

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

Zdeněk Kůs



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



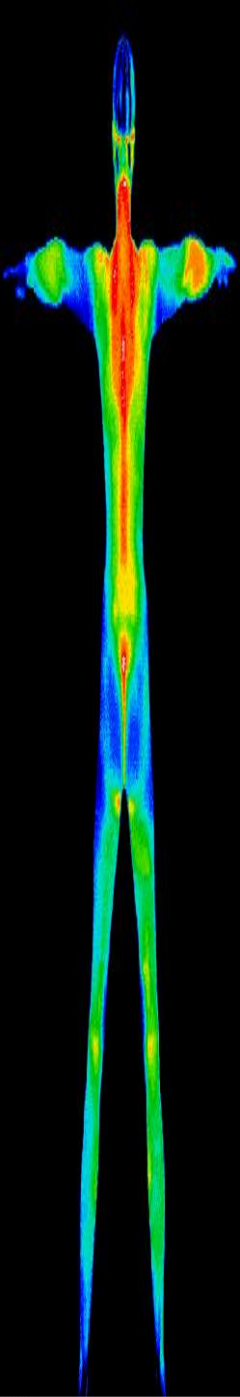
Národní
plán
obnovy



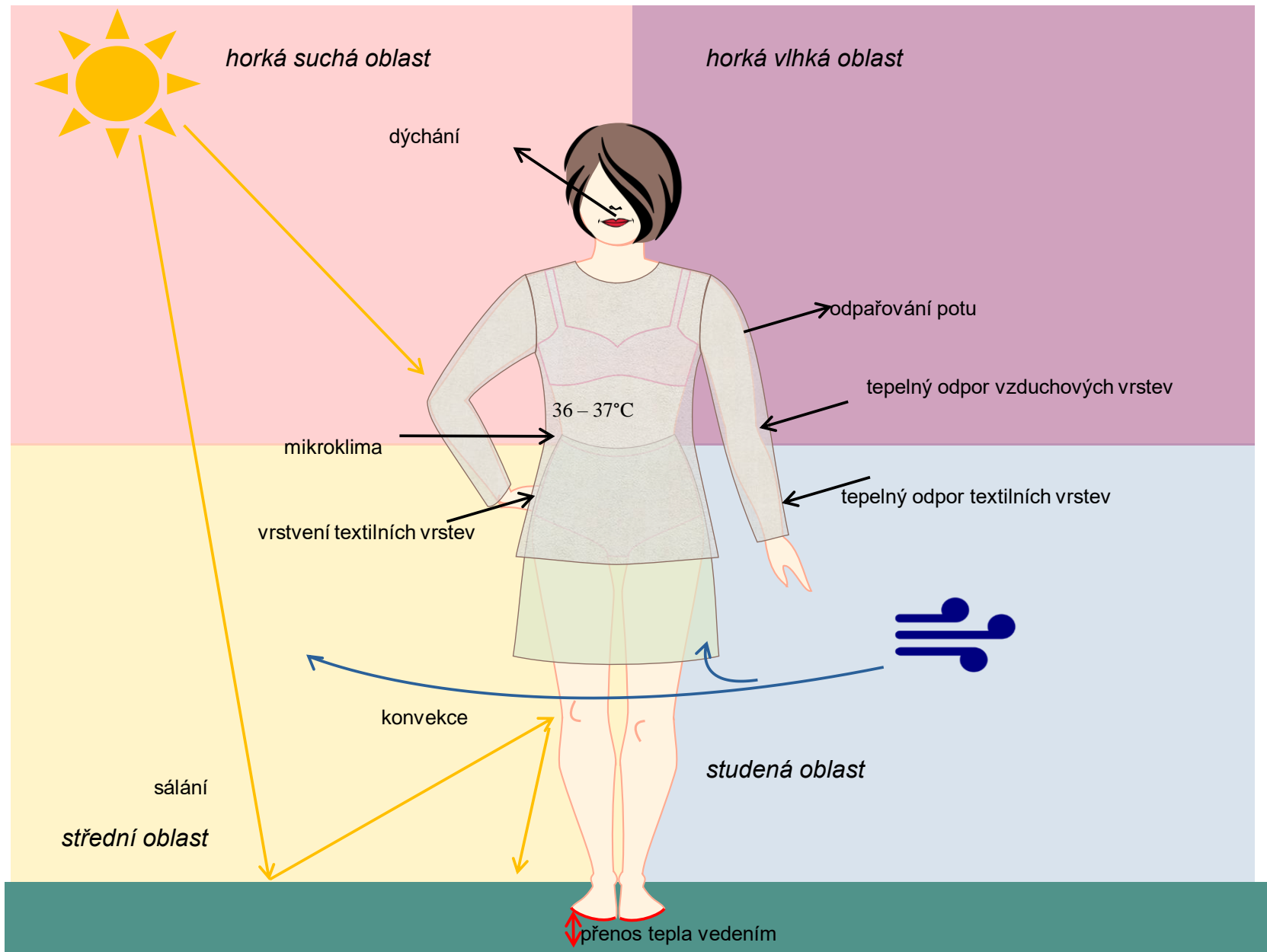
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

SOD

Smart oděvy



Komfort – voda, vlhkost



Když chceme něco měřit,
potřebujeme :

Normy

- Mezinárodní, regionální (ISO, EN)
- Národní
 - *ČSN – česká,*
 - *BS – British standard,*
 - *DIN – Německo,*
 - *ASTM – USA*
 - *A další*
- Podnikové

Voda



- Zvenčí oděvu
 - Déšť
 - Vysoká vlhkost okolí
- Zevnitř oděvu
 - Pot

Prochází oděvem x hromadí se v oděvu, ulpívá na povrchu oděvu

Ulpívá na povrchu oděvu ?

- Smáčivost
- Povrchové napětí
- Hydrofobní (vodoodpudivý) x hydrofilní
- Adhezní konstanta – míra přilnutí kapky

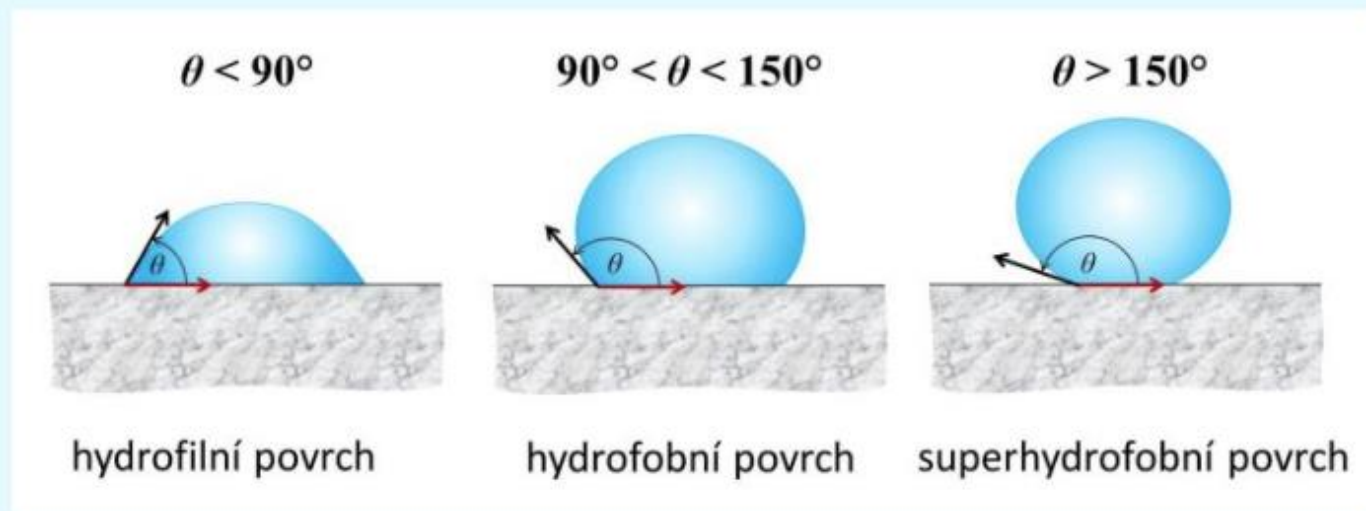
Hydrofobní materiály

- Zajímavé hydrofobní materiály, nitinol (SMM), aerogel, atd.
- [7 Strangest & Coolest Materials Which Actually Exist](#)  1  - [YouTube](#)

Úhel smáčení

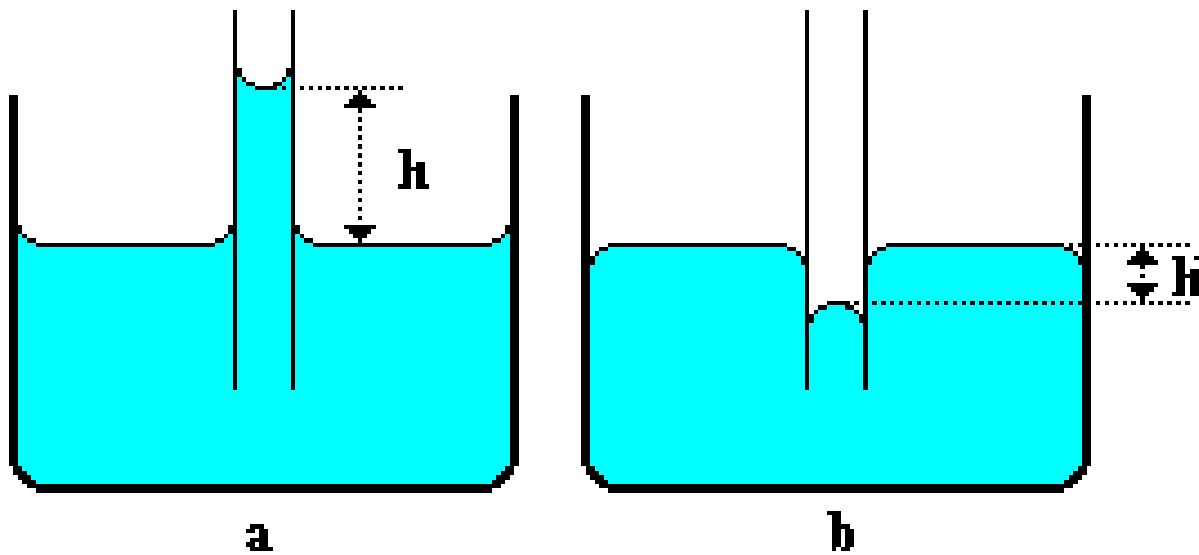
SMÁČIVOST POVRCHU

- určena především morfologií povrchu (drsnotí) membrány
- **velká** → kontaktní úhel $\theta < 90^\circ$ => **HYDROFILNÍ** povrch
- **malá** → kontaktní úhel $90^\circ < \theta < 150^\circ$ => **HYDROFOBNI** povrch
 - kontaktní úhel $\theta > 150^\circ$ => **SUPERHYDROFOBNI** povrch



- [Reologie: Vytvořili jsme nanovláknennou membránu se superhydrofobním povrchem – ÚSTAV PRO HYDRODYNAMIKU AV ČR, v. v. i. \(cas.cz\)](#)

Kapilární jev



Kapilární elevace (a), deprese(b)

Způsobeno kapilárním tlakem

Kapilární jev

Kapilární jev je způsoben **kapilárním tlakem**.

Kapalina má povrchové napětí σ a dokonale smáčí stěny nádoby.

Po ponoření kapiláry (poloměr R) se v kapiláře vytvoří dutý kulovitý povrch o poloměru R .

Pod ním je vnitřní tlak menší o **kapilární tlak** p_k ve srovnání s okolním povrchem v nádobě.

Kapalina v kapiláře tedy vystoupí do takové výšky h , při které je **hydrostatický tlak** odpovídající sloupci kapaliny o výšce h stejný, jako tlak kapilární.

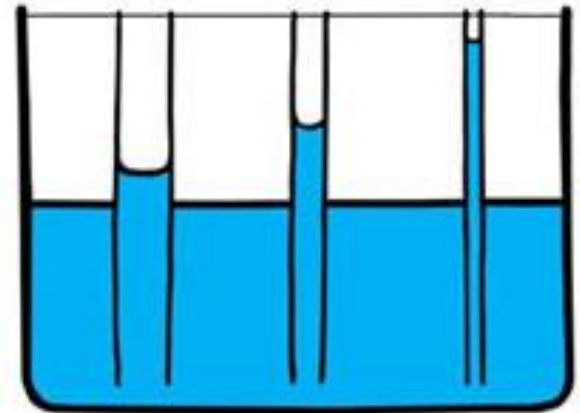
$$h \cdot \rho \cdot g = \frac{2 \sigma}{R}$$

tedy

$$h = \frac{2 \sigma}{\rho \cdot g \cdot R}$$

Pro reálnou kapalinu

$$h = \frac{2 \sigma \cos(\vartheta)}{\rho \cdot g \cdot R}$$



Hromadí se v oděvu ?

Nasákavost

- Přibývá množství vody v oděvu, přírůstek hmotnosti
- Hodnotí se:
 - **kapkovou metodou** (doba, za kterou se vsákne definovaná kapka vody), pozoruje se mikroskopem
 - Umělý déšť – viz dále
-
- $U = (m_1 - m_0) / m_0$ (v procentech ještě x100)
- V oděvu se může voda „pohybovat“, vzlínat, tedy přesouvat se vlivem kapilárních sil
- Knotový efekt

Hromadí se v oděvu ?

Knotový efekt



Vzlíná v oděvu ?

- V oděvu se může voda „pohybovat“, vzlínat, tedy přesouvat se vlivem kapilárních sil
- Knotový efekt
- Hodnotí se tzv. sací výška, t.j. výška vodou nasáklé části knotu v ustáleném stavu
- Závisí na
 - povrchovém napětí,
 - chemickém složení textilie (obsah hydrofilních skupin v molekulové struktuře),
 - pórovitosti
 - Smáčecí vlastnostech textilie

Vzlíná v oděvu ?

- Lze měřit například přístrojem **SDL Atlas MMT tester**
- Princip - na vzorek se kápne definovaná kapka kapaliny odpovídající lidskému potu (syntetický pot), následně se měří elektrický odpor, resp. jeho změna, v okolí kapky
- Hodnotí se
 - Šíření kapky po horním povrchu vzorku
 - Přenos vody proniklé skrz vzorek z vrchní na spodní stranu vzorku
 - Šíření po spodním povrchu
 - Odpařování vody ze vzorku

ASDL Atlas MMT

MMT[®]: (Moisture Management Tester)

M290

Ensure the comfort and protection your consumers demand.



BROCHURE



VIDEO

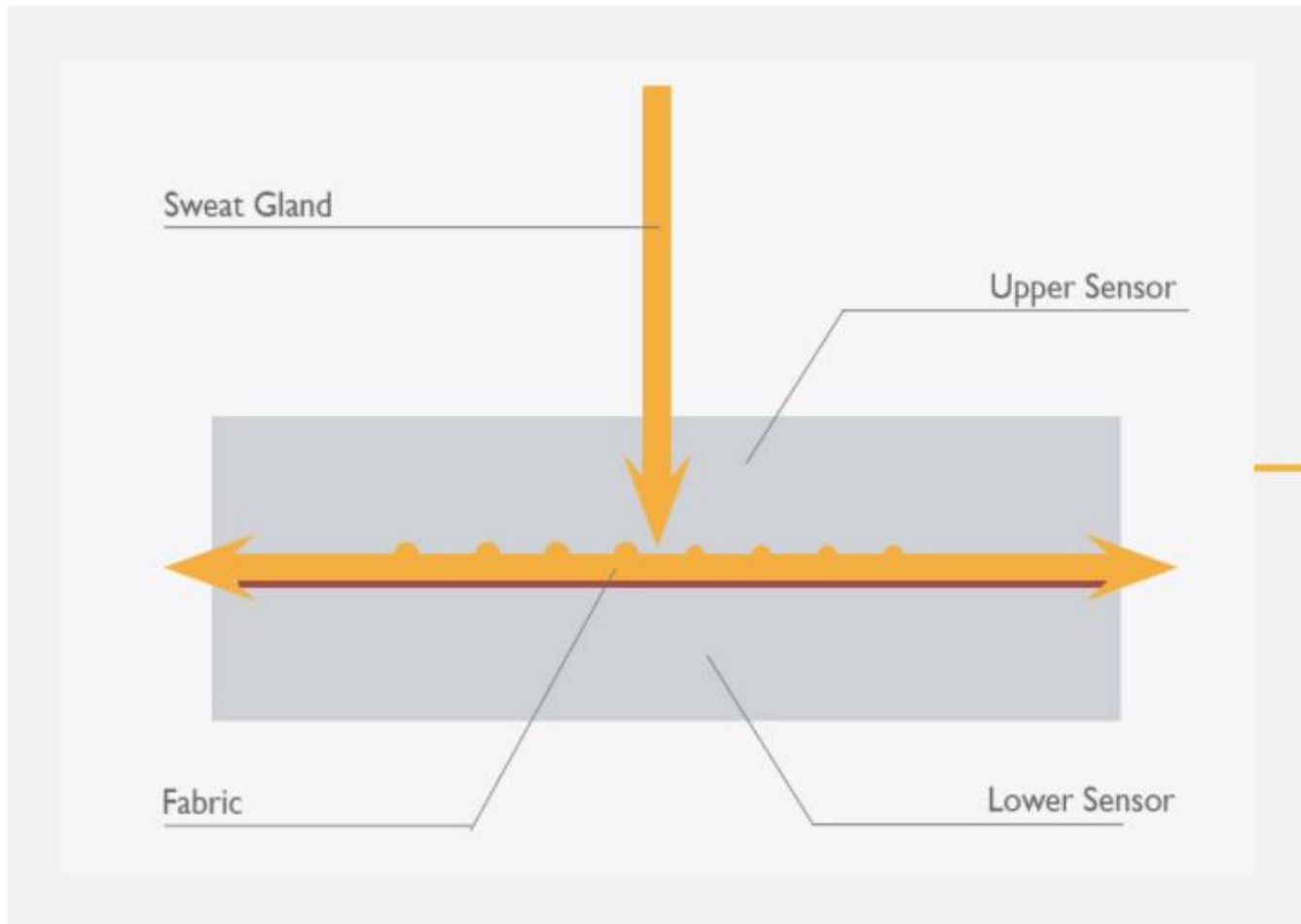


SHARE

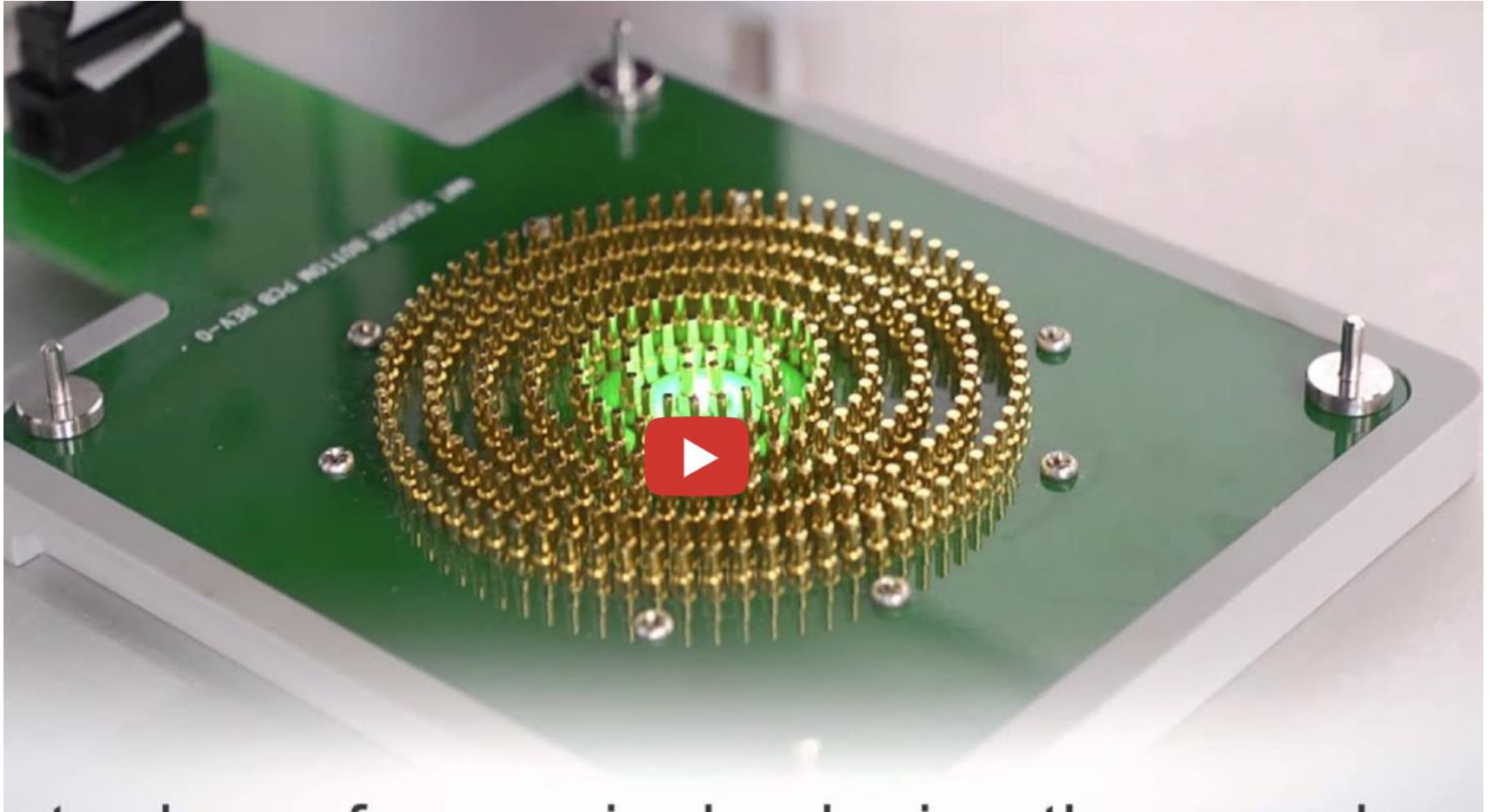
REQUEST INFO



ASDL Atlas MMT



ASDL Atlas MMT



<https://sdlatlas.com/products/mmt-moisture-management-tester#product-video>

Prochází oděvem ?

Prochází oděvem?

Hodnotíme propustnost vody

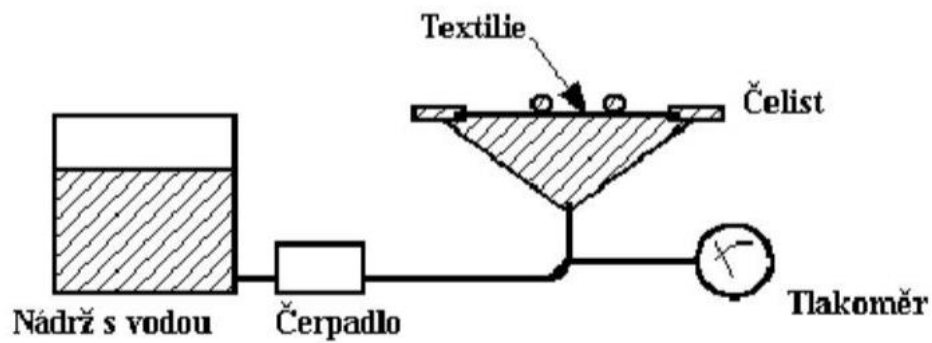
Princip měření :

Vodní sloupec (tlak) – na textilní vzorek se působí vodou pod rostoucím tlakem, je zaznamenána hodnota, kdy se na opačném povrchu objeví nejméně tři kapky vody, která prošla vzorkem

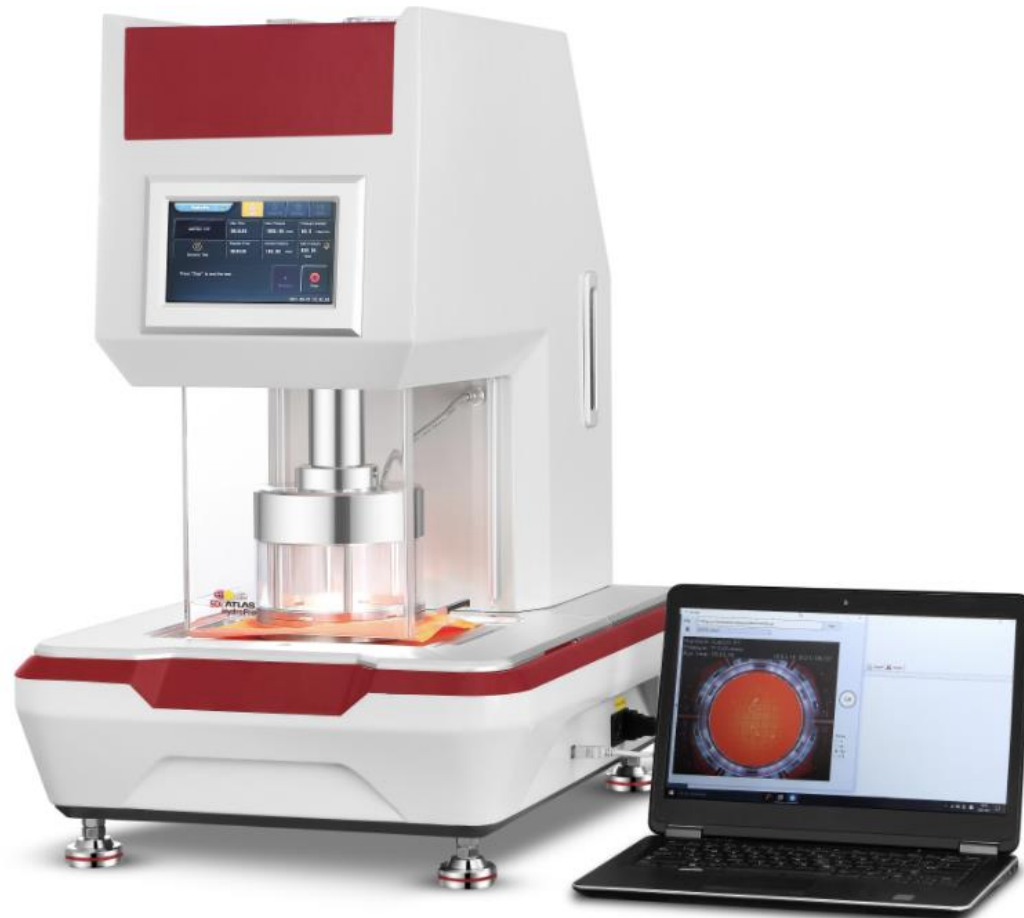
Doba, která uplyne do doby, než se objeví první tři kapky při konstantním tlaku vody

Množství vody, které proteče vzorkem za jednotku času

Prochází oděvem?



SDL Atlas HydroPro M018



Prochází oděvem – voda ?

Umělý déšť, simulace deště

Spray test

Posuzuje se vzhled textilie po test, etalony

Posuzuje se množství proteklé vody

Tzv. Bundesmann

Standardizovaná metoda, napodobuje dešťové kapky, mnoho trysek

Posuzuje se:

vzhled textilie (porovnání se etalony)

množství proteklé vody

množství absorbované („nasáklé“) vody

SDL Atlas Spray rating tester M232



SDL Atlas Bundesmann M230



Difúze

Difúzní tok

- kolik molů dané látky projde jednotkovou plochou S za jednotku času t
- Směr difusního toku - střední směr proudění částic

$$j = \frac{n}{S \cdot t} \quad [mol \ m^{-2} s^{-1}]$$

- n ... počet molů
- S ... plocha
- t ... čas

Difúze

Hustota toku

- Hustotu toku přes plochu lze vyjádřit i ze střední rychlosti částic \mathbf{v} proudících přes plochu \mathbf{S} a koncentrace částic

$$\mathbf{j} = c \cdot \mathbf{v}$$

c ... *koncentrace částic*

\mathbf{v} ... *střední rychlost pohybu částic*

Difúze

1. Fickův zákon

difuzní tok v **ustáleném stavu**, tj. za předpokladu, že se koncentrační gradient $\partial c / \partial x$ nemění v čase.

Pohyb molekul se děje směrem klesající koncentrace

hustota difuzního toku j je úměrná záporně vzatému gradientu koncentrace

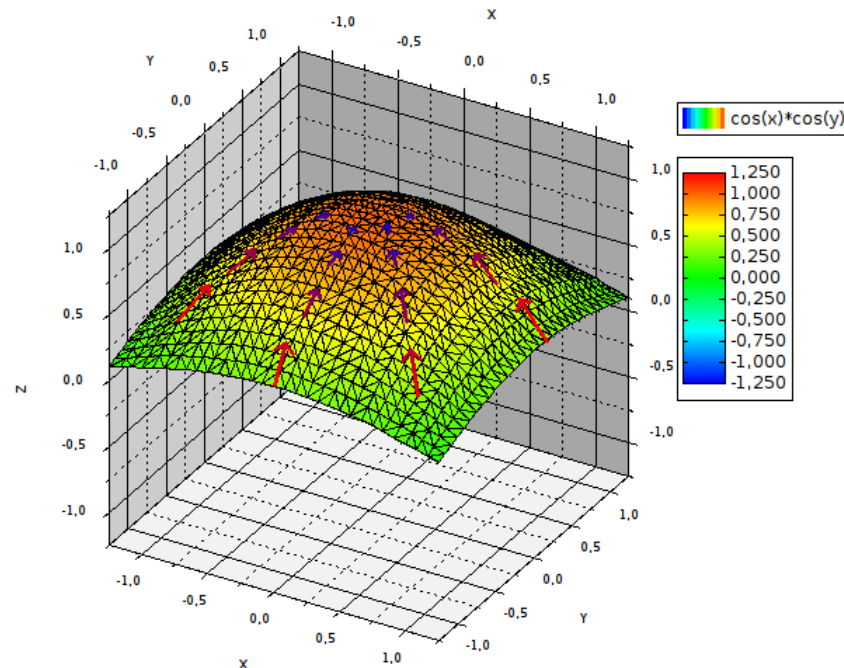
$$j = -D \text{ grad } c$$

Difúze

Gradient ???

Vyjadřuje směr a velikost největší změny skalárního pole

Gradient v daném bodě je vektor ve směru největšího spádu



Difúze

Difuzní koeficient

Difuzní koeficient D je konstantou charakterizující, jak snadno daná látka difunduje daným prostředím

Pro jednorozměrnou situaci

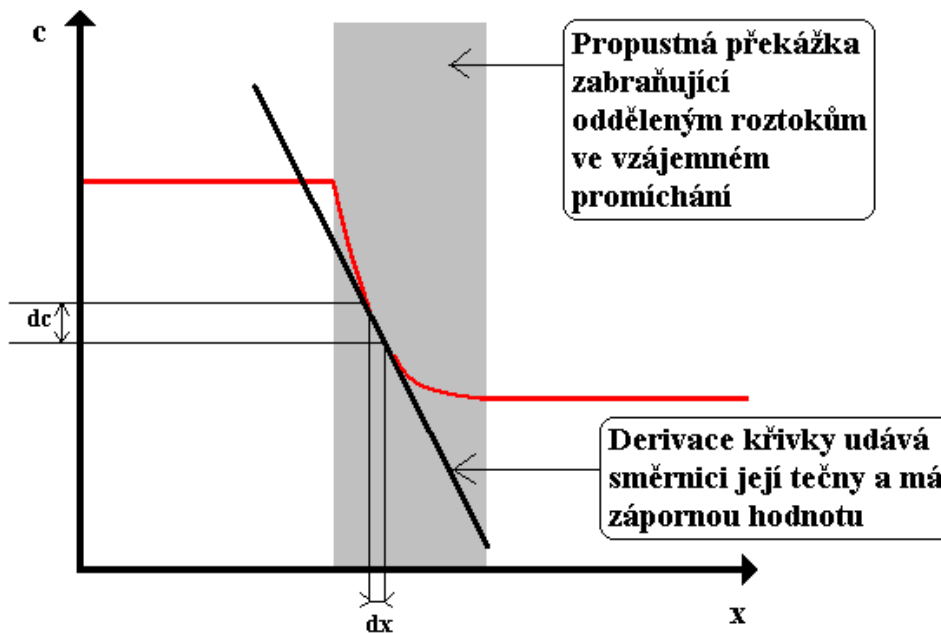
$$j = -D \, dc/dx$$

Difúze

1. Fickův zákon

Difúzní koeficient závisí na teplotě T , dynamické viskozitě kapaliny η a velikosti difundujících částic R

$$D = kT/6\pi\eta R$$



Difúze

2. Fickův zákon

Druhý Fickův zákon charakterizuje **změny koncentrace v čase při nestacionární difúzi.**

Pro jednorozměrný případ:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

- *Pro více rozměrů*

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \cdot \nabla^2 c$$

Proudí okolo oděvu?

Proudění

Ideální kapalina – je nestlačitelná

Proudnice – směr pohybu částice, směr
vektoru okamžité rychlosti částice

Ustálené proudění

Laminární x turbulentní

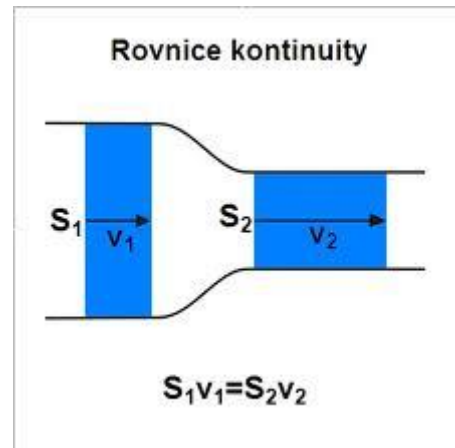
Stacionární (rychlost se v daném bodě v čase nemění) x
nestacionární

Rovnice kontinuity

Objemový průtok

$$Q_V = \frac{\partial V}{\partial t}$$

Pro velmi zjednodušenou situaci



$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$

Bernoulliho rovnice

Zákona zachování energie: kinetická + potenciální = konst.

$$E_k + E_g + E_p = \text{const}$$

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \rho V v^2$$

$$E_g = mgh = \rho V gh$$

$$E_p = pV$$

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh + p = \text{const.}$$

Platí pro ideální kapalinu

Když se zvýší rychlost proudění, sníží se tlak



Viskozita

Newtonův zákon viskozity stanovuje vztah mezi tečným **napětím τ** a rychlostí deformace jako přímou úměrnost, konstantou úměrnosti je dynamická viskozita

Tečné napětí vnitřního tření je v nejjednodušším případě podle Newtonova zákona přímo úměrné gradientu rychlosti

$$\tau = -\eta \frac{du}{dy}$$

τ je tečné napětí v tekutině

u rychlost

y **souřadnice kolmá na směr proudění**

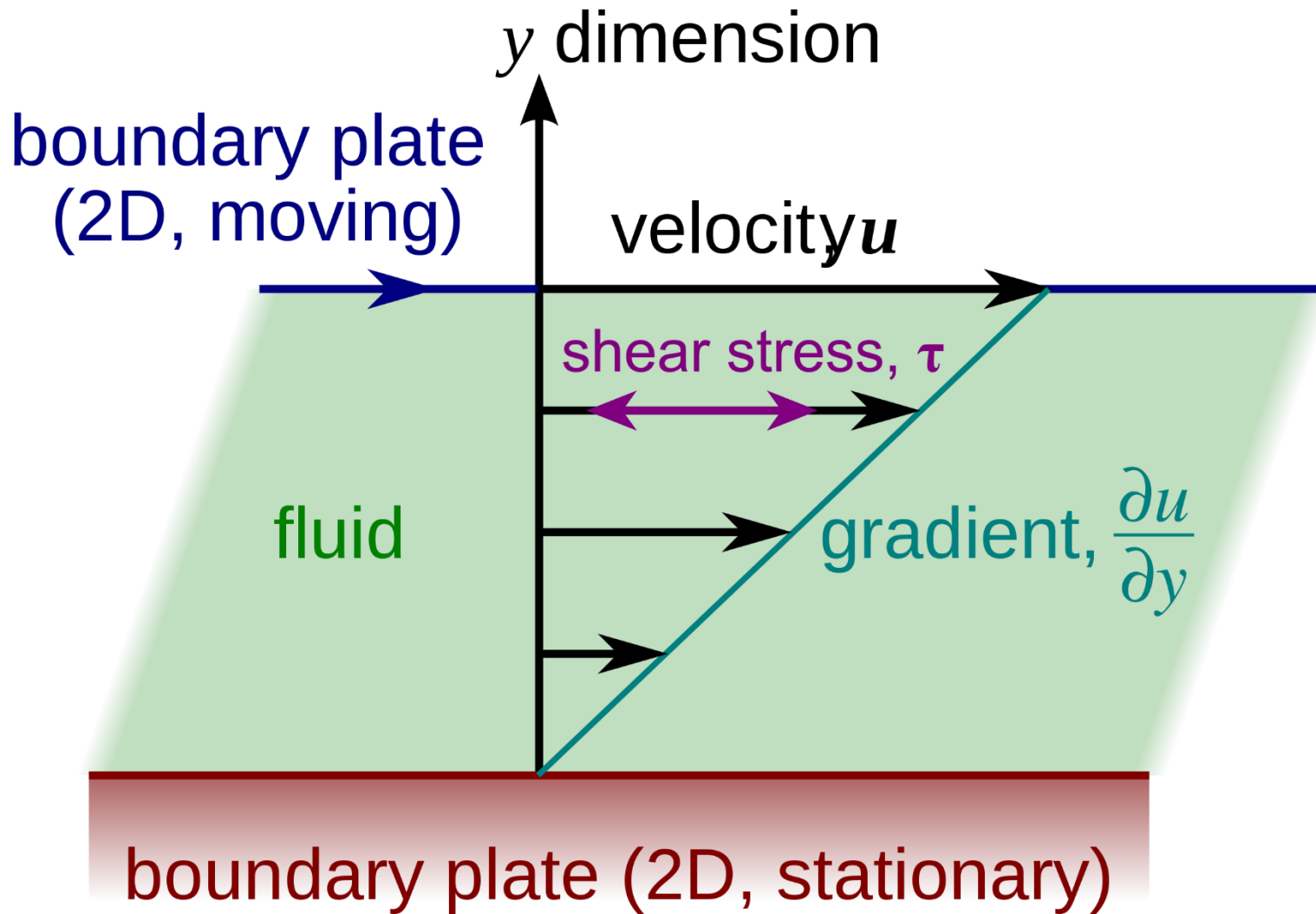
η dynamická viskozita (vazkost).

Charakterizuje tření mezi vrstvami kapaliny [Pa.s]

U kapalin s rostoucí teplotou klesá, u plynů roste.

Tekutost $\Phi = \frac{1}{\eta}$

Kinematická viskozita $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ [m²s⁻¹]



Viskozita

Newtonův zákon viskozity stanovuje vztah mezi napětím τ a rychlostí deformace jako přímou úměrnost, konstantou úměrnosti je dynamická viskozita

Newtonská a neneutronianská

[What Are Newtonian and Non-Newtonian Fluids?](#)
(craneengineering.net)

[Fun with Non-Newtonian Fluid - Lamar University – YouTube](#)

[Atraktivní pokus - Neneutronovská kapalina - YouTube](#)

Proudění

Reynoldsovo číslo
Bezrozměrná veličina

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot D \cdot v}{\eta} = \frac{D \cdot v}{\nu}$$

D je rozměr, průměr potrubí
v střední hodnota rychlosti proudění

Kinematická viskozita ν

Prochází oděvem – vodní pára ?

Je textile schopna umožnit průchod vodních par?

Je potřeba, aby byl rozdíl parciálních tlaku vodních par na obou stranách (tlakový spád)

Vodní pára prochází (difúze) či je absorbována v textili

Kde se vodní pára bere?

Člověk produkuje vodní páru, množství závisí na druhu činnosti a na teplotě organismu

v klidu cca 1200-1500 g/m²den

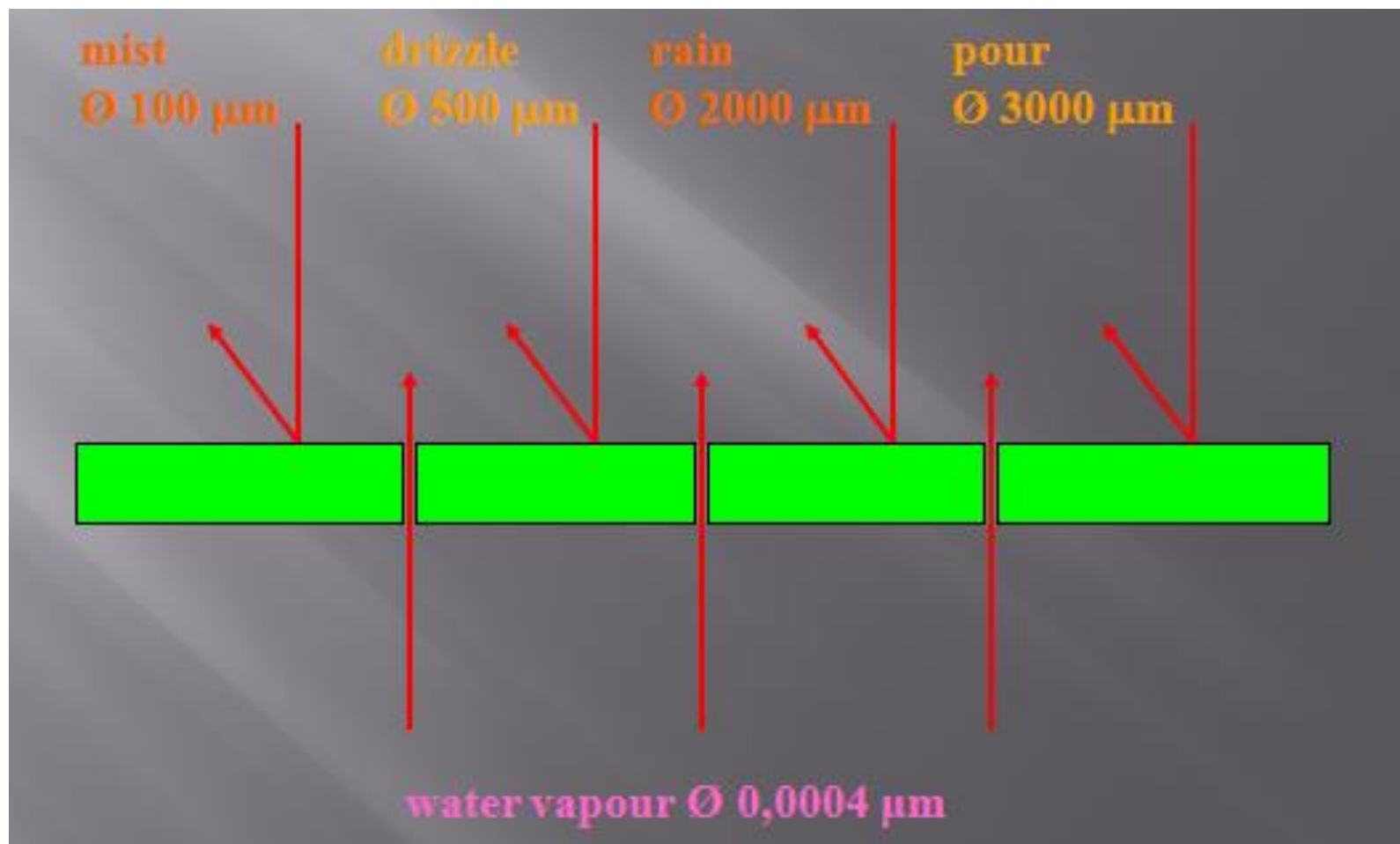
běžný pohyb, chůze až 10000,

běh až cca 30000,

při extrémní zátěži i více

Bariérové textilie

Brání prostupu kapek vody ale umožňují vstup vodních par



Prochází oděvem – vodní pára ?

Hodnotí se:

Propustnost vodních par W_d [g m⁻² h⁻¹ Pa⁻¹]

Relativní propustnost vodních par P [%]

Odolnost vůči vodním parám, **výparný odpor**

R_{et} [m² Pa / W]

Index propustnosti vodních par I_{mt} [-]

Navlhavost (schopnost přijímat vlhkost ze vzduchu)

Vysýchavost (schopnost odevzdávat, zbavovat se vlhkosti, do vzduchu)

Propustnost vodních par

- Metody testování

Zjišťuje se přímo množství vody

absorbují se vodní páry prošlé vzorkem, obvykle do silikagelu, následuje vážení

Napodobuje se lidská kůže – řada přístrojů, skin model

Propustnost vodních par

- Metody testování

- Zjišťuje se přímo množství vody**

- Gravimetrické metody**

- Zjišťuje se množství páry, které projede textilií za čas
 - ČSN 80 0855 - využívá se sorbent (silikagel, etc.)
 - BS 7209 – množství páry prošlé textilií
 - ISO 11092
 - JIS 1099-A1 – kruhový vzorek, nádobka naplněná vodou s CaCl (náhrada potu), následně se voda ohřeje na cca 40 stupňů, Vzorek se utěsní, vloží do klimakomory 40+-2 stupně C, rel. Vlhkost 90+-5 procent. Za 1 hodinu se miska se vzorkem vyjme a zvaží. Vratí zpět. Po další hodině se opět zvaží.
 - JIS 1099 –A2 – totéž ale pouze čistá voda
 - JIS 1099 –B1 – jiné uspořádání vzorku
 - JIS 1099 –B2 – obdoba B1
 - Miska, voda, textilie. Může být i invertované uspořádání
 - Další normy ČSN 770322, ČSN ISO 15496, ASTM E-96)

Propustnost vodních par

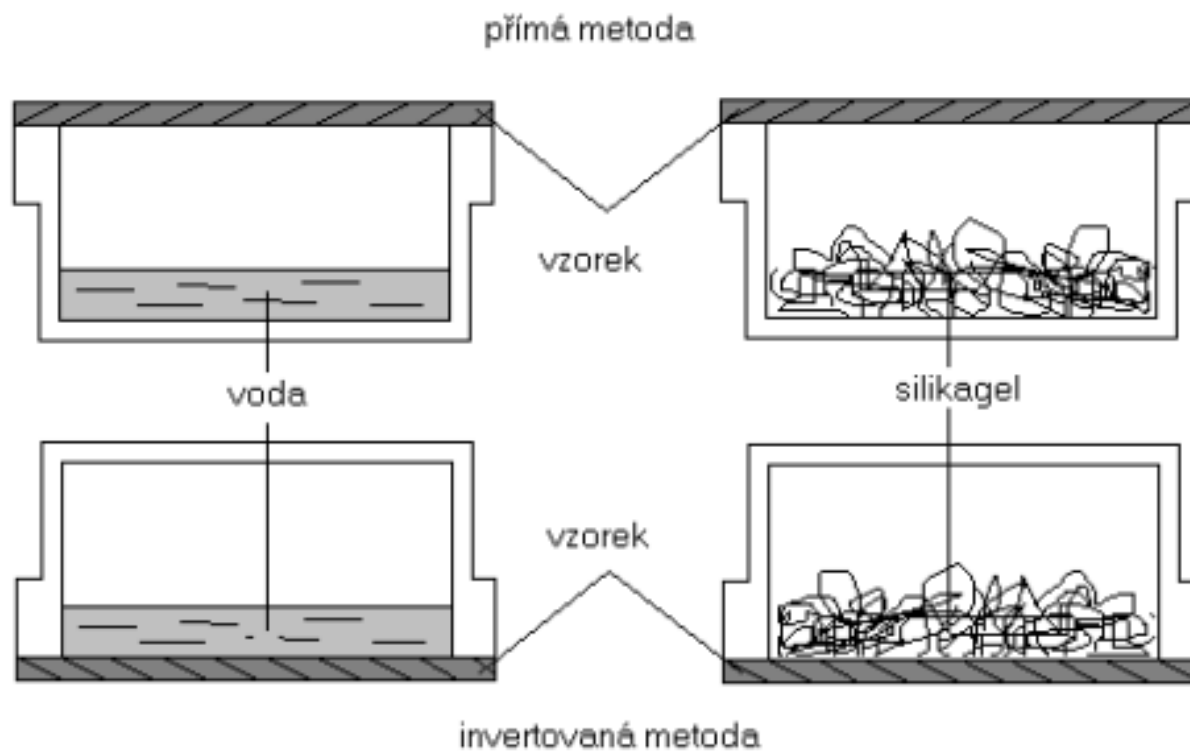
- *Metody testování*
- **ČSN 80 0855**

Zjišťování relativní propustnosti vodních par dle ČSN 80 0855 (Gravimetrická metoda) Daná metoda se provádí v **klimatizační skříni**, která zaručuje tři podmínky, teplotu 20 ± 2 °C, relativní vlhkost $60 \pm 2\%$ a maximální rychlost proudění vzduchu $0,2$ m.s⁻¹. **Kruhový vzorek**, který získáme pomocí raznic o průměru 71,4mm, upevníme na misku obsahující silikagel. Silikagel T dle ON 65 4655 je vysoušedlo středně porézní o zrnitosti 0,4 až 1,6 mm, které na spodní straně zkoušené textilie zajišťuje nulovou relativní vlhkost. Zkušební misky mají kruhový tvar s plochou $S = 30$ cm³, matici se závitem, těsnícím kroužkem a víčkem s těsněním, pro uchycení vzorku.

Měření spočívá **zvážením misek** se vzorkem (G0) před expozicí v klimatizační skříni a poté po 6 hodinové expozici (G1). Jde o metodu příliš dlouhou a nepřesnou, proto se pomalu nahrazuje jinými způsoby měření.

Propustnost vodních par

- *Metody testování*
- *ČSN 80 0855*



Propustnost vodních par

- **ČSN 80 0855**

Relativní propustnost

$$P_{rel} = \frac{(G_1 - G_0)}{G_0} [\%]$$

Absolutní propustnost:

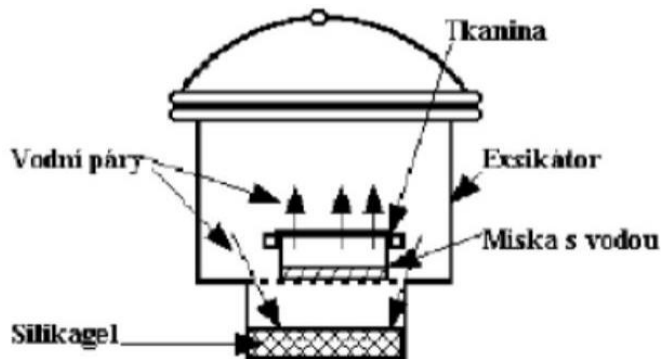
$$P_{abs} = \frac{G_1 - G_0}{S_\tau} [\text{kg/ m}^2 \text{ hod}]$$

Relativní propustnost vodních par

Vážení

- Poměr přírůstku hmotnosti vysoušedla před zahájením měření a po jeho ukončení
- ČSN 80 0855

$$P = 100 * \left(\frac{m_1 - m_0}{m_0} \right) \quad [\%]$$



Relativní propustnost vodních par

Měřením tepelného toku

- Relativní propustnost vodních par **je poměr tepelného toku q_0** , odpařeného z vodní hladiny a tepelného toku q_v po zakrytí hladiny vzorkem
- **Vyhřívaná porézní deska** (sintr), propouští vodní páry, nikoliv vodu – vzorek.
- Pod desku se **přivádí voda, ta se vypařuje, pára prochází porézní deskou** a poté vzorkem. Měří se tepelný tok **nutný pro zachování teploty desky**
- 100% odpovídá tepelnému toku q_0

$$P = 100 * \left(\frac{q_v}{q_0} \right) [\%]$$

ISO11092, ČSN EN 31092 (800819) Zjišťování fyziologických vlastností – měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám (zkouška pocení vyhřívanou destičkou)

Výparný odpor

R_{et}

Výparný odpor

- Odolnost vůči vodním parám, výparný odpor
- Rozdíl tlaku vodních par mezi dvěma povrchy materiálu

$$R_{et} = (P_m - P_a) \cdot (1/q_v - 1/q_0) \quad [m^2 \cdot Pa/W]$$

- R_{et} je výparný odpor vzorku
- P_m nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu měřicí hlavice [Pa]
- P_a parciální tlak vodní páry ve vzduchu ve zkušebním prostoru
- q_0 tepelný tok, odpaření z volné vodní hladiny
- q_v tepelný tok, odpaření ze zakryté vodní hladiny

- Norma ISO 11092

- **Čím je nižší hodnota R_{et} , tím má materiál vyšší paropropustnost**

Propustnost vodních par

- Ret < 6 velmi dobrá (nad 20 000 g/m² /24hod)
 - Ret 6 – 13 dobrá (9 000 – 20 000 g/m² /24hod)
 - Ret 13 – 20 uspokojivá (5 000 – 9 000 g/m² /24hod)
 - Ret > 20 neuspokojivá (pod 5 000 g/m² /24hod)
-
- Metody testování
 - **ASTM E-96**

Propustnost vodních par

Měřením tepelného toku

$$W_d = 1 / (R_{et} \cdot \Phi T_m) \quad [g \cdot m_{-2} \cdot h_{-1} \cdot P_{a-1}]$$

Latentní teplo při teplotě $T_m \dots \Phi T_m$

Latentní teplo je energie, kterou je nutno dodat nebo se uvolní při změně fáze látky (dodáváme/získáváme teplo, které nemění teplotu látky, ale jen její skupenství).

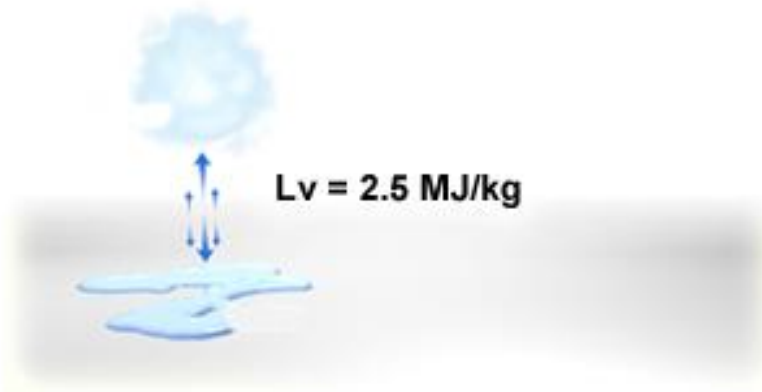
Výměny latentní tepla sněhu a vody

Latentní teplo

$$L_f = 0.334 \text{ MJ/kg}$$



$$L_v = 2.5 \text{ MJ/kg}$$

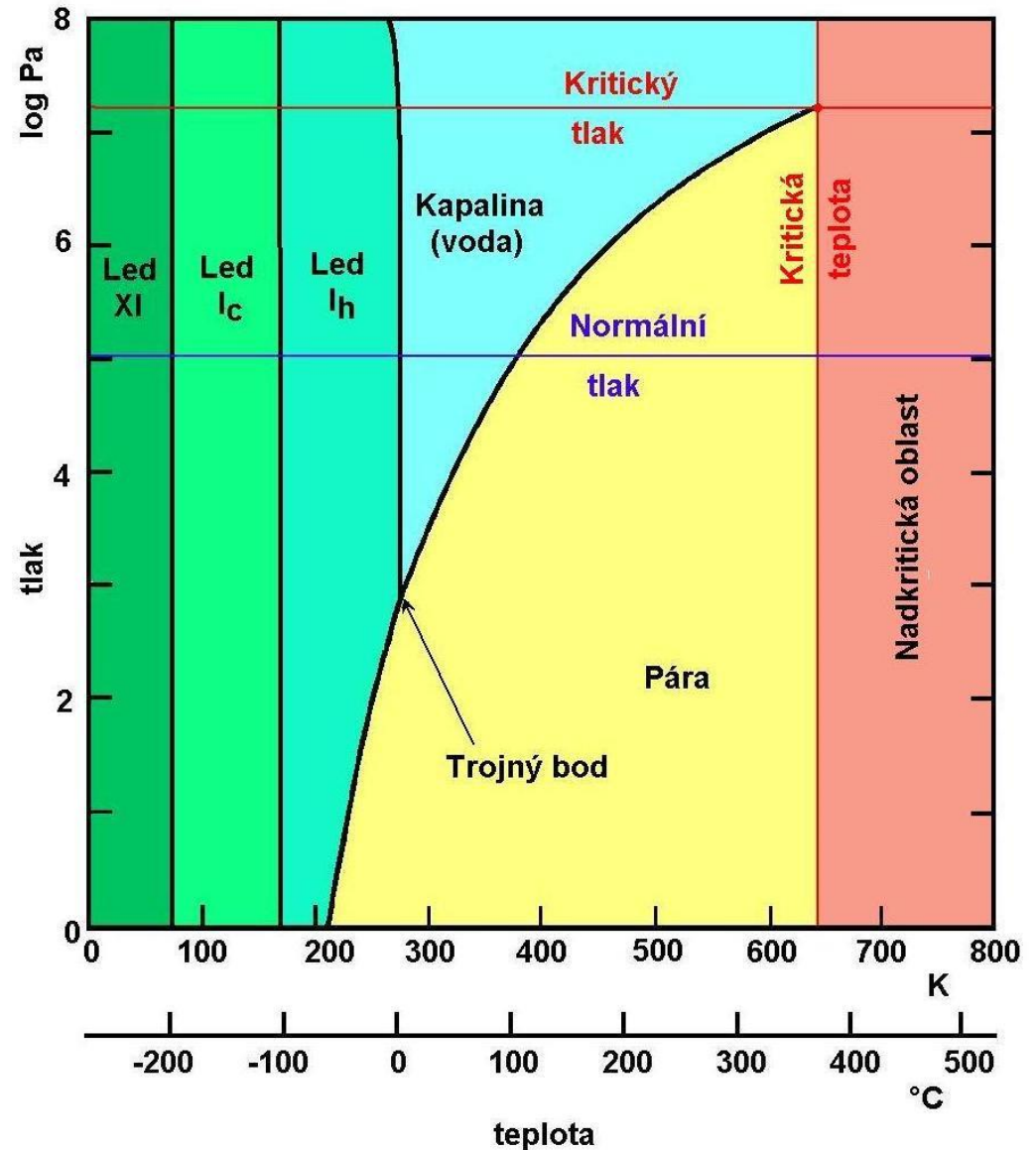
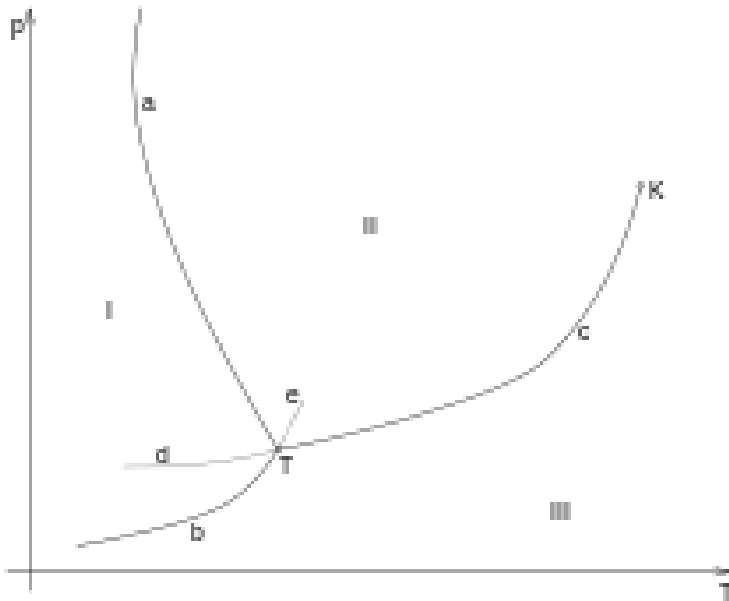


$$L_s = 2.83 \text{ MJ/kg}$$



Propustnost vodních par

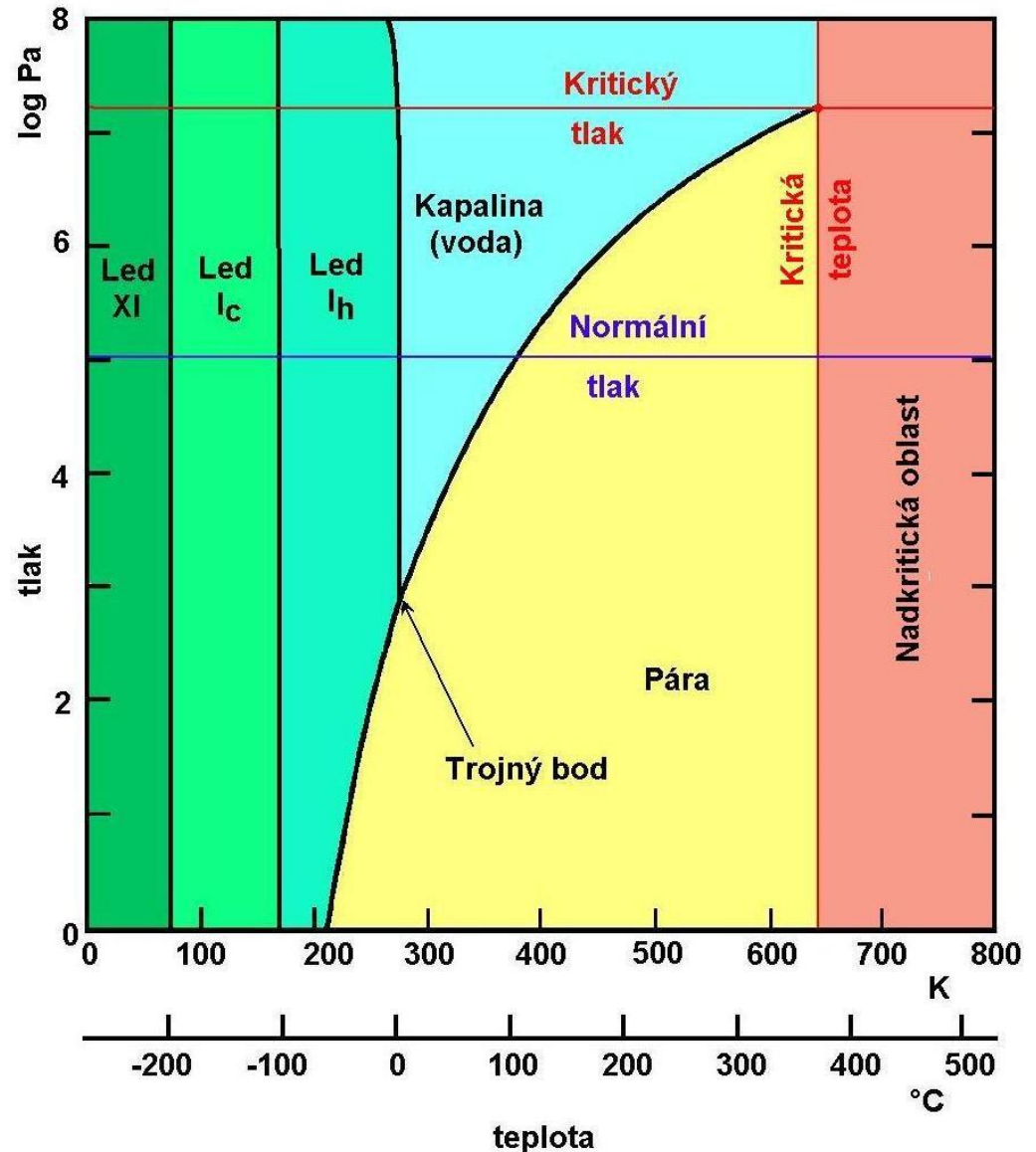
Fázový diagram



Propustnost vodních par

Kritický bod

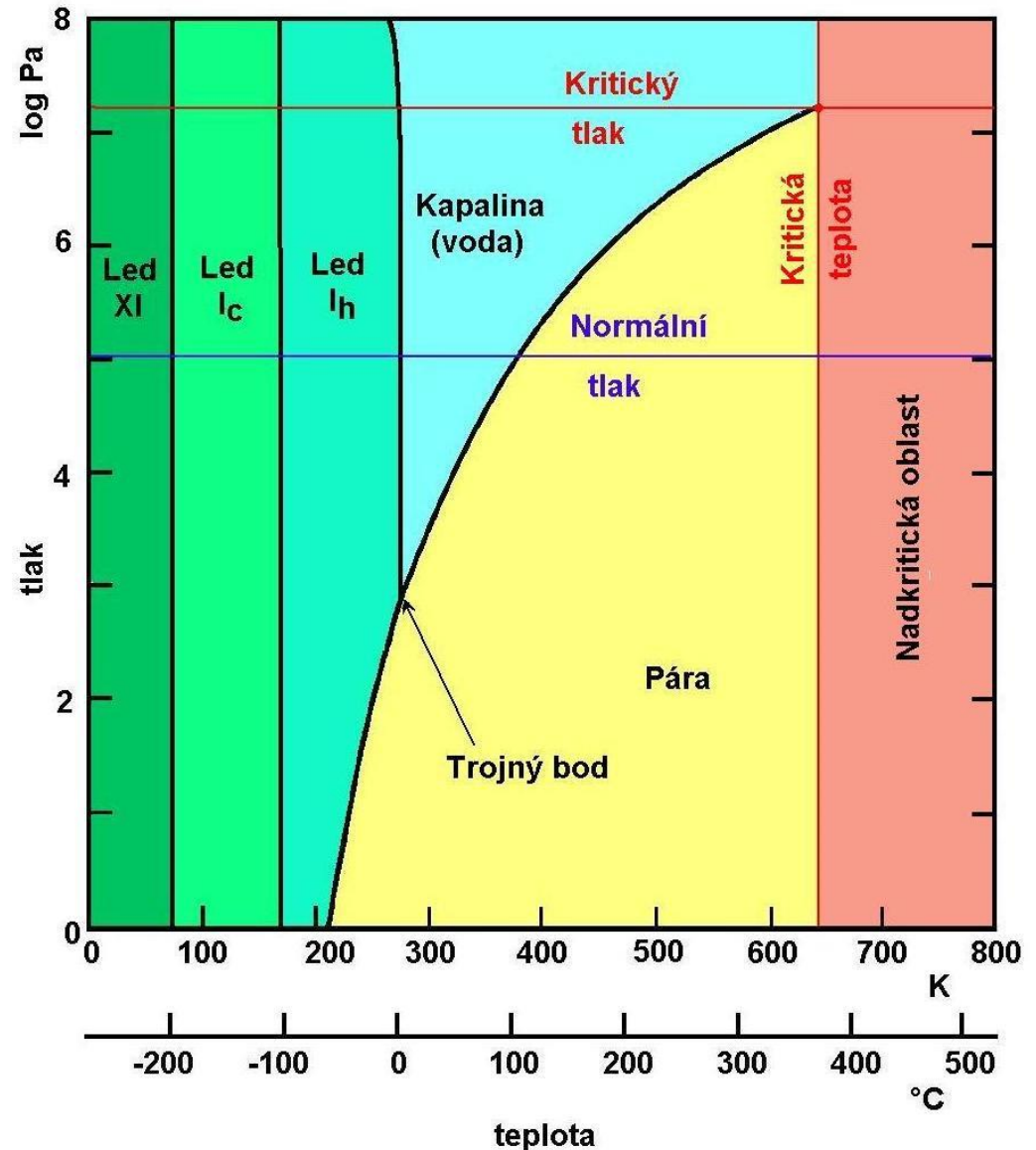
- kritická teplota - to je teplota, nad kterou nelze páru zkapalnit ani za libovolně vysokého tlaku
- daná látka pak existuje v tzv. superkritické fázi,
- chová se neobvykle - pohybuje se spíše jako plyn, ale rozpouští látky podobně jako kapalina.
- Kritická teplota pro vodu je 374 °C, superkriticky se začíná chovat nad danou teplotou při tlacích vyšších než 218 atmosfér.



Propustnost vodních par

Kritický bod

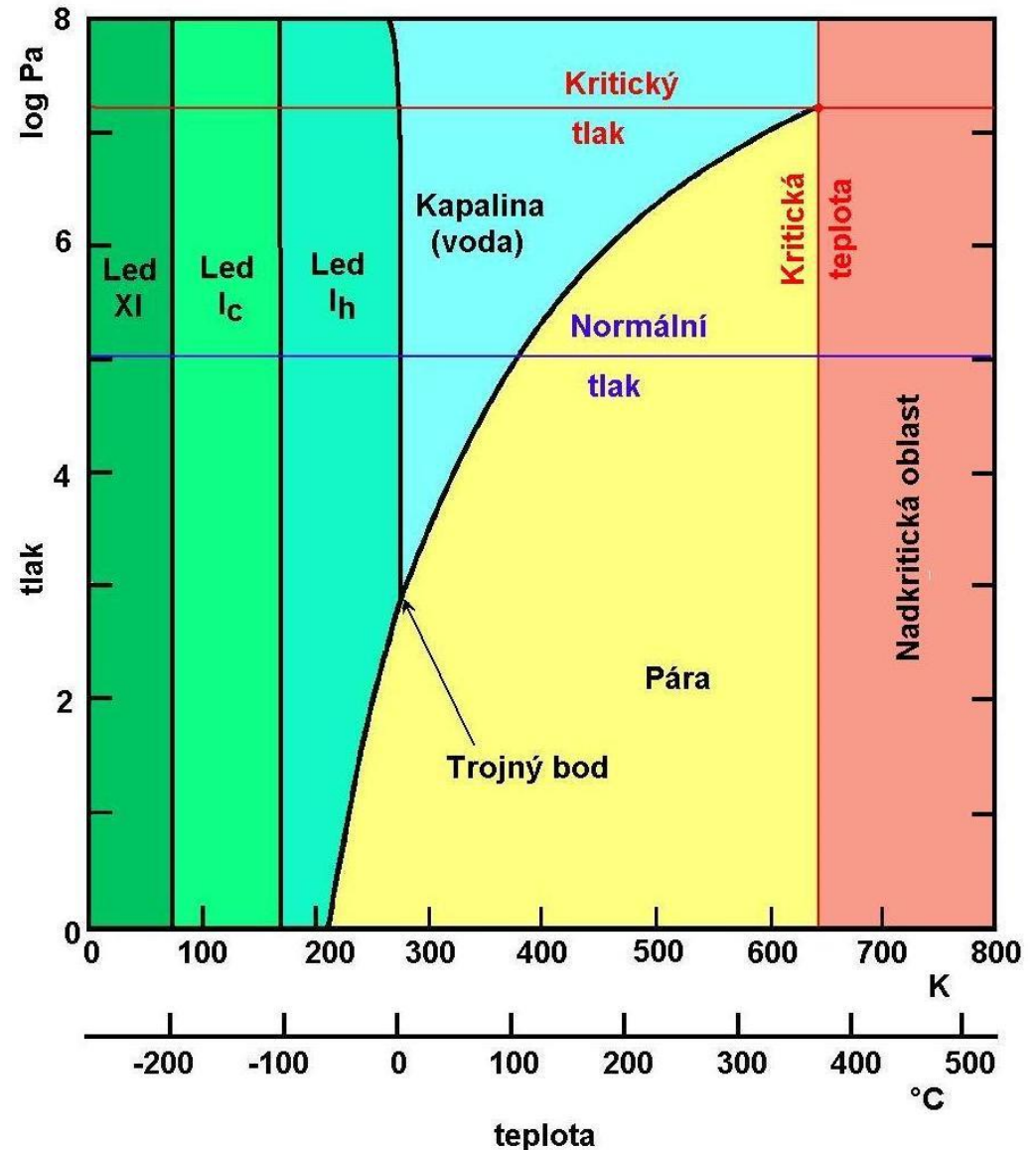
- V okolí kritického bodu se fyzikální vlastnosti kapaliny a páry dramaticky mění, přičemž obě fáze jsou stále podobnější. Například kapalná voda je za normálních podmínek téměř nestlačitelná, má nízký koeficient tepelné roztažnosti, má vysoký [dielektrická konstanta](#) a je vynikajícím rozpouštědlem pro elektrolyty.



Propustnost vodních par

Kritický bod

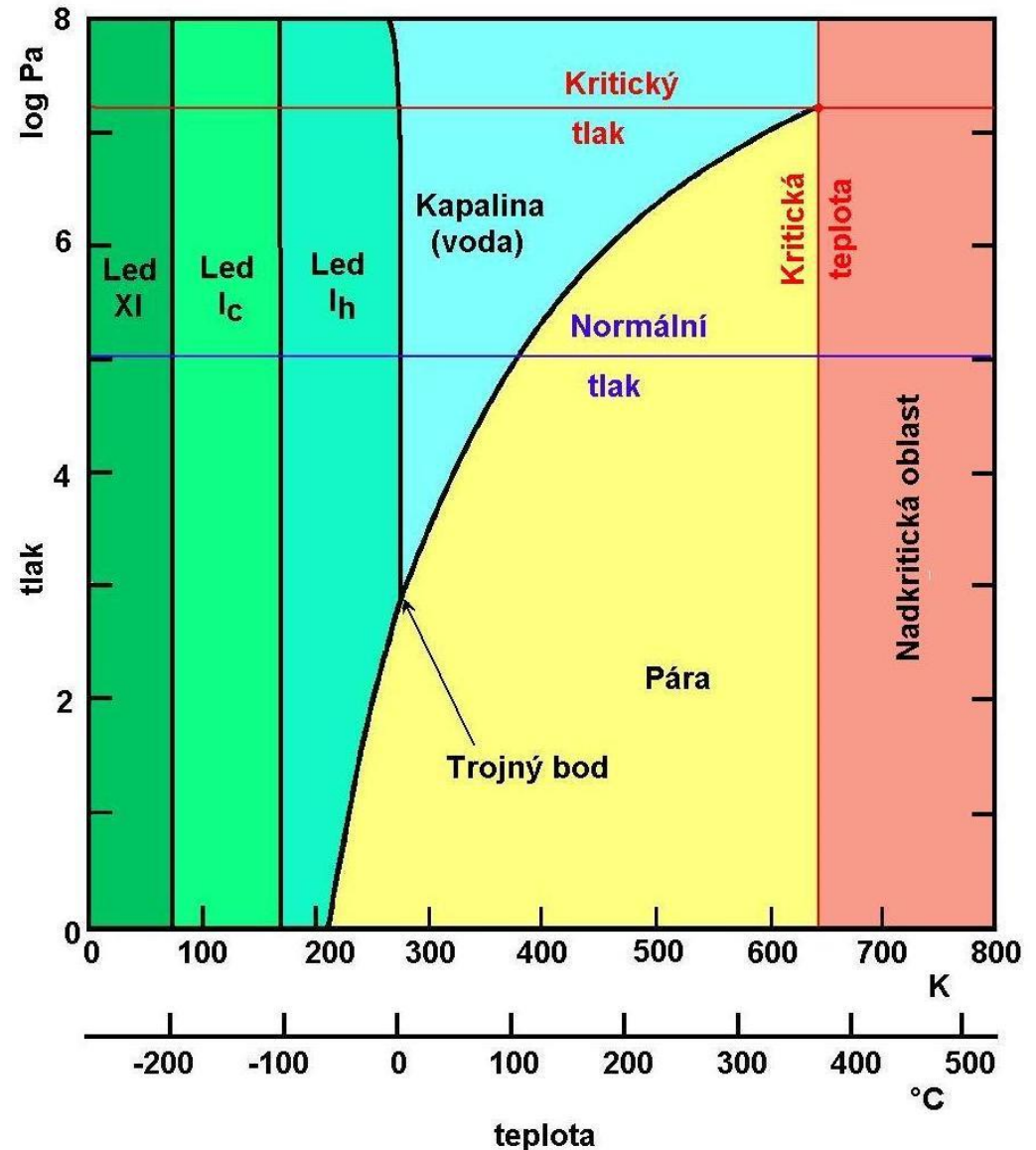
- Blízko kritického bodu se všechny tyto vlastnosti mění v pravý opak: voda se stává stlačitelnou, expandovatelnou, špatným dielektrikem, špatné rozpouštědlo pro elektrolyty, a raději se mísí s nepolárními plyny a organickými molekulami.^[3]



Propustnost vodních par

Kritický bod

- V kritický bod, existuje pouze jedna fáze. The [odpařovací teplo](#) je nula.
- Tady je [stacionární inflexní bod](#) v řádku konstantní teploty (*kritická izoterma*) na [FV diagram](#). To znamená, že v kritickém bodě: [\[4\]](#)[\[5\]](#)[\[6\]](#)



Tepelný odpor

R_{ct}

Tepelný odpor

R_{ct}

- **Odpor proti prostupu tepla vzorkem** při teplotě t_m jedné strany vzorku a při přenosu tepla konvekcí z jeho vnější strany do vzduchu o teplotě t_a
- Metoda není zcela přesná, platila by pouze pro hladký povrch.
- V praxi hladký obvykle není.

$$R_{ct} = (t_m - t_a) \cdot (1/q_v - 1/q_0) \quad [m^2 \cdot K/W]$$

Tepelný odpor

R_{ct}

- t_m teplota jedné strany vzorku (při přenosu tepla konvekcí z jeho vnější strany do vzduchu)
- t_a teplota okolního vzduchu
- q_0 tepelný tok, odpaření z volné vodní hladiny
- q_v tepelný tok, odpaření ze zakryté vodní hladiny

$$R_{ct} = (t_m - t_a) \cdot (1/q_v - 1/q_0) \quad [m^2 \cdot K/W]$$

Index propustnosti vodních par

i
mt

Index propustnosti vodních par

Poměr tepelné odolnosti k odolnosti vůči vodním parám

ČSN 832700

$$i_{mt} = S * (R_{ct} / R_{et}) \quad [-]$$

kde $S = 60 \text{ Pa/K}$ []

- $i_{mt} = 0$... materiál nepropouští vodní páru
- $i_{mt} = 1$ materiál má stejnou vlastnost vůči vodním parám jako stejně tlustá vzduchová vrstva

Normy

ČSN EN 31092 (80 0819): Textilie - Zjišťování fyziologických vlastností - Měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám.

ČSN EN 24920 (80 0827) : Textilie - Stanovení odolnosti plošných textilií vůči povrchovému smáčení (zkrápěcí metoda).

ČSN 80 0828: Plošné textilie - Stanovení savosti - Postup vzlínáním.

ČSN 80 0831: Savost plošných textilií - Stanovení nasákavosti.

ISO 9865, ČSN EN 29865 (80 0856): Textilie - Stanovení nepromokavosti plošných textilií Bundesmannovou zkouškou deštěm.

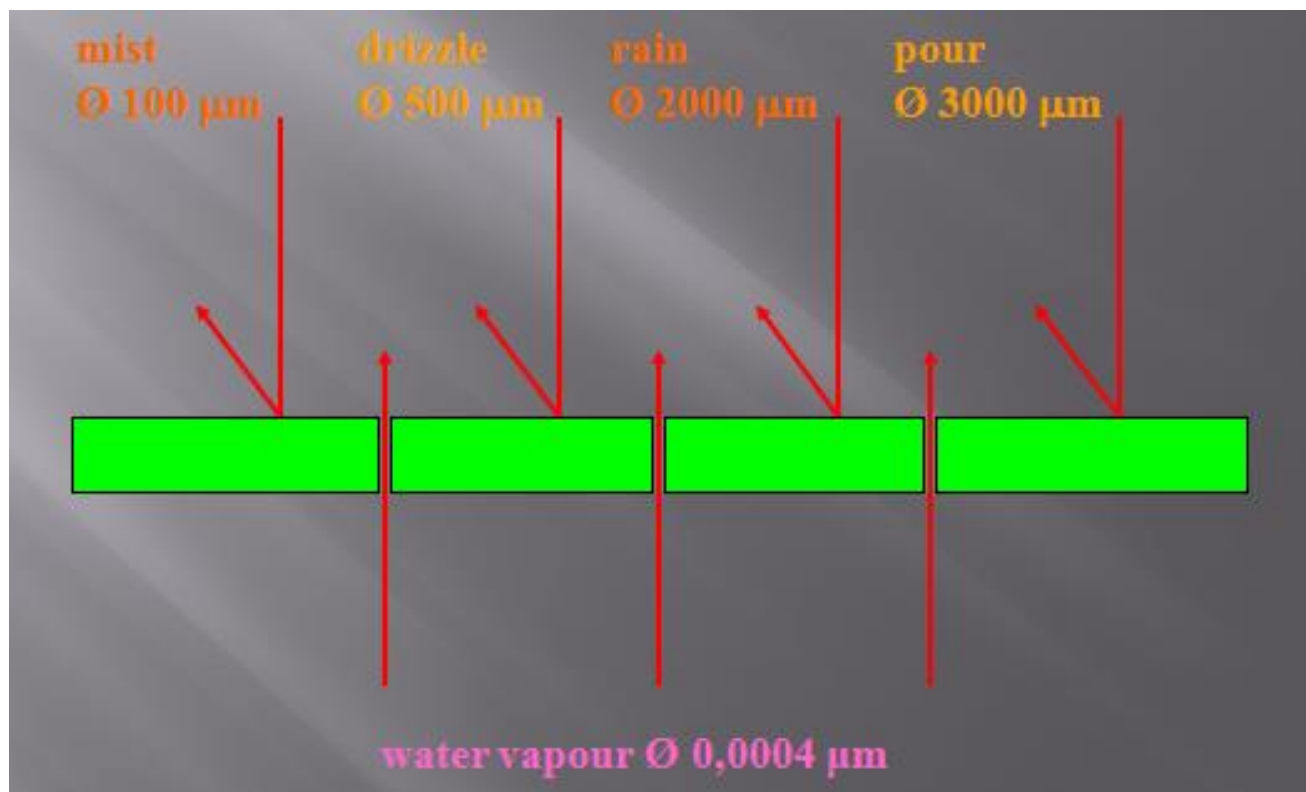
ČSN EN 20811 (80 0818): Textilie - Stanovení odolnosti proti pronikání vody - Zkouška tlakem vody.

ČSN EN 1734 (80 0857): Textilie povrstvené pryží nebo plasty - Zjišťování odolnosti proti pronikání vody.

AATCC 195 2011: Liquid moisture management properties of textile fabric

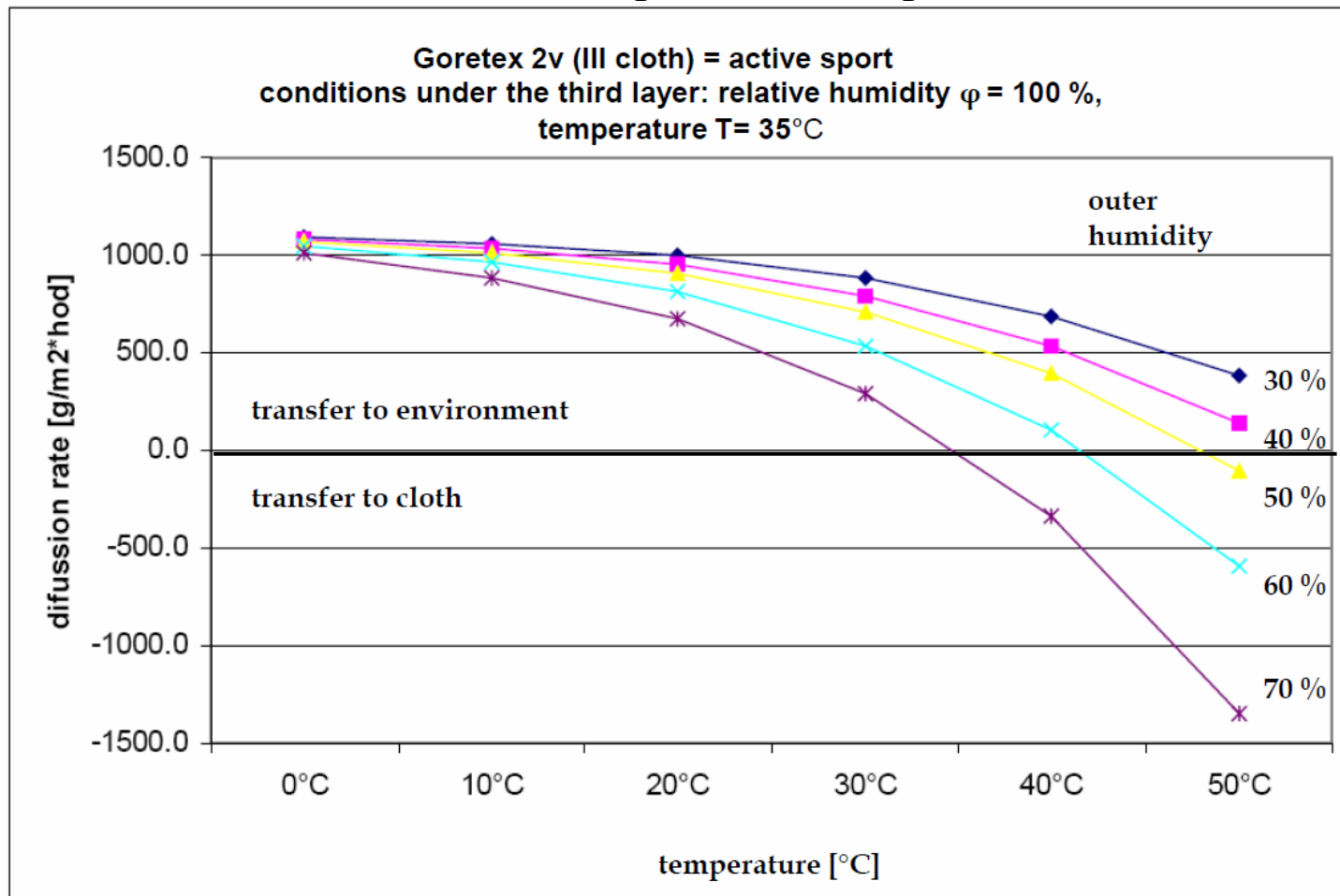
Bariérové textilie

Brání prostupu kapek vody ale umožňují přístup vodních par



The real possibilities of diffusion the water vapor by the barrier fabric.

Human skin: $T_1 = 35^\circ\text{C}$, $\rho_1 = 100\%$



Konec