerogely

- Kistler - pevná struktura gelu je mikroporézní a poškodí se tlakem vypařující se.
- Rozhraní kapalina-plyn, které je vždy přítomno při běžných způsobech vysoušení poškodí gelovou strukturu
- Bezpečné odstranění kapaliny - během zahřívání se současně zvyšuje tlak. Pak přestane existovat rozhraní kapalina-plyn a gel lze vysušit
- Kistler - mezikrok, voda v gelu je nahrazena alkoholem a pak teprve se provede vysoušení



# Aerogely

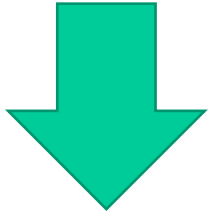
- V sedmdesátých letech se obrátila francouzská vláda na Stanislause Teichnera z univerzity Claud Bernard v Lyonu, který hledal metodu, jak ukádat kyslík a raketové palivo v porézních materiálech. Následující událost patří k legendě mezi komunitou vědců specializovaných na aerogely. Teichner přidělil jednomu ze studentů úlohu připravit a studovat aerogely pro tuto aplikaci. Když student přípravu aerogelů zvládl, Taichner ho informoval, že k tomu, aby dokončil svou dizertaci, bude potřebovat velmi mnoho vzorků aerogelu. Avšak vzhledem k pracnosti jejich přípravy (Kistlerovou metodou, zahrnující dva časově náročné a pracné kroky, trvala příprava jednoho vzorku aerogelu zhruba dva týdny) by bylo potřeba mnoho let a zklamaný student se proto rozhodl opustit Teichnerovu laboratoř. Dlouho to však nevydržel a po krátké pauze se do laboratoře opět vrátil, silně motivovaný k nalezení lepšího procesu syntézy. To se mu skutečně podařilo a uskutečnil tak bezpochyby největší pokrok v aerogelové vědě.
- V jeho postupu se využívá chemie pevných gelů (sol-gel chemistry). Tento proces nahrazuje sodíko-křemičitany používané Kistlerem alkoxyasilany (tetramethylorthosilikát, TMOS). Hydrolizací TMOS v roztoku methanolu je možné získat alkoholový gel v jediném kroku (nazývaném alkogel), což eliminovalo dva Kistlerovy kroky. Vysušení těchto alkogelů za nadkritických podmínek poskytlo vysoce kvalitní aerogely. Teichnerova skupina a další uzpůsobili tento postup k přípravě široké škály aerogelů na bázi oxidů kovů.



# Aerogely

- Rok 1983 znamenal další pokrok v technologii výroby, kdy vědecká skupina Arlona Hunta z Berkeley zjistila, že toxická sloučenina TMOS se dá nahradit tetraethylorthosilikátem (TEOS) která je bezpečnější a kvalita aerogelů přitom zůstává zachovaná. Téhož roku vědci z Microstructured Materials Group zjistili, že alkohol lze nahradit kapalným  $\text{CO}_2$  před nadkritickým ohřevem, aniž by se poškodila struktura gelu - stačí nyní jen  $31^\circ\text{C}$  a 52 atmosfér a navíc  $\text{CO}_2$  nevybuchuje. Totéž souběžně vyvinuli v BASF (Badische Anilin und Soda Fabrik - Bádenská továrna na Anilin a sodu) a aerogel vyráběli do roku 1996 pod názvem BASOGEL.
- Pokud by byl okamžik, od kterého by byla nějaká lidská činnost považována za samostatné vědecké odvětví, určen podle toho, kdy se pro daný obor konala poprvé specializovaná vědecká konference, u aerogelů by to byl právě rok 1985. Tehdy totiž profesor Jochen Fricke uspořádal první mezinárodní symposium na téma aerogely (ISA - International Symposium on Aerogels). Konference probíhala ve Würzburgu v Německu a na poměry v jiných vědeckých oborech se jednalo o skutečně maličkou konferenci; prezentováno bylo 25 příspěvků. Poslední, šesté aerogelové symposium ISA proběhlo v říjnu 2000 v Albuquerque, v USA.





# Aerogely

- Za posledních 15 let do současné doby věda o aerogelech skutečně tvoří samostatný vědecký obor zařaditelný někam na pomezí fyziky pevných látek, chemie a materiálového inženýrství. Na každé další konferenci byly publikovány rekordní dosažené parametry zejména v hustotě (podle jednoho [článku](#) je dokonce rekordně nízká hustota aerogelu zaznamenaná v Guinnessově knize) ale i v dalších vlastnostech, jsou odkrývány nové metody syntézy a hledána nová složení a zároveň se přichází na nové aplikace. Například poměrně důležitý krok provedl Rick Pekala z LLNL (Lawrence Livermore National Laboratory), když rozšířil technologii užívanou na přípravu anorganických aerogelů na aerogely z organických polymerů. Získal tak aerogely z čistého uhlíku, což otevřelo zcela novou oblast v jejich výzkumu.

# Aerogely

- vysoce porézní, velmi křehké, průsvitné materiály.
- vysoká tepelná izolační schopnost.
- Lze pozorovat fotoluminiscenci
- dokáží dobře absorbovat kinetickou energii

## **Mechanické vlastnosti:**

- mohou udržet tisíckrát větší hmotnost než samy váží
- velice křehké

# Aerogely

- schopnost dobře absorbovat kinetickou energii.
- mají velice nízkou hustotu, ke stlačování pevné síťové struktury dochází postupně a energie nárazu se pohlcuje delší čas.
- křemíkové aerogely mají strukturu s otevřenými póry a při deformaci uniká vzduch zevnitř porézní strukturou ven.
- Třecí síla působící na unikající vzduch je nepřímo úměrná průřezu pórů.
- Protože velikost pórů je v případě křemíkových aerogelů řádově desítky nanometrů, může materiál absorbovat při průchodu vzduchu značné množství energie.

# Aerogely

## Mechanické vlastnosti aerogelů

<b>hustota</b>	<b>0,003÷0,35 g/cm<sup>3</sup>, typicky 0,1 g/cm<sup>3</sup></b>
<b>podíl pevné látky</b>	<b>0,13÷15 %</b>
<b>Youngův modul pružnosti</b>	<b>10<sup>6</sup>÷10<sup>7</sup> N/m<sup>2</sup></b>
<b>napětí v tlaku</b>	<b>16 kPa</b>
<b>rychlost zvuku</b>	<b>100 m/s</b>
<b>velikost mikropórů</b>	<b>2÷50 nm</b>

## Tepelné vlastnosti:

- velmi nízká tepelná vodivost.
- v některých případech tepelná vodivost dokonce klesá pod hodnotu odpovídající vakuu
- vydrží obrovský rozsah teplot, od jednotek stupňů nad absolutní nulou až po teploty přes tisíc stupňů.
- Aerogely jsou tak zajímavou alternativou k tradičním izolačním materiálům
- vyšší výrobní náklady
- Typická tepelná vodivost křemíkových aerogelů je asi  $0,017 \text{ W/mK}$ , což je hodnota asi  $40\times$  nižší než u skelných vláken
- Při speciálních požadavcích lze celkovou tepelnou vodivost různými metodami ještě snížit.

# Aerogely

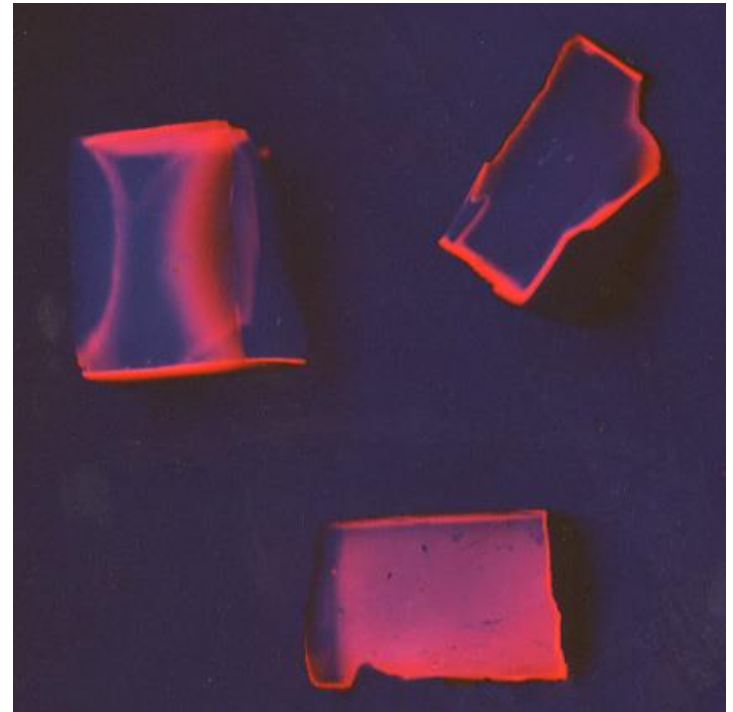
## Tepelné vlastnosti aerogelů

teplotní tolerance	do 500°C
teplota tání	1200°C
koef. tepl. roztažnosti	$2.0 \div 4.0 \times 10^{-6}$

# Aerogely

## Optické vlastnosti:

- průsvitnost,
- křemíkový aerogel, jímž prochází světlo, proti tmavému pozadí, jeví se mírně namodralý
- prošlé světlo se spojitým spektrem nepatrně zčervená.



## Fyzikálně-chemické vlastnosti:

- Primární částice, z nichž je křemíkový aerogel složen, mají velmi malou velikost, 2 až 5 nm.
- Důsledkem je **mimořádně velký poměr povrchu k objemu**, přibližně  $2 \times 10^9 \text{ m}^{-1}$ , čemuž odpovídá specifický povrch zhruba  $900 \text{ m}^2/\text{g}$ .
- Fyzika vnitřního povrchu aerogelu tak má dominantní roli pro určení jeho vlastností.
- Aerogel se tak stává atraktivním materiálem pro použití jako katalyzátor nebo absorbent.
- je možné připravit aerogel jak hydrofilní tak hydrofobní a ovlivnit řadu dalších jeho vlastností.



Aplikace pro oděvy:

- tepelná izolace

TiO<sub>2</sub>

# Nanomateriály

# Použité WWW stránky a další zdroje

- [Martin Žáček: Aerogely a kosmický prach \(aldebaran.cz\)](http://aldebaran.cz)
- *Wikipedia.org*

**K čemu ještě  
smart ?**

# Příklad využití - pohyb baletky



Obr. <https://www.designboom.com/>

# Detekce úrazu



Obr.

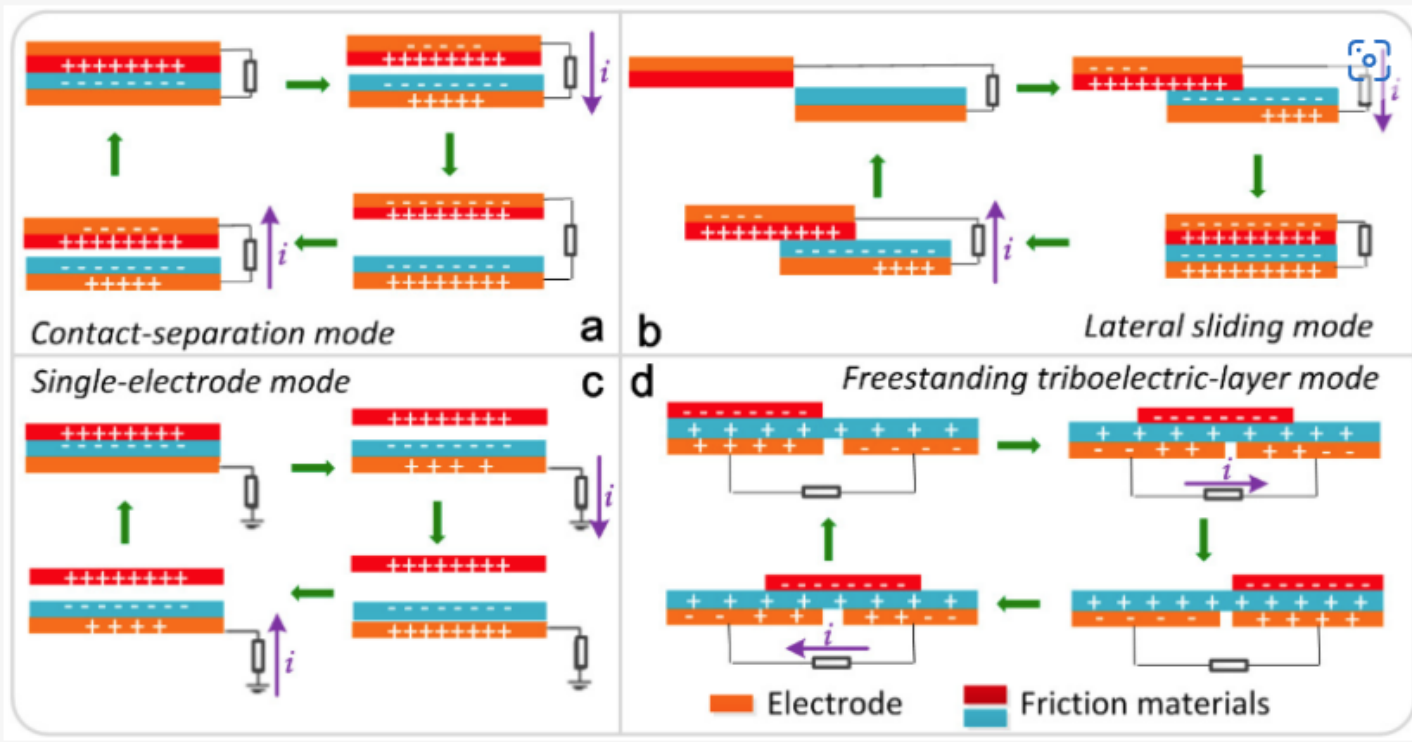
# Konec

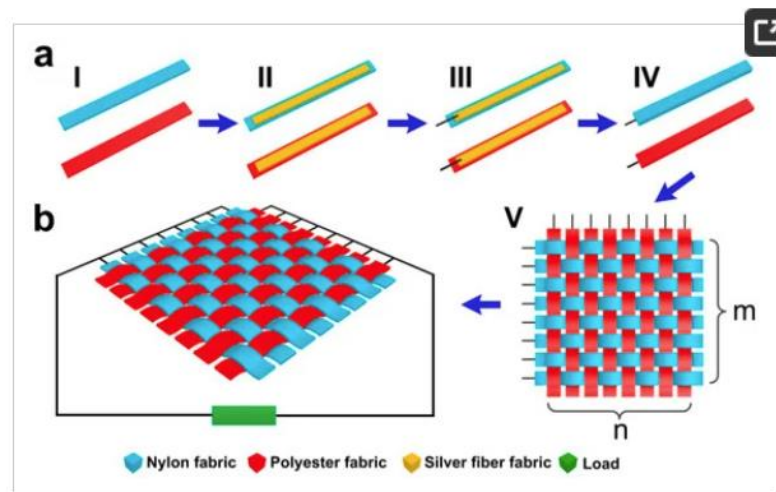


**Zdroje**

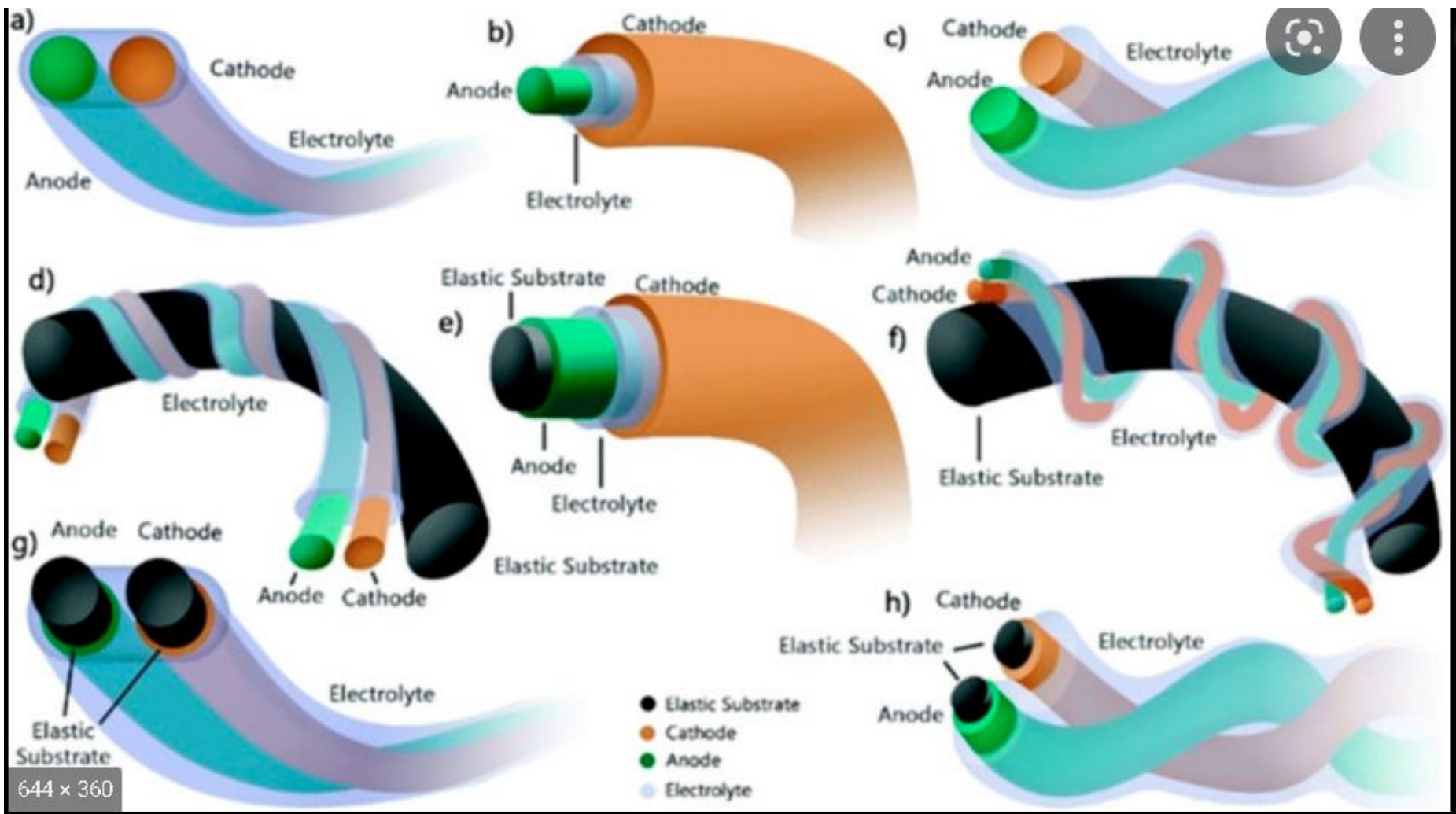


**Figure 1.** Four working modes of triboelectric effect-based electronics. Working mechanism of the device in vertical contact-separation mode (a), planer sliding mode (b), single-electrode mode (c), and freestanding friction layer mode (d).





**Figure 3.** Woven-structure wearable triboelectric devices. (a) Fabrication process of the wave structure device. (b) Structure and circuit of the wave structure device. Figure adapted from ref. [48].



# Zdroje napájení

- *Superkondenzátory ( využití nanotrubiček,*
- *solární články*

# Aktuátory

# Kontakty, napojení