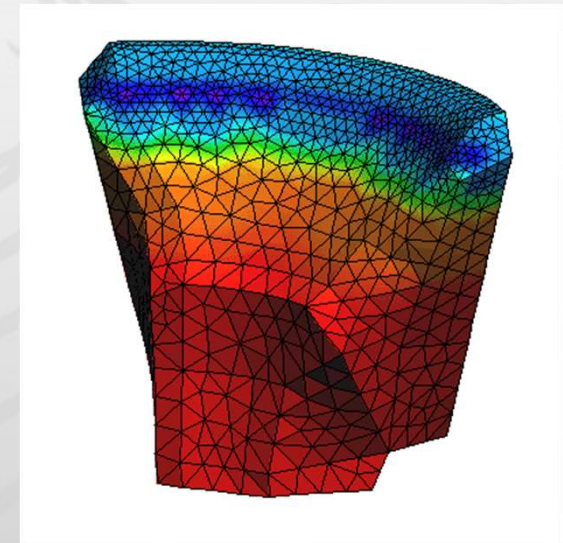
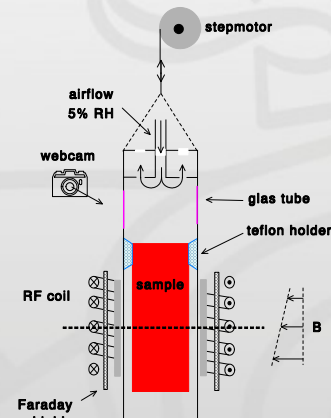
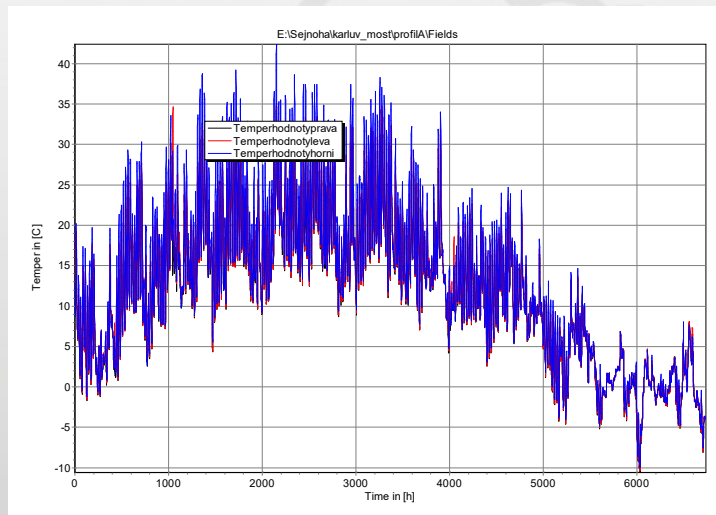


# Vliv prostředí na stavební materiály

2P + 2C



# Materiálové parametry



## Vliv prostředí na stavební materiály

### 4. Přednáška – Materiálové parametry

Základní vl.- hustota matrice, objemová hmotnost, otevřená pórovitost, porozimetrická křivka

Tepelné vl. - měrná tepelná kapacita, objemová tepelná kapacita, součinitel tepelné vodivosti

Vlhkostní vl. - absorpční koeficient, sorpční izoterma, retenční křivka, faktor difúzního odporu vodní páry, součinitel vlhkostní vodivosti

Chemické vl. – vazební izoterma, součinitel difúze solí

Mechanické vl. - pevnost v tlaku, pevnost v tahu za ohybu, modul pružnosti v tahu za ohybu a další charakteristiky

Elektrické vl. – měrná elektrická vodivost, měrný elektrický odpor



## Vliv prostředí na stavební materiály

### 4. Přednáška – Materiálové parametry

Základní vl.- hustota matrice, objemová hmotnost, otevřená pórovitost, porozimetrická křivka

Pórovitost nedává ucelenou informaci o porézní struktuře materiálu -> proto se používají různé metody pro stanovení objemového zastoupení pórů o dané velikosti.

- **rtuťová porozimetrie** – standardní stanovení množství pórů v materiálech
- **plynová porozimetrie** – např. hélium, dusík. Stanovení množství velmi malých pórů – navazuje zleva na křivku ze rtuťové porozimetrie
- **optická porozimetrie** – Stanovení množství velkých pórů – navazuje zprava na křivku ze rtuťové porozimetrie

Výstup – několik typů křivek

- kumulativní křivka
- distribuční křivka
- frekvenční křivka

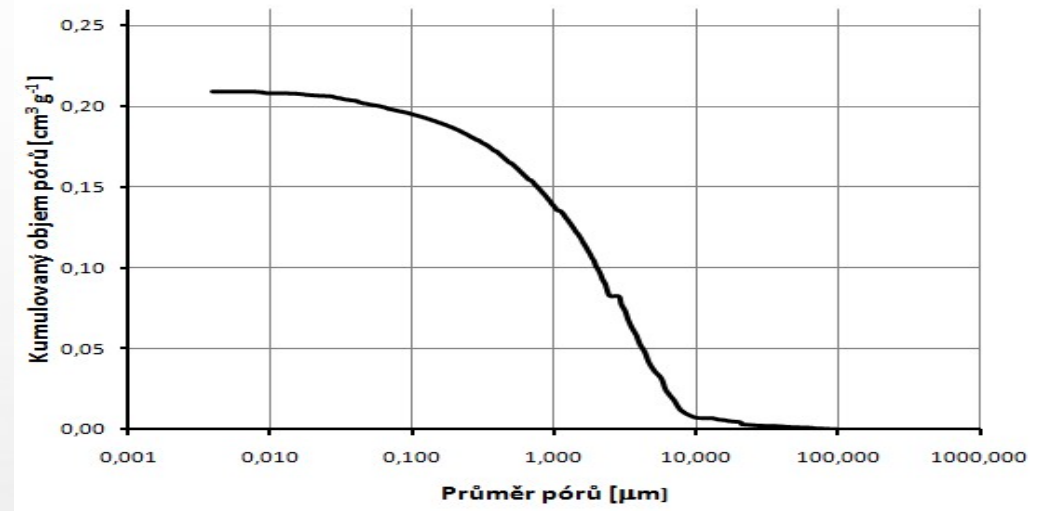


## Vliv prostředí na stavební materiály

### 4. Přednáška – Materiálové parametry

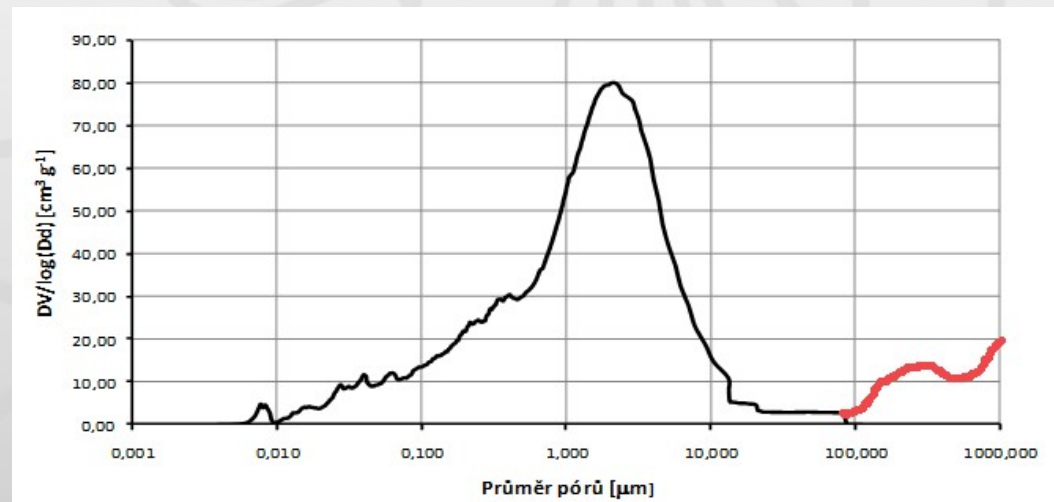
Cihla

Kumulativní křivka



Distribuční křivka

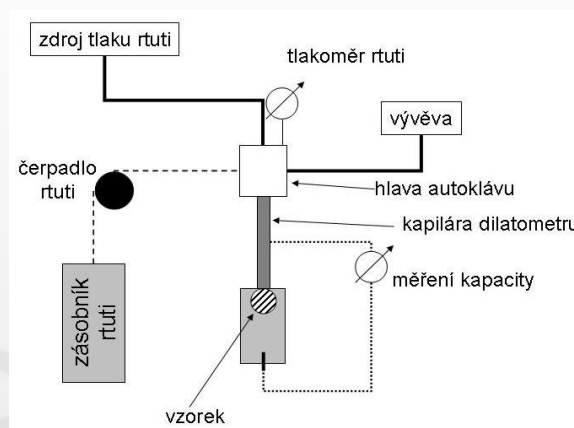
- rtuťová porozimetrie
- plynová por.
- optická por.



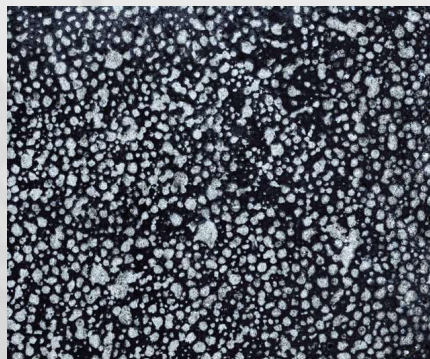


## Vliv prostředí na stavební materiály 4. Přednáška – Materiálové parametry

Základní vl.- hustota matrice, objemová hmotnost, otevřená pórovitost,  
porozimetrická křivka



*Schéma rtuťového porozimetru*



**Pórobeton P4-500**



*Rtuťový porozimetr Pascal*





## Vliv prostředí na stavební materiály

### 4. Přednáška – Materiálové parametry

Vlhkostní vlastnosti - sorpční izoterma, retenční křivka, faktor difúzního odporu vodní páry, absorpční koeficient, součinitel vlhkostní vodivosti

Vlhkost – transport vodní páry vs vody (kapalná vlhkost)

Způsob vyjádření obsahu vlhkosti v materiálu

$u$  [kg/kg] – hmotnostní vlhkost

$w$  [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>] – objemová vlhkost

[kg/m<sup>3</sup>] – vyjádření  $w_{\text{sat}}$ ,  $w_{\text{cap}}$





## Vliv prostředí na stavební materiály

### 4. Přednáška – Materiálové parametry

#### Vodní pára

Ve vzduchu obsažená vodní pára samovolně difunduje do míst s nižším parciálním tlakem až do vyrovnání parciálních tlaků

Hmotnostní tok vodní páry je úměrný gradientu parciálního tlaku.

$$J = -\delta \cdot \text{grad} p$$

Konstanta úměrnosti – **součinitel difúzní vodivosti** – schopnost látky propouštět vodní páru difúzí.

#### ABSOLUTNÍ x RELATIVNÍ VLHKOST

**Absolutní vlhkost** – hmotnost vodní páry [g] v 1 m<sup>3</sup> vzduchu.

$$\Phi = \frac{m}{V} [g \cdot m^{-3}]$$

**Relativní vlhkost** – 
$$\varphi = \frac{\Phi}{\Phi_{\max}} \cdot 100[\%]$$

poměr absolutní vlhkosti vzduchu a absolutní vlhkosti vzduchu, který by byl při téže teplotě plně nasycen vodními parami. Relativní vlhkost vzduchu udává míru nasycení vodních par.



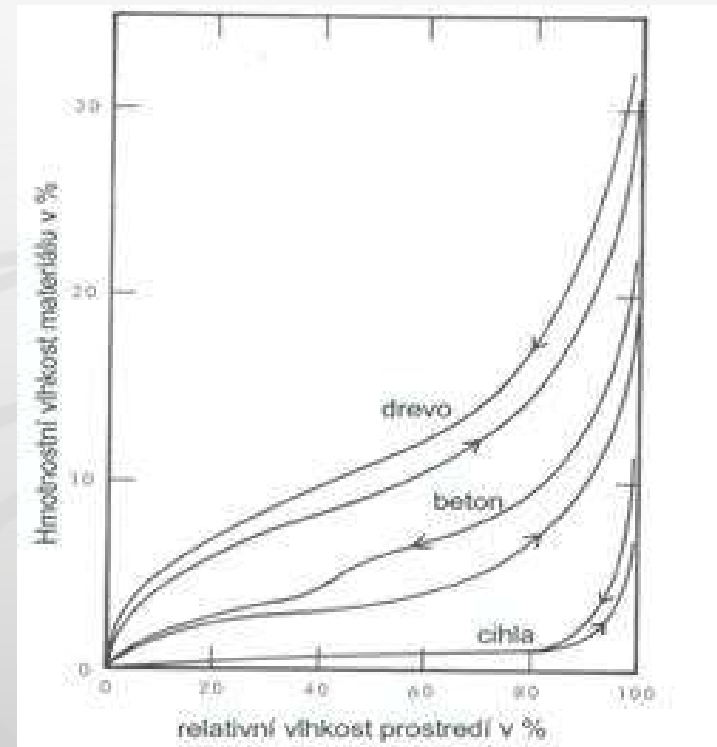
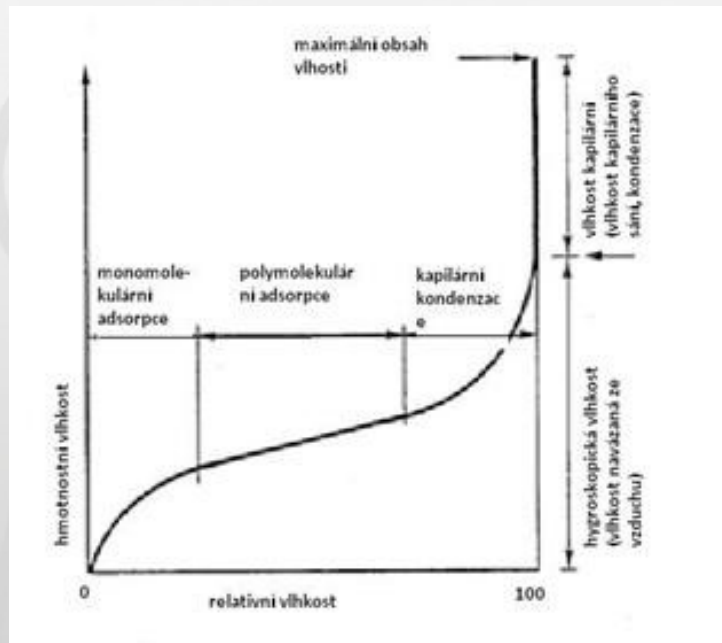
## Vliv prostředí na stavební materiály

### 4. Přednáška – Materiálové parametry

#### Vodní pára - SORPČNÍ IZOTERMA

-Plynná vlhkost se v porézním prostředí adsorbuje na stěnách pórů v jedné monovrstvě, následně v polyvrstvách a nakonec kondenzuje v kapalnou vodu.

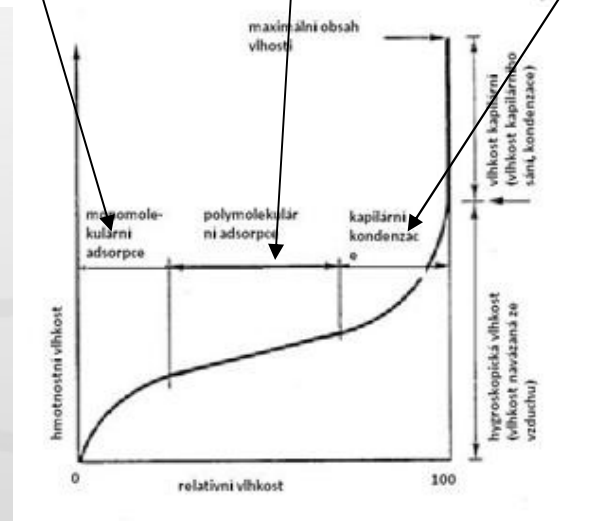
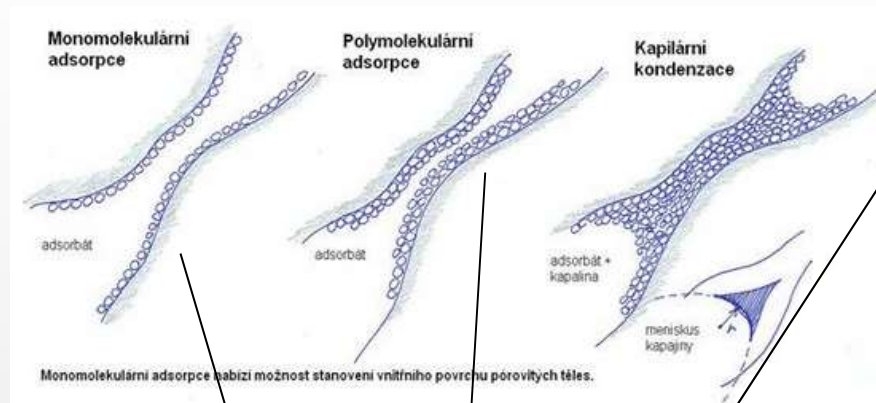
-Schopnost adsorpce vodní páry v závislosti na relativní vlhkosti RH [%] resp. parciálním tlaku vodní páry [Pa] je popsána sorpční izotermou



# Vliv prostředí na stavební materiály

## 4. Přednáška – Materiálové parametry

### Vodní pára - SORPČNÍ IZOTERMA



## Vliv prostředí na stavební materiály

### 4. Přednáška – Materiálové parametry

#### Vodní pára - SORPČNÍ IZOTERMA

Experimentální uspořádání  
pro automatické měření  
sorptivity

přístroj DVS Advantage 2



Měření sorpčních izoterm  
exsikátorovou metodou

### Vodní pára – Retenční křivka

Experimentální uspořádání  
pro měření retenční křivky





## Vliv prostředí na stavební materiály

### 4. Přednáška – Materiálové parametry

#### Vodní pára – součinitel difúzní vodivosti

Měření součinitele difúze vodní páry **metodou bez teplotního spádu** – je třeba zajistit stálou teplotu a relativní vlhkosti nad a pod vzorkem.

Měření difúzního toku vodní páry prošlé vzorkem při znalosti parciálních tlaků vodní páry pod a nad měrným povrchem vzorku.

#### Wet cup

- Pod vzorkem nasycená vodní pára(voda), nad vzorkem definované prostředí v klimatické komoře – transport vodní páry z misky do okolního prostředí = úbytky hmotnosti

#### Dry cup

- Pod vzorkem suché prostředí (silikagel), nad vzorkem definované prostředí v klimatické komoře – transport vodní páry z okolního prostředí do misky = přírůstky hmotnosti





## Vliv prostředí na stavební materiály

### 4. Přednáška – Materiálové parametry

Vodní pára – součinitel difúzní vodivosti

$$\delta = \frac{\Delta m \cdot d}{S \cdot \tau \cdot \Delta p_p}$$

$\Delta m$  – množství prodifundované páry vzorkem za čas  $\tau$  [kg],

$d$  – tloušťka vzorku [m]

$S$  – měrná plocha vzorku [m<sup>2</sup>]

$\tau$  – časové období korespondující s transportem hmoty vodní páry  $\Delta m$  [s]

$\Delta p_p$  – rozdíl parciálních tlaků vodní páry ve vzduchu nad a pod měrným povrchem vzorku [Pa]

Vodní pára – součinitel difúze vodní páry

$$D = \delta RT / M \quad [\text{m}^2 \text{s}^{-1}]$$

$\delta$  – součinitel difúzní vodivosti [s]

$R$  – univerzální plynová konstanta = 8,314 J mol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>

$T$  – termodynamická teplota [K]

$M$  – molární hmotnost vody = 0,018 kg mol<sup>-1</sup> ·     2H – 0,002 kg mol<sup>-1</sup>    O – 0,016 kg mol<sup>-1</sup>

Faktor difúzního odporu

$$\mu = D_a / D \quad [-]$$

$D$  – součinitel difúze vodní páry v látce, materiálu

$D_a = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  součinitel difúze vodní páry ve vzduchu

Odpor, který klade materiál při transportu vodní páry oproti suchému vzduchu.

**Minimální hodnota** = 1 (vzduch)

**Ostatní látky a materiály** > 1 (kladou vždy nějaký odpor, čím vyšší hodnota, tím větší odpor, tím méně propustné pro vodní páru)





## Vliv prostředí na stavební materiály 4. Přednáška – Materiálové parametry

### Kapalná vlhkost

Transport vody je vyjádřen diferenciální rovnicí

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \operatorname{div}(\kappa \cdot \operatorname{gradu})$$

konstanta úměrnosti –  $\kappa$  ( $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ) – **součinitel vlhkostní vodivosti**

- **Metodou vertikální nasákavosti**
- **Metodou horizontální nasákavosti**



## Vliv prostředí na stavební materiály 4. Přednáška – Materiálové parametry

### Kapalná vlhkost - Metodou vertikální nasákavosti

Měření součinitele vlhkostní vodivosti  $\kappa$  – vliv gravitace.

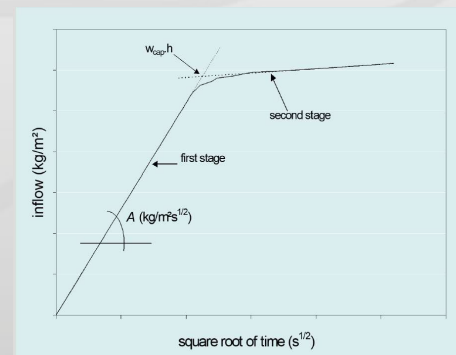
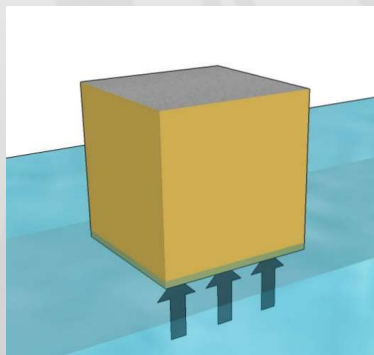
$$\text{Průměrná hodnota: } \kappa = D_w \approx \left( \frac{A}{w_{cap}} \right)^2 [\text{m}^2\text{s}^{-1}]$$

$A$  absorpční koeficient vody [ $\text{kg m}^{-2}\text{s}^{-1/2}$ ]

$w_{cap}$  kapilární obsah nasycené vlhkosti [ $\text{kg m}^{-3}$ ]

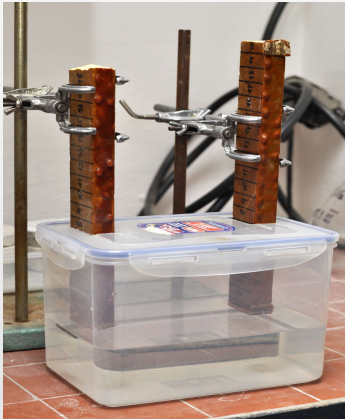
Absorpční koeficient vody  $A$  se určuje z přímkové počáteční závislosti kumulativního obsahu vody v materiálu [ $\text{kg m}^{-2}$ ] na odmocnině z času [ $\text{s}^{1/2}$ ].

$$w_{cap} = \frac{m_{cap} - m_0}{V} [\text{kg} / \text{m}^3]$$



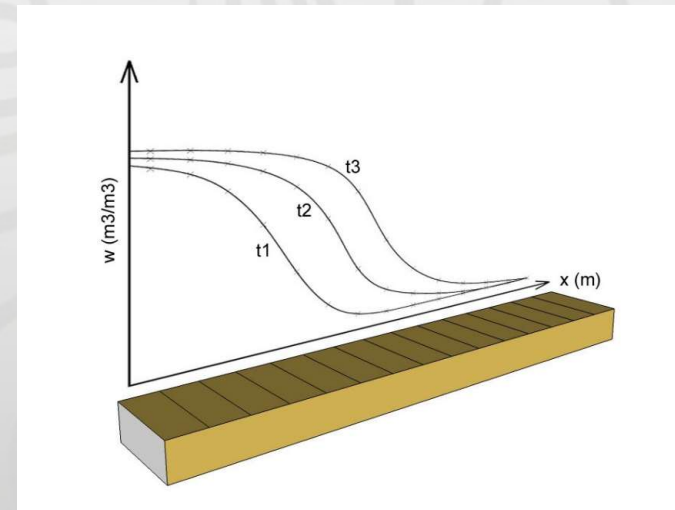
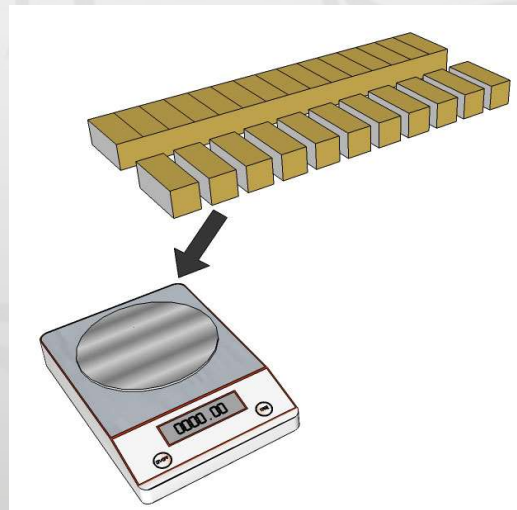
#### Kapalná vlhkost - Metodou horizontální nasákavosti

Vzorek je po stranách zaizolován voděnepropustným materiálem a čelní strana je vystavena vodě – dochází k jejímu transportu. Po daných časových obdobích je vzorek rozřezán na části (o délce 1-2 cm) a v nich je gravimetricky stanoven obsah vody. Na základě tohoto měření je možné definovat vlhkostní profil ve vzorku potřebný pro výpočet součinitele vlhkostní vodivosti.



-Stanovení profilů vlhkosti pro různé doby trvání sorpčního experimentu

-Boltzmannova transformace = spojení křivek ( $t_1, t_2, t_3$ ). Nová křivka (osa  $x$ ) –  $x/\sqrt{t}$



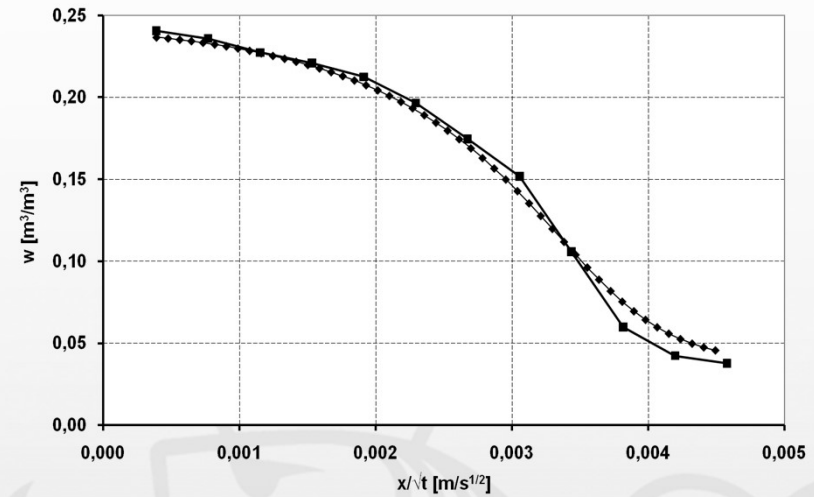


# Vliv prostředí na stavební materiály

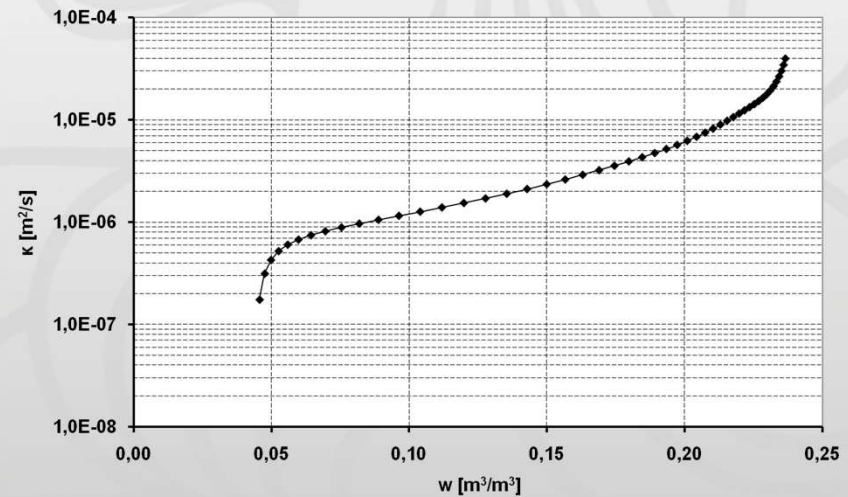
## 4. Přednáška – Materiálové parametry

### Kapalná vlhkost - Metodou horizontální nasákavosti

Profil vlhkosti



Modelování:  
Inverzní analýza



Závislost  $\kappa/w$



## Vliv prostředí na stavební materiály

### 4. Přednáška – Materiálové parametry

Tepelné vl. - měrná tepelná kapacita, objemová tepelná kapacita,  
součinitel tepelné vodivosti

#### Měření součinitele tepelné vodivosti

**-Stacionární metody** – měří součinitel tepelné vodivosti při ustáleném teplotním poli = přesná, časově náročná měření (hodiny, dny).

Vhodné pro laboratorní měření.  
Bokův přístroj

**-Nestacionární metody** – měření probíhá v neustáleném teplotním poli = méně přesná, rychlá měření (minuty, desítky minut)

Vhodné pro měření in-situ a rychlá laboratorní měření.  
Metoda hot-wire, hot-ball, hot-disk



## Vliv prostředí na stavební materiály

### 4. Přednáška – Materiálové parametry

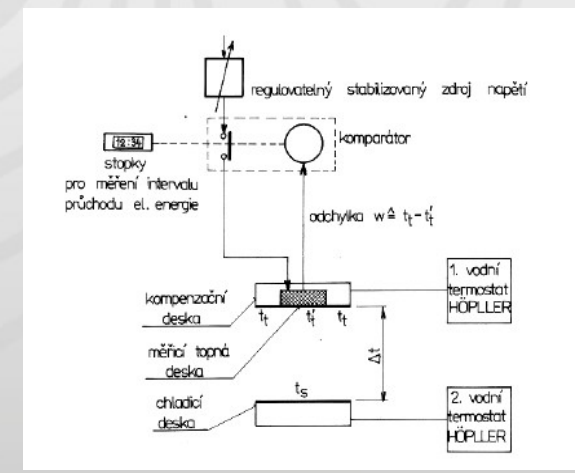
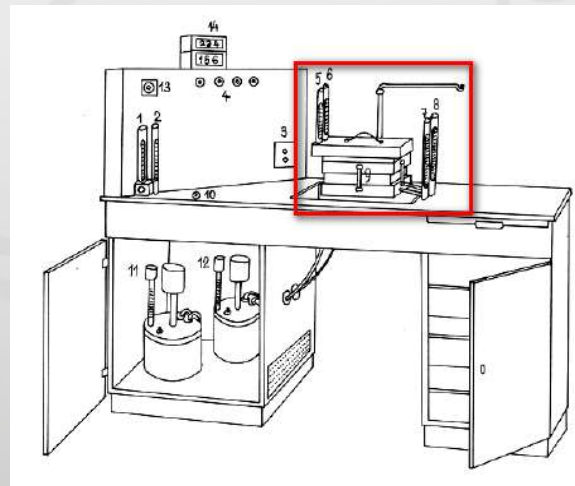
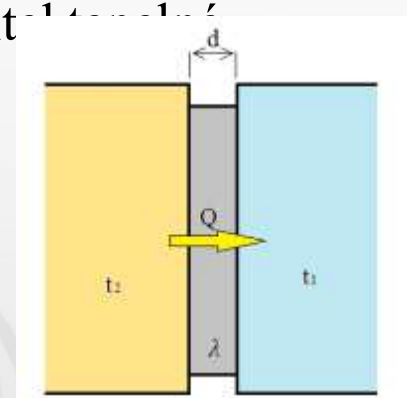
Tepelné vl. - měrná tepelná kapacita, objemová tepelná kapacita, součinitel tepelné vodivosti

#### Stacionární metody – Bokův přístroj

- dvě desky – jedna vyhřívaná, druhá chlazená
- po ustálení (hodiny, dny) se stanoví součinitel vodivosti:

$$\text{grad } t = \frac{t_2 - t_1}{d}$$

$$Q = \lambda \cdot S \frac{t_2 - t_1}{d} \cdot \tau \quad [J]$$





## Vliv prostředí na stavební materiály

### 4. Přednáška – Materiálové parametry

Tepelné vl. - měrná tepelná kapacita, objemová tepelná kapacita,  
součinitel tepelné vodivosti

#### Nestacionární metody – hot-wire

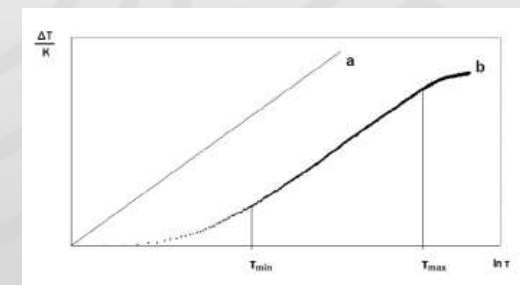
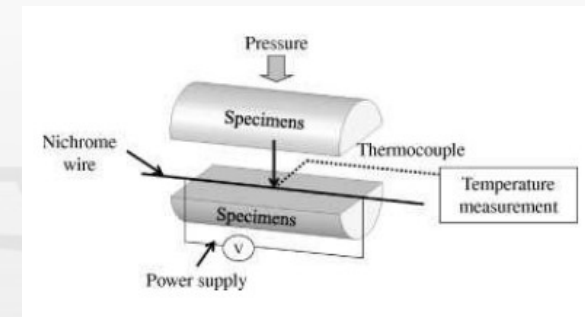
- Vyhříváný drátek a termočlánek,  $q$  [W/m]

$$\Delta T(r, t) \approx \frac{q}{4\pi\lambda} \left[ -\Gamma - \ln\left(\frac{r^2}{4at}\right) \right] = \frac{q}{4\pi\lambda} \ln t + \text{const}$$

$$\lambda = \frac{q}{4\pi \text{slope}}$$

- slope [ln (K/s)] = [K]

Teplotní pole



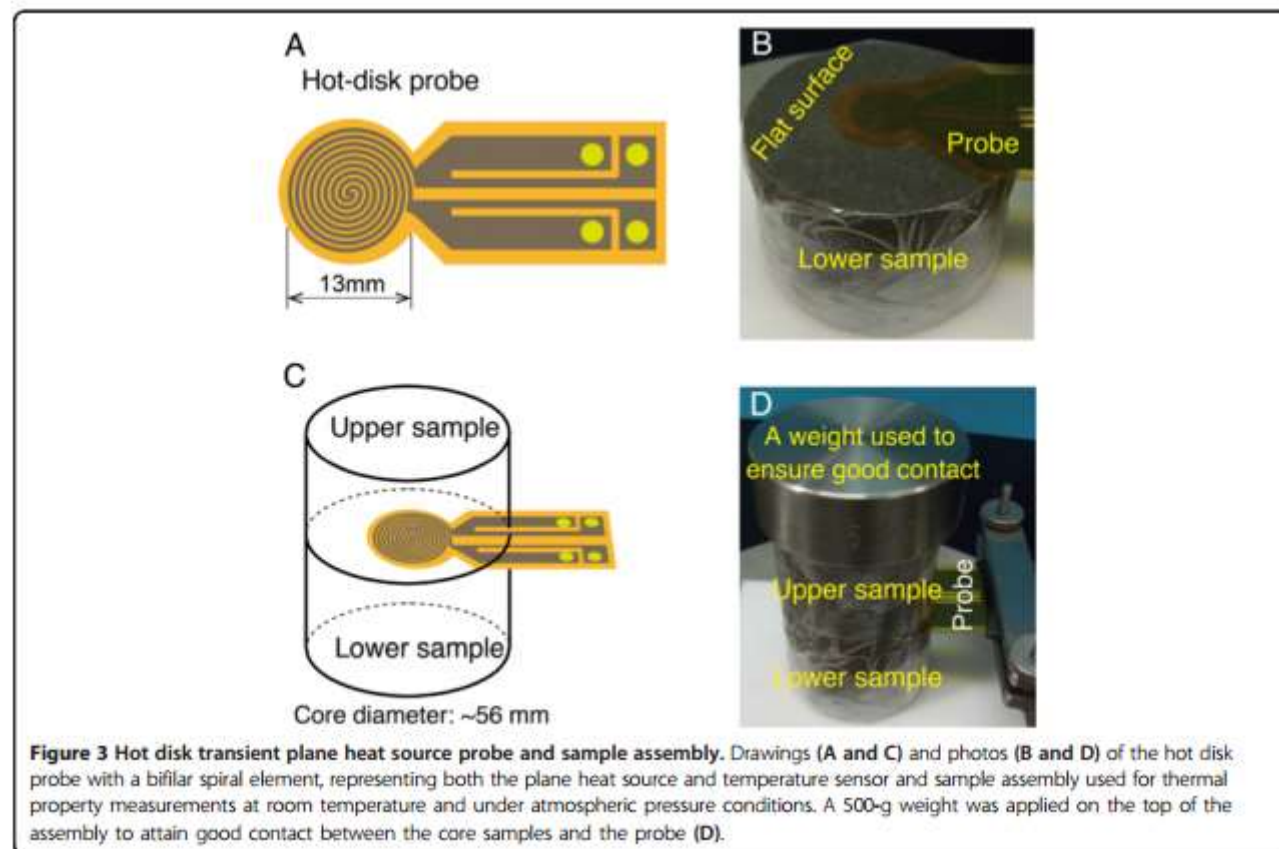
## Vliv prostředí na stavební materiály

### 4. Přednáška – Materiálové parametry

Tepelné vl. - měrná tepelná kapacita, objemová tepelná kapacita,  
součinitel tepelné vodivosti

### Nestacionární metody – hot-disk

- Vyhřívavý drátek a termočlánek,  $q$  [W/m]





## Vliv prostředí na stavební materiály

### 4. Přednáška – Materiálové parametry

Tepelné vl. - měrná tepelná kapacita, objemová tepelná kapacita,  
součinitel tepelné vodivosti

#### **Isomet 2104**

Laboratorní měřicí přístroj (hot-disk) určený k přímému měření  
součinitele tepelné vodivosti, objemové tepelné kapacity a  
součinitele teplotní vodivosti.



#### **Rozsah přístroje pro měřené veličiny**

Součinitel tepelné vodivosti	$[\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}]$	0,015 - 6
Měrná objemová tepelná kapacita	$[\text{J m}^{-3}\text{K}^{-1}]$	$4,0 \cdot 10^4 - 4 \cdot 10^6$
Teplota	$[\text{°C}]$	-20 - +70

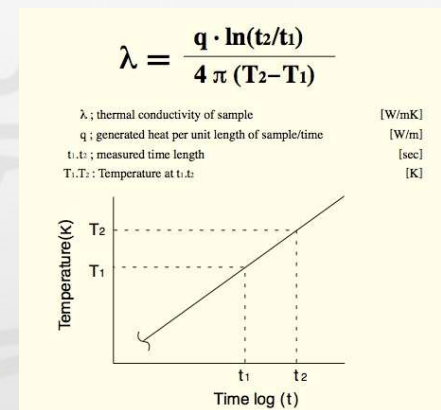


## Vliv prostředí na stavební materiály 4. Přednáška – Materiálové parametry

Tepelné vl. - měrná tepelná kapacita, objemová tepelná kapacita,  
součinitel tepelné vodivosti

### Quick Thermal Conductivity Meter [QTM-500]

Laboratorní měřicí přístroj určený k přímému měření  
součinitele tepelné vodivosti



### Rozsah přístroje pro měřené veličiny

Součinitel tepelné vodivosti	[W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0.023 – 12.0
Průměrný čas měření	[s]	60
Teplota	[°C]	-10 - +200°C

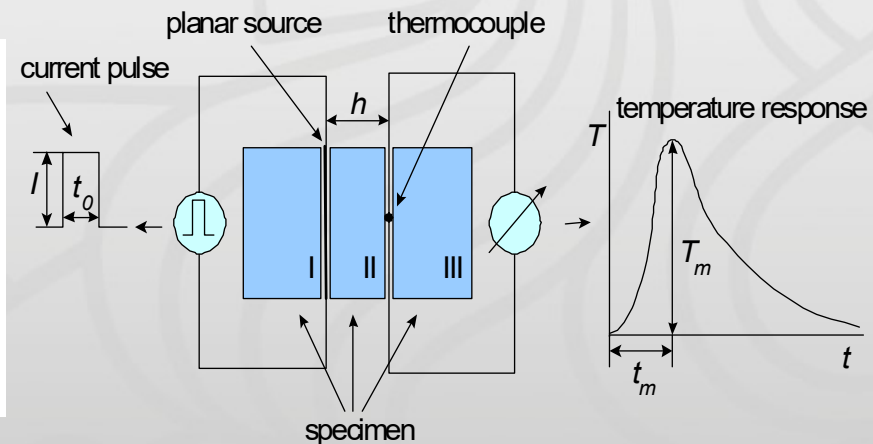
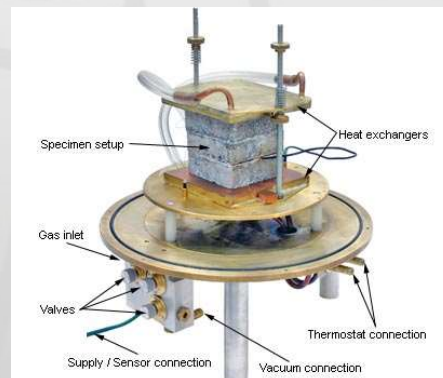
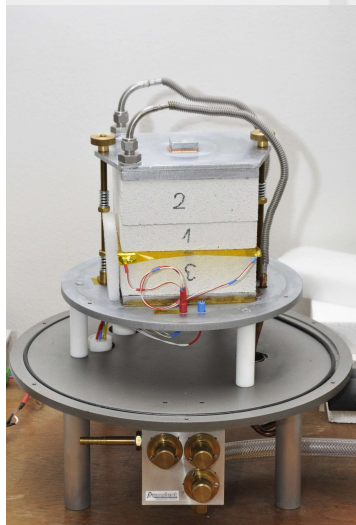
## Vliv prostředí na stavební materiály

### 4. Přednáška – Materiálové parametry

Tepelné vl. - měrná tepelná kapacita, objemová tepelná kapacita, součinitel tepelné vodivosti

### Thermophysical Tester RTB – Tranzientní metoda

Tepelný impuls uvnitř vzorku generuje dynamické teplotní pole. Z parametrů odezvy teploty (obvykle časového  $t_m$  a velikosti teploty reakce  $T_m$ ) tepelného impulsu je možné stanovit měrnou tepelnou kapacitu, součinitel teplotní vodivosti a součinitel tepelné vodivosti.





## Vliv prostředí na stavební materiály

### 4. Přednáška – Materiálové parametry

Tepelné vl. - měrná tepelná kapacita, objemová tepelná kapacita,  
součinitel tepelné vodivosti

#### Měrná tepelná kapacita

vyjadřuje množství tepla potřebného k ohřátí 1 kg látky, tj. akumulční vlastnosti kg daného materiálu

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{C}{m}$$

- Voda je v porovnání s jinými látkami schopna akumulovat velké množství tepla

Látka	$c \left[ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \right]$
voda	4 180
vzduch (0°C)	1 003
ethanol	2 430
led	2 090
olej	2 000
absolutně suché dřevo (0°C)	1 450
železo	450
měď	383
zinek	385
hliník	896
platina	133
olovo	129
kyslík	917
cín	227
křemík	703
zlato	129
stříbro	235





**ČVUT**  
ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

# Vliv prostředí na stavební materiály

## 4. Přednáška – Materiálové parametry

# Materiálové charakteristiky

Elektrické vl. – měrná elektrická vodivost, měrný elektrický odpor



Multimetr



Zdroj napětí



# Vliv prostředí na stavební materiály

## 4. Přednáška – Materiálové parametry



Další webové aplikace K123

**Databasis materiálů**  
Katedra materiálového inženýrství a chemie

Materiály    Ohlásit    Uživatel: madera@fsv.cvut.cz

Vyberte kategorii: **Cihly**

Vyberte materiál: **Cihla historická**

Vybrat    Základní import    Komplexní import

**Naměřené charakteristiky pro materiál: Cihla historická**

Přidat obrázky

**Kategorie:** Cihly  
**Vloženo:** Zbyšek Pavlík  
**Komentáře:**  
Komentovat materiál

Název materiálu: Cihla historická    Kód materiálu:    Kategorie materiálu: C  
Popis materiálu český: Cihla s produkce cihelny Holešov - Žopa    Popis složení český: silně nehomogenní materiál proměnlivé barvy a struktury    Reference: Pavlík, Z. - Málulka, J. - Černý, R.    Experimental monitoring o: transefer across interface: masonry    In: Structural Faults and ngis gh.

**Minerální vlna hydrofilní - hard - ref.**  
Tomáš Korecký, 2014-06-11 10:03:29

**součinitel vlhkostní vodivosti [m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>] jako funkce veličiny objemový obsah vlhkosti [m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>]**

**faktor difúzního odporu vodní páry - μ [-]**

**8.1.1**  Přidat k exportu Vybrat / nahradit citaci (Článek)  
Komentovat | Odsouhlasit

**8.1.2**  Přidat k exportu Vybrat / nahradit citaci (Článek)  
Komentovat | Odsouhlasit

Přidat hodnotu

**součinitel difúze soli - D [m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>]**

Přidat hodnotu

**měrná tepelná kapacita - c [J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]**

Přidat hodnotu

**měrná tepelná kapacita [J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>] jako funkce veličiny objemový obsah vlhkosti [m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>]**

**Měření nebylo doposud schváleno...**

Naměřil: Tomáš Korecký 11.06.2014 07:21:09, Měření číslo: 3011 [Odsouhlasit](#) [Komentovat](#) [Graf \(v novém okně\)](#)  Přidat k exportu

objemový obsah vlhkosti [m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]	měrná tepelná kapacita [J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
0	811
0.93	3420.16893707056
0.93	3700.46036603437

**Komentáře:**  
Tomáš Korecký 11.06.2014 07:21:09  
Měřil: M. Jerman, měřeno za lab. podmínek, použita objem, hm. 154 kg.m<sup>-3</sup>

**objemová tepelná kapacita - c<sub>v</sub> [J.m<sup>-3</sup>.K<sup>-1</sup>]**

Přidat hodnotu

**objemová tepelná kapacita [J.m<sup>-3</sup>.K<sup>-1</sup>] jako funkce veličiny objemový obsah vlhkosti [m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>]**

**součinitel tepelné vodivosti - λ [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]**

Přidat hodnotu

