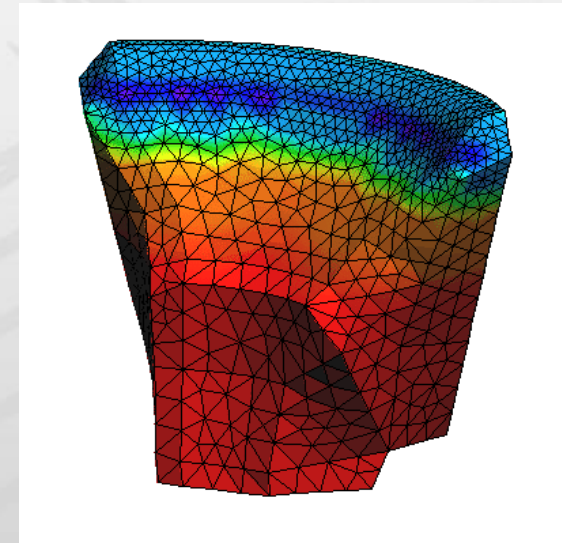
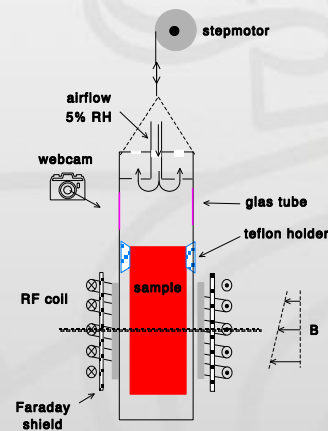
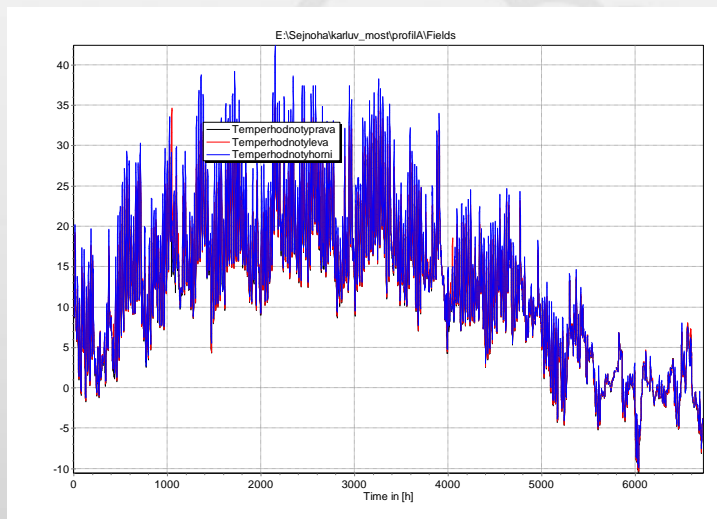


Vliv prostředí na stavební materiály

2P + 2C





ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

Vliv prostředí na stavební materiály

3. přednáška

Fyzikálně – matematické modely



Vliv prostředí na stavební materiály

3. Přednáška - Fyzikálně – matematické modely

- Fyzikální realita
- Fyzikální model - popisující přenos tepla a vlhkosti ve stavebních materiálech
 - Kvalitativní popis – komplikované - experimenty
 - Kvantitativní popis - nepřesný, stochastický charakter přenosu (např. nehomogenita materiálu) - přibližné odhady
 - Fyzikální model problému tak obsahuje kvantitativní popis, jenž je zatížen určitou nejistotou.



- Fyzikální model
 - základě zákonů zachování veličin (např. zákon zachování hmotnosti, energie apod.)
 - základě empirických pozorování (např. pomocí fyzikálních experimentů).
- Na základě fyzikálního modelu -
Matematický model - fyzikální realita.
- Rozdělení
 - Lineární x nelineární
 - Ustálený x neustálený

- Počítačový program obsahuje numerické řešení matematického modelu.
- Numerické aproximace
 - MKP, MKO, MS
- Výpočetní programy – WUFI, AREA, TEPLO
...

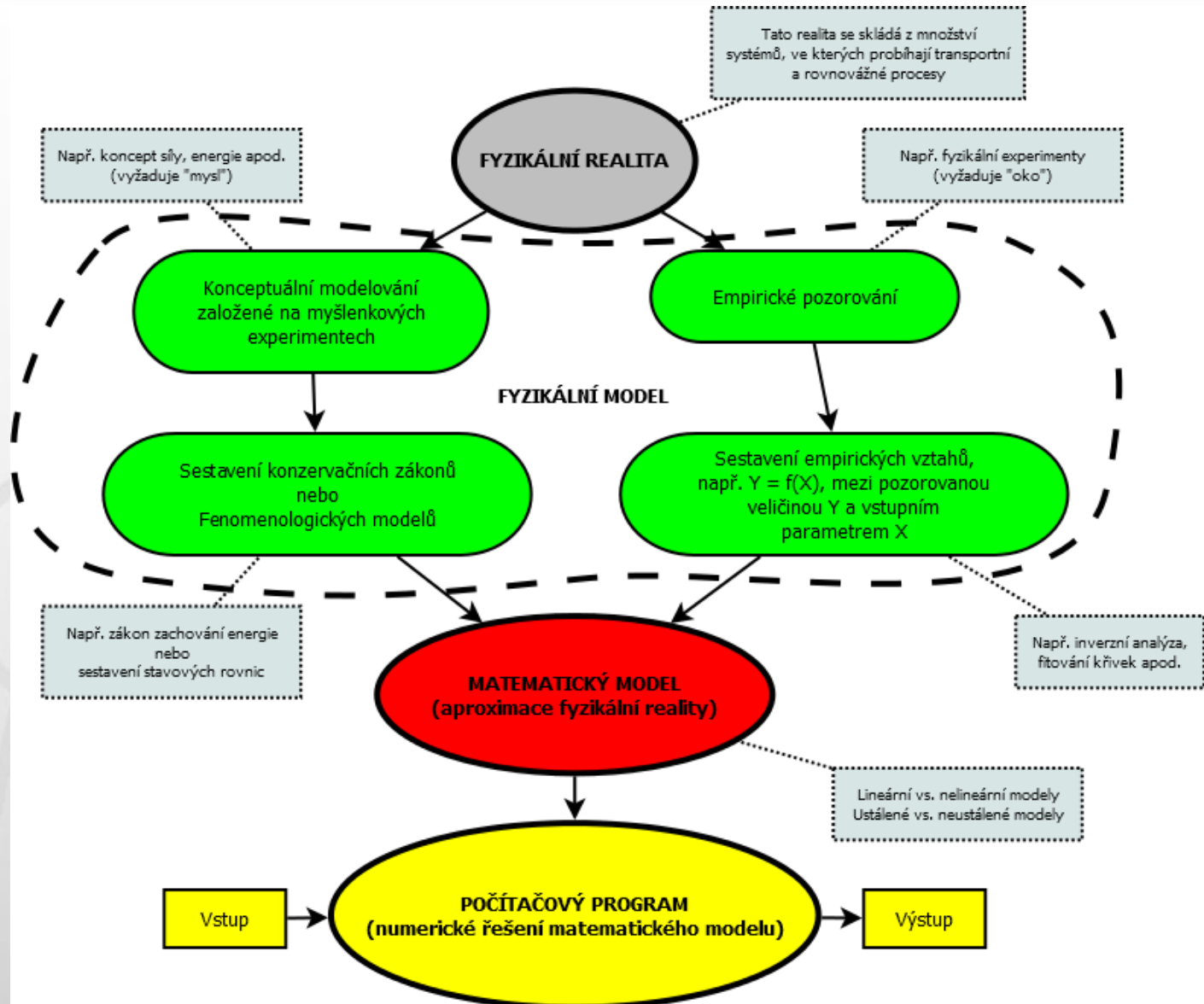


ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

Vliv prostředí na stavební materiály

3. Přednáška - Fyzikálně – matematické modely





- Transportní procesy
 - Tepla
 - Vlhkosti
 - Tepla a vlhkosti
 - Vlhkosti a chemických látek
 - Tepla, vlhkosti a chemických látek
 - Tepla, vlhkosti a mechanika
 - Tepla, vlhkosti a další procesy
 - Zvuk



- Teplo - vedením – kondukcí
 - v pevných látkách, kapalinách, plynech
 - při kterém částice látky v oblasti s vyšší střední kinetickou energií předávají část své pohybové energie prostřednictvím vzájemných srážek částicím v oblasti s nižší střední kinetickou energií.
 - Částice se přitom nepřemísťují, ale kmitají kolem svých rovnovážných poloh.

$$q = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$



- Teplo - prodeňím – konvekcí
 - v kapalinách, plynech
 - rovnice zahrnují zákon zachování hmoty (rovnice kontinuity), zákon zachování hybnosti a zákon zachování energie
- Přirozená konvekce
 - není závislé na vnějším zdroji, ale na objemových změnách, například vlivem teploty v gravitačním poli.



- Teplo – přirozená konvekce
– N-S rovnice - Boussinesqova aproximace

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} = \frac{1}{\rho_{air}} \left[-\frac{\partial p}{\partial x} + \mu_{air} \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} \right) \right],$$

$$\frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} = \frac{1}{\rho_{air}} \left[-\frac{\partial p}{\partial y} + \mu_{air} \left(\frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} \right) + (\rho\beta)_{air} g \Delta T \right],$$



- Teplo – přirozená konvekce

Rayleighovo číslo

$$Ra = Gr \cdot Pr,$$

Pr (-) -vyjadřuje míru podobnosti mezi rychlostním a teplotním polem

$$Pr = \frac{\nu}{a},$$

Grashofovo číslo

$$Gr = \frac{g \beta \Delta T L^3}{\nu^2},$$

$Ra < 10^8$ – laminární proudění

$10^8 < Ra < 10^{10}$ – přechodová oblast

$10^{10} > Ra$ – turbulentní proudění

Nu (-) - poměr konvektivního přenosu tepla k vedení tepla

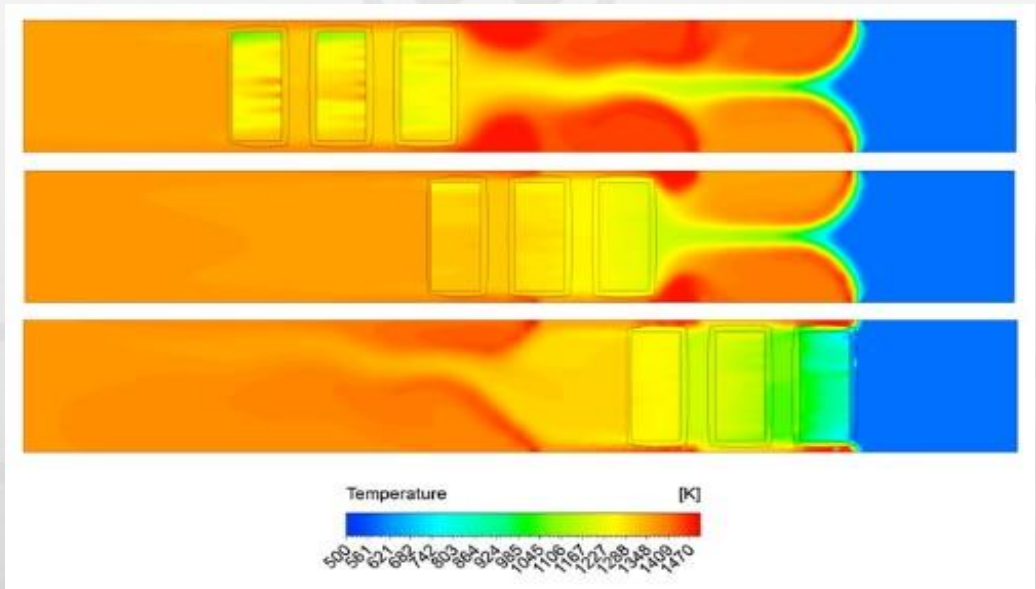
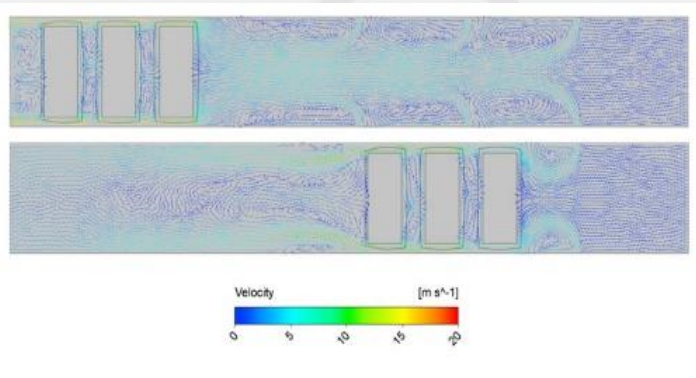
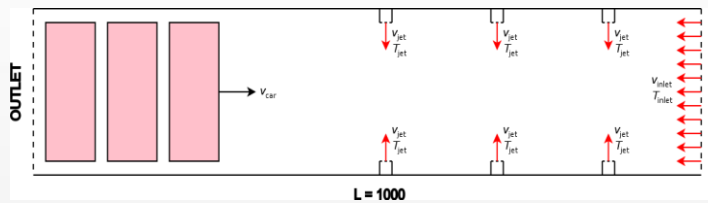
$$Nu = \frac{\alpha L}{\lambda},$$



Vliv prostředí na stavební materiály

3. Přednáška - Fyzikálně – matematické modely

- Teplo – přirozená konvekce



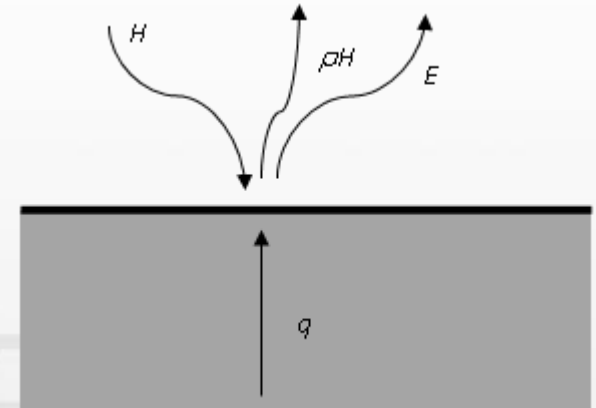


Vliv prostředí na stavební materiály

3. Přednáška - Fyzikálně – matematické modely

- Teplo – sáláním – Radiací
– Bilance povrchové energie

- příchozí záření H (irradiation)
- odražené záření ρH (reflection)
- vyzářenou energii E (emission)



$$- q = q_{out} - q_{in} = (q_{emission} + q_{reflection}) - q_{irradiation} = (E + \rho H) - H$$

q je čistý tepelný tok proudící k povrchu materiálu

- q + pokud teplo proudí z materiálu směrem do dutiny
- záporný, pokud proudí směrem z dutiny do materiálu



- Teplo – sáláním – Radiací

Stefan-Boltzmanovův zákon - množství energie, které dokonale černé těleso o jednotkové ploše vysílá za jednotku času

$$E_o = \sigma_{SB} T^4$$

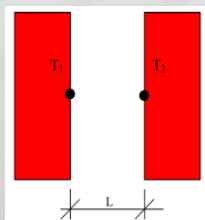
σ_{SB} ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$) je Stefan-Boltzmannova konstanta

Emisivita tělesa ε (-)

$$\varepsilon = \frac{E}{E_o}$$

Aproximace pomocí obdélníků

$$q_{rad} = \varepsilon \sigma_{SB} (T_1^4 - T_2^4)$$





ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

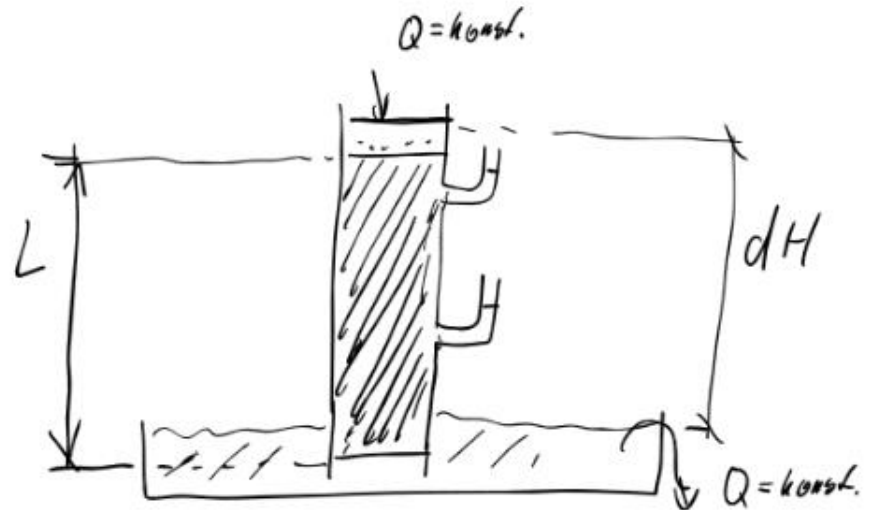
Vliv prostředí na stavební materiály

3. Přednáška - Fyzikálně – matematické modely

- Vlhkost – konvektivní model
 - vlhkost proudí v porézním systému materiálu kanálky (kapiláry, soustava pórů) obdobně jako např. v potrubí
 - Darcyho zákon

1856

$$v = K_s \frac{\Delta H}{L}$$





- Vlhkost – konvektivní model

Richards (1931)

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \operatorname{div}(K(H) \operatorname{grad} h)$$

I. způsob

$$c_w \frac{\partial H}{\partial t} = \operatorname{div}(K(H) \operatorname{grad} H) + \frac{\partial K(H)}{\partial z}$$

II. způsob

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \operatorname{div}(D(w) \operatorname{grad} w) + \frac{\partial K(w)}{\partial w} \frac{\partial w}{\partial z}$$



ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

Vliv prostředí na stavební materiály

3. Přednáška - Fyzikálně – matematické modely

- Vlhkost – difúzní model
 - je transportována v porézním systému materiálu mechanismem podobným přenosu ve směsi dvou plynů
 - Lykov 1966, Krischer 1963



- Vlhkost – difúzní model

Lykovův model

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \operatorname{div}(a_m \operatorname{grad} u)$$



- Vlhkost – difúzní model

Krischerův model

$$\rho_w \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\Pi - w}{R_v T} \frac{\partial p_l}{\partial t} = \rho_w \kappa \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{D}{\mu R_v T} \frac{p}{p - p_l} \frac{\partial^2 p_l}{\partial x^2}$$

$$\rho_w \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\Pi - w}{R_v T} \frac{\partial p_l}{\partial t} = \rho_w \kappa \text{grad } w + \frac{D}{\mu R_v T} \frac{p}{p - p_l} \text{grad } p_l$$



- Transport tepla a vlhkosti

$$\vec{j}_c = -\rho(D \text{grad } c + \delta \text{grad } T + \varphi \text{grad } P)$$

$$\vec{j}_Q - \bar{\mu} \vec{j}_c = -k \text{grad } T - k_c \text{grad } c - k_p \text{grad } P$$

Kde

- j_c, \vec{j}_Q - hustota toku koncentrace vlhkosti, tepelného toku
- D – součinitel difúze
- δ – součinitel termodifúze (Soretův koef)
- φ – součinitel barodifúze
- k – zobecněný souč. tepelné vodivosti
- k_c - Dufourův koef.
- k_p - koeficient vlivu tlaku na teplotu



- Transport tepla a vlhkosti
– Philip a de Vries (1957)

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \operatorname{div} (D_w \operatorname{grad} w) + \operatorname{div} (D_T \operatorname{grad} T) + \frac{\partial K_l}{\partial z}$$

$$C \frac{\partial T}{\partial t} = \operatorname{div} (\lambda \operatorname{grad} T) - L \operatorname{div} (D_{wv} \operatorname{grad} w)$$

D_w je celkový koeficient difúze (pro vodu i vodní páru, $D_w = D_{wl} + D_{wv}$),

D_T celkový koeficient termodifúze (pro vodu i vodní páru, $D_T = D_{Tw} + D_{Tv}$),

K_l je hydraulická vodivost

λ součinitel tepelné vodivosti

C objemová tepelná kapacita

L latentní teplo vypařování



Vliv prostředí na stavební materiály

3. Přednáška - Fyzikálně – matematické modely

- Transport tepla a vlhkosti
– Milly (1982)

$$\left\{ \left(1 - \frac{1}{\rho_l} \phi p_{vs} \frac{M}{RT} \right) \frac{\partial u_l}{\partial \psi} + \frac{a}{\rho_s} \phi p_{vs} g \left(\frac{M}{RT} \right)^2 \right\} \frac{\partial \psi}{\partial t} + \left\{ \left(1 - \frac{1}{\rho_l} \phi p_{vs} \frac{M}{RT} \right) \frac{\partial u_l}{\partial T} + \frac{a}{\rho_s} \phi p_{vs} \frac{M}{RT} \left(-\frac{\psi g M}{RT^2} + \frac{1}{p_{vs}} \frac{dp_{vs}}{dT} - \frac{1}{T} \right) \right\} \frac{\partial T}{\partial t} =$$
$$= \frac{\rho_l}{\rho_s} \left\{ \text{div} \left[(k_l + k_v) \text{grad} \psi + D_{Tv} \text{grad} T \right] \right.$$
$$\left. \left\{ \left(h_l - \frac{1}{\rho_l} \phi p_{vs} \frac{M}{RT} h_v \right) \frac{\partial u_l}{\partial \psi} + \frac{a}{\rho_s} \phi p_{vs} g \left(\frac{M}{RT} \right)^2 h_v \right\} \frac{\partial \psi}{\partial t} + \left\{ \left(h_l - \frac{1}{\rho_l} \phi p_{vs} \frac{M}{RT} h_v \right) \frac{\partial u_l}{\partial T} + \left[c_s + c_l u_l + c_v u_v + h_v \frac{a}{\rho_s} \phi p_{vs} \frac{M}{RT} \left(-\frac{\psi g M}{RT^2} + \frac{1}{p_{vs}} \frac{dp_{vs}}{dT} - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \frac{\partial T}{\partial t} = \right.$$
$$\left. = \frac{1}{\rho_s} \left\{ \text{div} \left[(h_l \rho_l k_l + h_v \rho_l k_v) \text{grad} \psi + (\lambda + h_v \rho_l D_{Tv}) \text{grad} T \right] \right\}.$$



- Transport tepla a vlhkosti
– Lykov (1972)

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a_m \operatorname{div} \operatorname{grad} u + a_m^T \operatorname{div} \operatorname{grad} T.$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \left(a + a_{m1} \frac{L_v}{c} \right) \operatorname{div} \operatorname{grad} T + a_{m1} \frac{L_v}{c} \operatorname{div} \operatorname{grad} u +$$

$$+ \frac{1}{c} [(c_1 a_{m1} + c_2 a_{m2}) \operatorname{grad} u + (c_1 a_{m1}^T + c_2 a_{m2}^T) \operatorname{grad} T] \cdot \operatorname{grad} T.$$



- Transport tepla a vlhkosti
– Krischer (1982)

$$\rho_w \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\Pi - w}{R_v T} \frac{\partial p_l}{\partial t} = \rho_w \kappa \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{D}{\mu R_v T} \frac{p}{p - p_l} \frac{\partial^2 p_l}{\partial x^2}$$

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + L_v \left(\frac{D}{\mu R_v T} \frac{p}{p - p_l} \frac{\partial^2 p_l}{\partial x^2} - \frac{\Pi - w}{R_v T} \frac{\partial p_l}{\partial t} \right)$$



Vliv prostředí na stavební materiály

3. Přednáška - Fyzikálně – matematické modely

- Transport tepla a vlhkosti
– Grunewald

$$s_{11} \frac{\partial w_1}{\partial t} + s_{12} \frac{\partial p_g}{\partial t} + s_{13} \frac{\partial c_s}{\partial t} + s_{14} \frac{\partial T}{\partial t} = - \operatorname{div} [(\rho_w \vec{v}^{\text{ml}} - \vec{j}_{\text{dif}}^{\text{ms}} - \vec{j}_{\text{disp}}^{\text{ms}}) w_1 + (\rho_v \vec{v}^{\text{mg}} + \vec{j}_{\text{dif}}^{\text{mv}}) w_g]$$

$$s_{21} \frac{\partial w_1}{\partial t} + s_{22} \frac{\partial p_g}{\partial t} + s_{23} \frac{\partial c_s}{\partial t} + s_{24} \frac{\partial T}{\partial t} = - \operatorname{div} [(\rho_a \vec{v}^{\text{mg}} - \vec{j}_{\text{dif}}^{\text{mv}}) w_g]$$

$$s_{31} \frac{\partial w_1}{\partial t} + s_{32} \frac{\partial p_g}{\partial t} + s_{33} \frac{\partial c_s}{\partial t} + s_{34} \frac{\partial T}{\partial t} = - \operatorname{div} [(\rho_s \vec{v}^{\text{ml}} + \vec{j}_{\text{dif}}^{\text{ms}} + \vec{j}_{\text{disp}}^{\text{ms}}) w_1]$$

$$s_{41} \frac{\partial w_1}{\partial t} + s_{42} \frac{\partial p_g}{\partial t} + s_{43} \frac{\partial c_s}{\partial t} + s_{44} \frac{\partial T}{\partial t} = - \operatorname{div} [\rho_1 u_1 \vec{v}^{\text{ml}} w_1 + (\rho_v u_v + \rho_a u_a) \vec{v}^{\text{mg}} w_g] - \operatorname{div} \vec{j}_{\text{dif}}^{\text{Q}}$$

$$- \operatorname{div} [(h_s - h_w)(\vec{j}_{\text{dif}}^{\text{ms}} + \vec{j}_{\text{disp}}^{\text{ms}}) w_1] - \operatorname{div} [(h_v - h_a) \vec{j}_{\text{dif}}^{\text{mv}} w_g],$$



Vliv prostředí na stavební materiály

3. Přednáška - Fyzikálně – matematické modely

- Transport tepla a vlhkosti
– Grunewald

$$\vec{j}_{\text{con}}^{\text{ml}} = \rho_1 \vec{v}^{\text{ml}} = -K_1(\text{grad } p_c + \rho_1 \vec{g}) - K_1 \text{grad } p_g$$

$$\vec{j}_{\text{con}}^{\text{mv}} = \rho_g \vec{v}^{\text{mg}} = -K_g(\text{grad } p_g + \rho_g \vec{g})$$

$$\vec{j}_{\text{dif}}^{\text{mv}} = -\rho_g D^v \text{grad } c_v - D_p^v \frac{M_g}{RT} \text{grad } p_g$$

$$\vec{j}_{\text{dif}}^{\text{ms}} = -\rho_1 D^s \text{grad } c_s - \rho_1 \kappa_1 D_p^s (\text{grad } p_c + \text{grad } p_g)$$

$$\vec{j}_{\text{disp}}^{\text{ms}} = -\frac{|\vec{v}^{\text{ml}}|}{w_1} D_d^s \text{grad } c_s$$

$$\vec{j}_{\text{dif}}^{\text{Q}} = -\lambda \text{grad } T,$$

$$s_{11} = \rho_w - \rho_v + w_g \frac{M_v}{RT} p_{\text{sat}} \frac{\partial \varphi}{\partial w_1} \quad s_{12} = 0 \quad s_{13} = -\rho_v \frac{\partial w_p}{\partial c_s} + w_1 \frac{\partial \rho_w}{\partial c_s} + w_g p_{\text{sat}} \frac{M_v}{RT} \frac{\partial \varphi}{\partial c_s}$$

$$s_{14} = w_1 \frac{\partial \rho_w}{\partial T} + w_g \frac{M_v}{RT} \left(\varphi \frac{dp_{\text{sat}}}{dT} - \frac{p_v}{T} + p_{\text{sat}} \frac{\partial \varphi}{\partial T} \right) - \rho_v \frac{\partial w_p}{\partial T}$$

$$s_{43} = (\rho_p u_p - \rho_v u_v - \rho_a u_a) \frac{\partial w_p}{\partial c_s} + \rho_1 w_1 \frac{\partial u_1}{\partial c_s} + u_1 w_1 \frac{\partial \rho_1}{\partial c_s} + \left(u_v w_g \frac{M_v}{RT} - u_a w_g \frac{M_a}{RT} \right) p_{\text{sat}} \frac{\partial \varphi}{\partial c_s}$$

$$s_{44} = \rho_m \frac{\partial u_m}{\partial T} + \rho_p w_p \frac{\partial u_p}{\partial T} + \rho_1 w_1 \frac{\partial u_1}{\partial T} + u_1 w_1 \frac{\partial \rho_1}{\partial T} +$$

$$u_v w_g \frac{M_v}{RT} \left(\varphi \frac{dp_{\text{sat}}}{dT} - \frac{p_v}{T} + p_{\text{sat}} \frac{\partial \varphi}{\partial T} \right) - u_a w_g \frac{M_a}{RT} \left(\varphi \frac{dp_{\text{sat}}}{dT} + \frac{p_a}{T} + p_{\text{sat}} \frac{\partial \varphi}{\partial T} \right) +$$

$$+ \left(\rho_v \frac{\partial u_v}{\partial T} + \rho_a \frac{\partial u_a}{\partial T} \right) w_g + (\rho_p u_p - \rho_v u_v - \rho_a u_a) \frac{\partial w_p}{\partial T}$$



Vliv prostředí na stavební materiály

3. Přednáška - Fyzikálně – matematické modely

Kiessl (1983), Künzl (1995),

$$\frac{\partial \rho_v}{\partial t} = \operatorname{div} \left[D_w \operatorname{grad} \rho_v + \delta_p \operatorname{grad}(\varphi p_s) \right] \quad D_\phi = D_w \frac{d\rho_v}{d\phi}$$

$$\frac{d\rho_v}{d\phi} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \operatorname{div} \left[D_\phi \operatorname{grad} \varphi + \delta_p \operatorname{grad}(\varphi p_s) \right]$$

$$\frac{d\rho_v}{d\phi} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \operatorname{div} \left[\left(D_w \rho_w \frac{dw}{d\phi} + \delta_p p_s \right) \operatorname{grad} \varphi + \left(\delta_p \varphi \frac{dp_s}{dT} \right) \operatorname{grad} T \right]$$

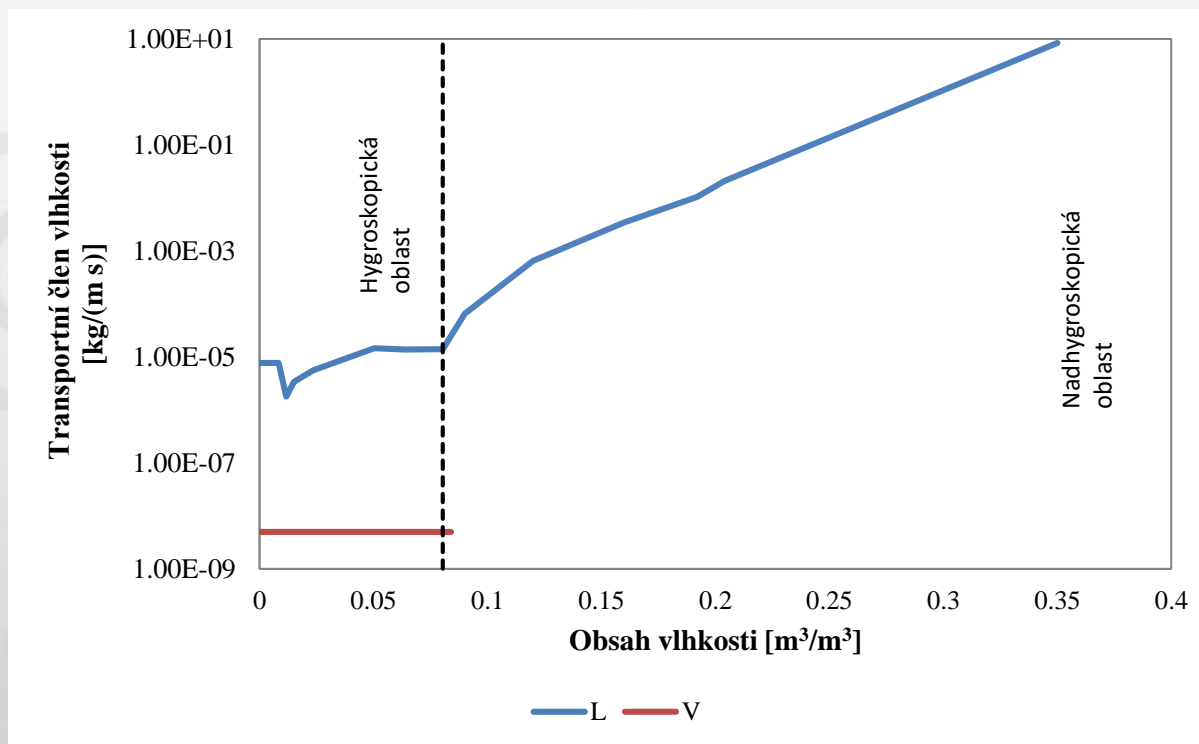
$$\frac{dH}{dT} \frac{\partial T}{\partial t} = \operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} T) + L_v \operatorname{div} \left[\delta_p \operatorname{grad}(\varphi p_s) \right]$$



Vliv prostředí na stavební materiály

3. Přednáška - Fyzikálně – matematické modely

$$\frac{d\rho_v}{d\varphi} \frac{\partial\varphi}{\partial t} = \operatorname{div} \left[\left(D_w \rho_w \frac{dw}{d\varphi} + \delta_p p_s \right) \operatorname{grad} \varphi + \left(\delta_p \varphi \frac{dp_s}{dT} \right) \operatorname{grad} T \right]$$

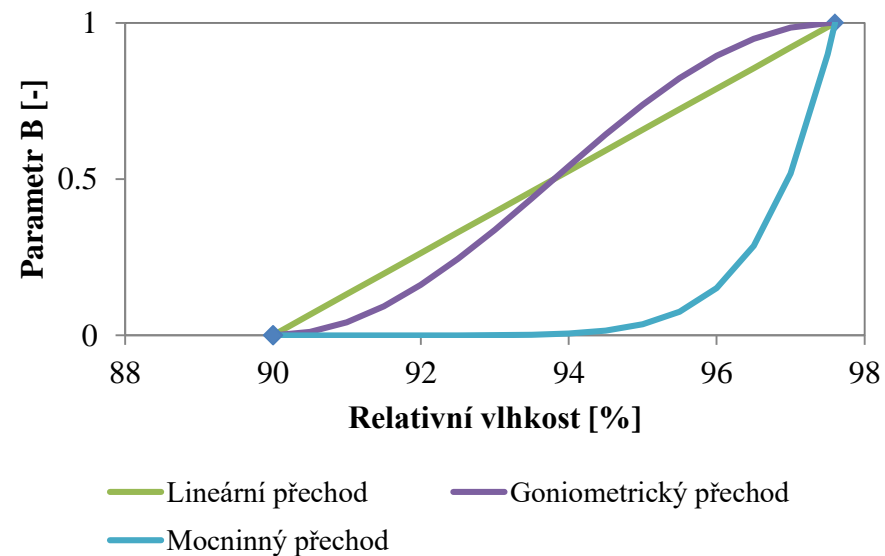
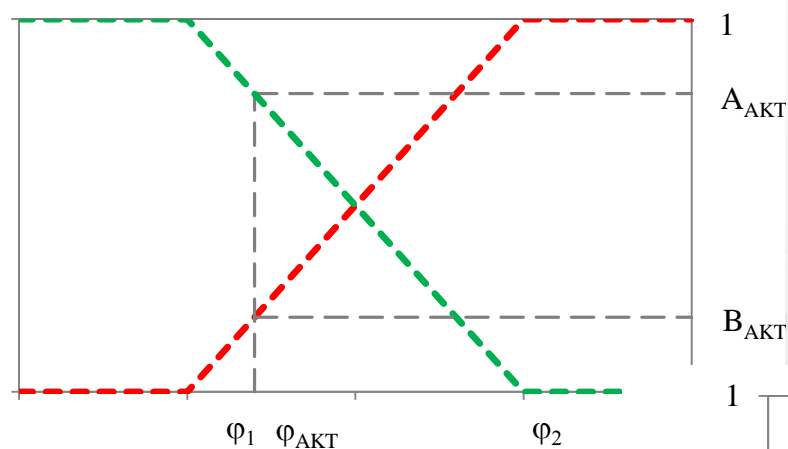




Vliv prostředí na stavební materiály

3. Přednáška - Fyzikálně – matematické modely

$$\frac{d\rho_v}{d\varphi} \frac{\partial\varphi}{\partial t} = \text{div} \left[\left(B(D_w \rho_w \frac{dw}{d\varphi}) + A(\delta_p p_s) \right) \text{grad}\varphi + \left(\delta_p \varphi \frac{dp_s}{dT} \right) \text{grad}T \right]$$





ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

Vliv prostředí na stavební materiály

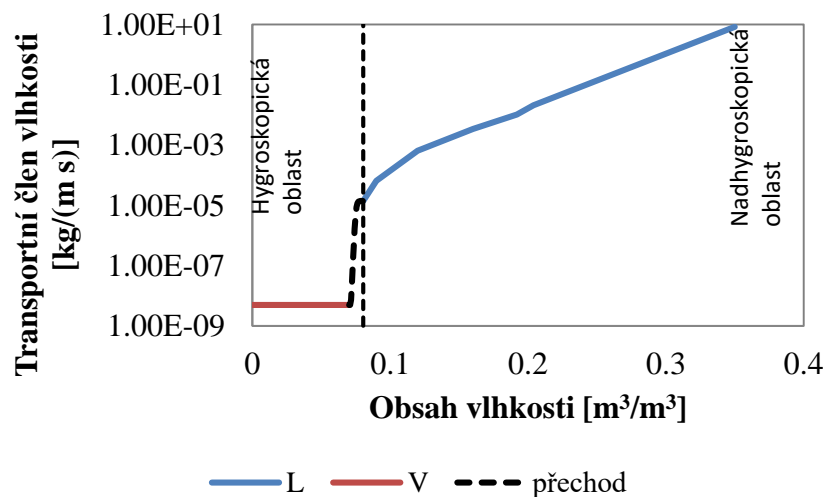
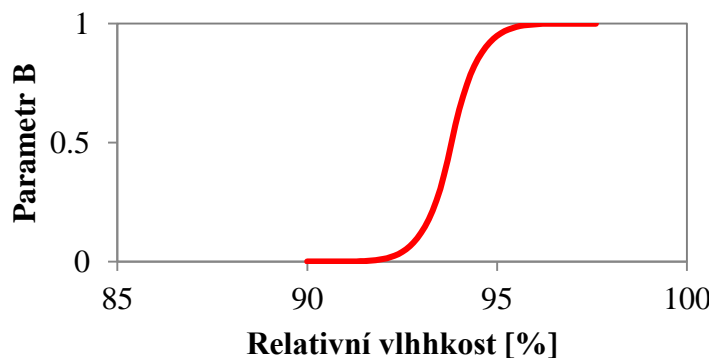
3. Přednáška - Fyzikálně – matematické modely

$$B = 32 \left[\left(\frac{1}{\varphi_2 - \varphi_1} \right) (\varphi_{AKT} - \varphi_1) \right]^6, \text{ pro } \varphi = \langle 90,0;93,8 \rangle$$

$$B = 1 - 32 \left[\left(\frac{1}{\varphi_2 - \varphi_1} \right) (\varphi_2 - \varphi_{AKT}) \right]^6, \text{ pro } \varphi = \langle 93,8;97,6 \rangle .$$

$$B = 1, \text{ pro } \varphi = \langle 97,6;100 \rangle,$$

$$A = 1 - B, \text{ pro } \varphi = \langle 0;100 \rangle,$$





Vliv prostředí na stavební materiály

3. Přednáška - Fyzikálně – matematické modely

$$\frac{\partial \rho_v}{\partial t} = \operatorname{div} [D_w \operatorname{grad} \rho_v + \delta_p \operatorname{grad}(\varphi p_s)]$$

$$\rho_v = w \cdot \rho_w$$

$$p_v = \varphi \cdot p_s$$



$$\rho_w \frac{dw}{dp_v} \frac{\partial p_v}{\partial t} = \operatorname{div} \left[\left(BD_w \rho_w \frac{dw}{dp_v} + A \delta_p \right) \operatorname{grad} p_v \right]$$



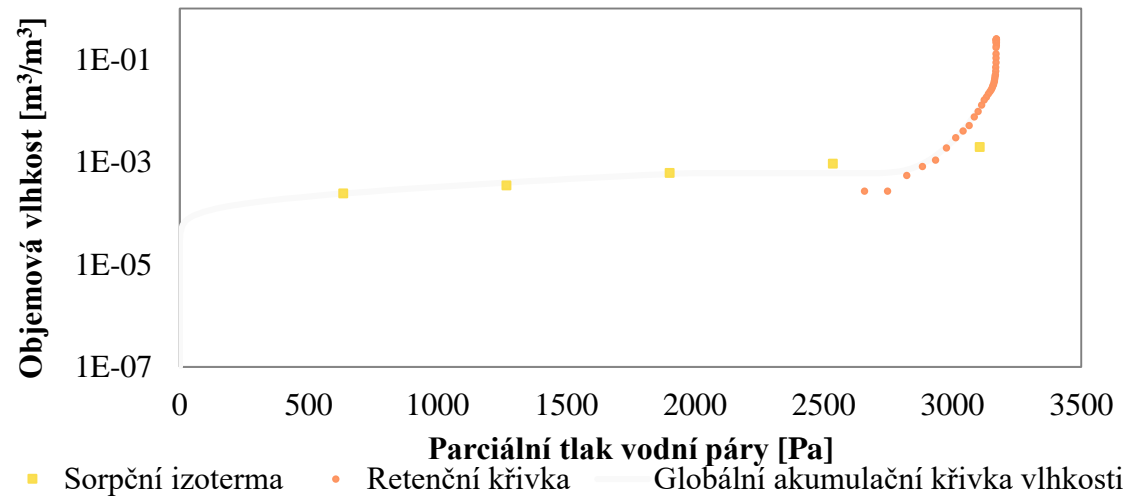
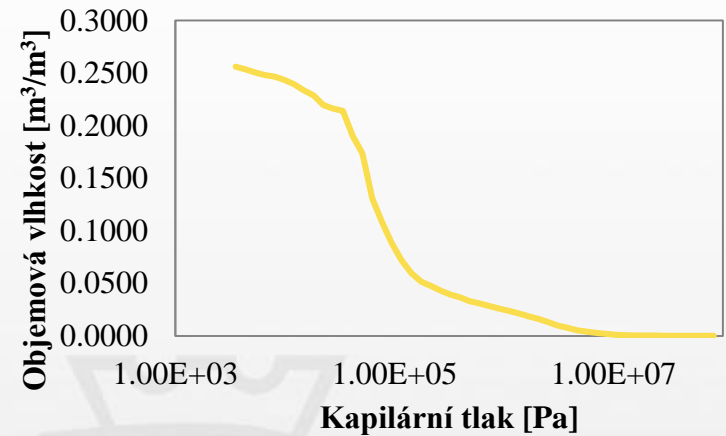
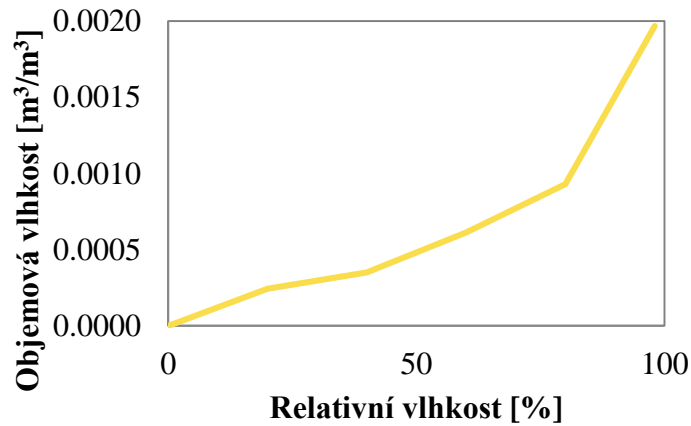
$$\rho_w \frac{dw}{dp_v} \frac{\partial p_v}{\partial t} = \operatorname{div} [D_g \operatorname{grad} p_v]$$

$$\frac{dH}{dT} \frac{\partial T}{\partial t} = \operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} T) + L_v \operatorname{div} [A \delta_p \operatorname{grad}(p_v)],$$



Vliv prostředí na stavební materiály

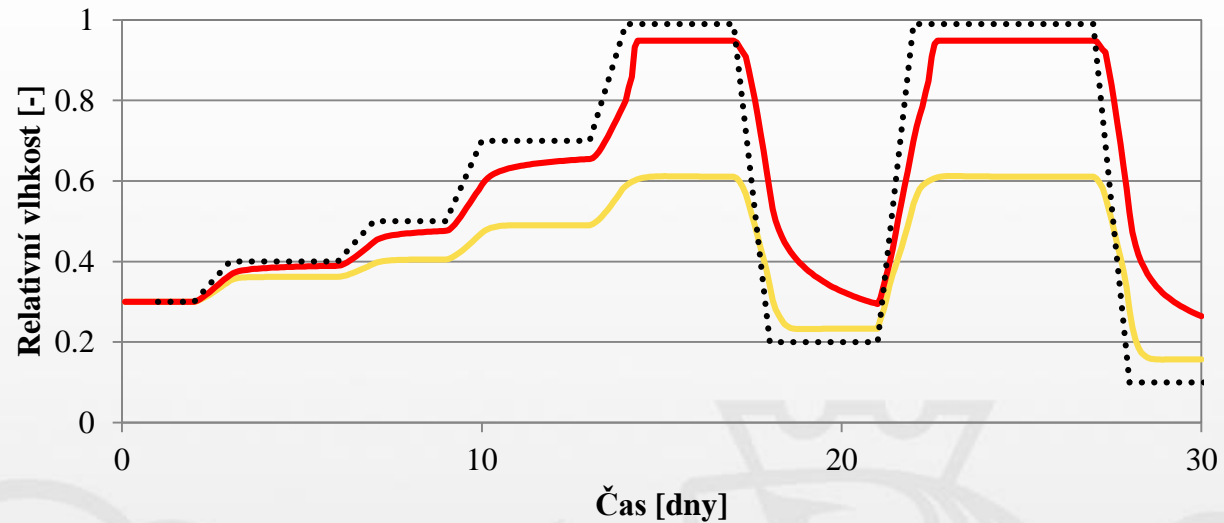
3. Přednáška - Fyzikálně – matematické modely



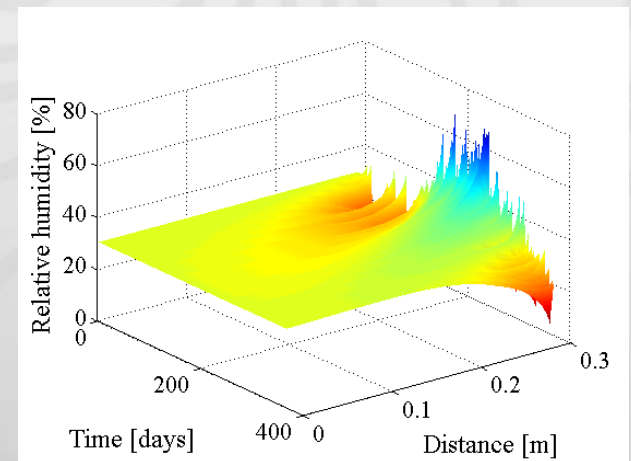
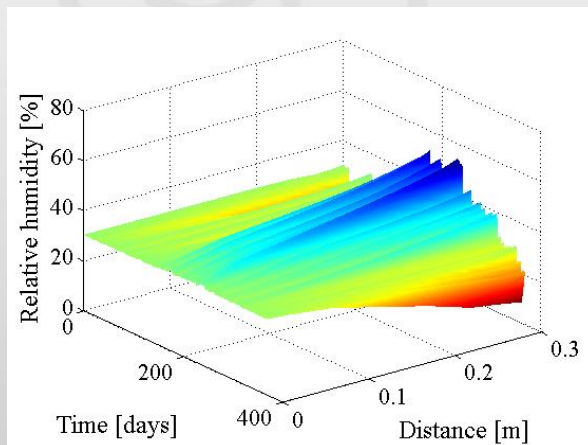


Vliv prostředí na stavební materiály

3. Přednáška - Fyzikálně – matematické modely



— Künzelův model — Künzelův model s funkcí příslušnosti Okrajové podmínky





Vliv prostředí na stavební materiály

3. Přednáška - Fyzikálně – matematické modely

Fyzikální a matematické modely přenosu zvuku v materiálech

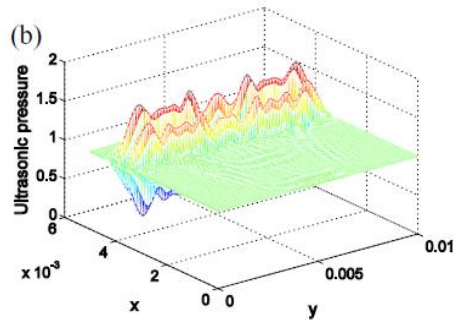
$$P(x + \Delta x) = P(x)e^{-\alpha(\omega)\Delta x}$$

kde ω [s^{-1}] je úhlová frekvence, P [Pa] je tlak a Δx [m] je vzdálenost od počátku místa šíření vlny

Akustický koeficient útlumu $\alpha(\omega)$

$$\alpha(\omega) = \alpha_0 \omega^\eta$$

- *frekvenčně-doménový model*
- *adaptivní Rayleighův model*
- *Modely založené na zlomkovém počtu*
- *konvoluční integrální vlnové modely - Szabo*



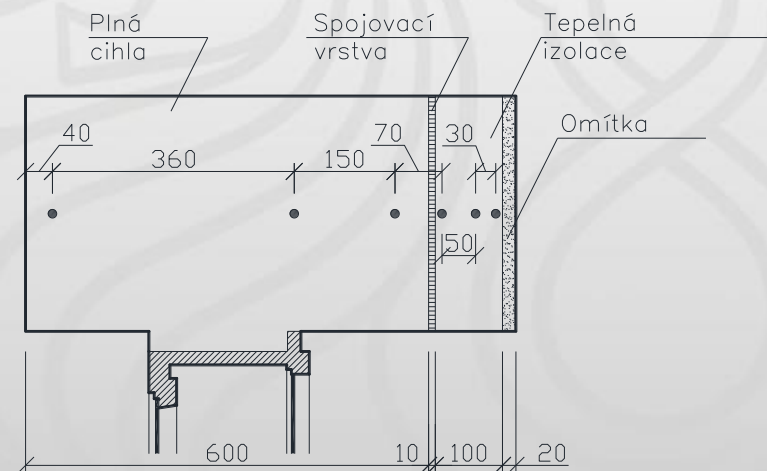
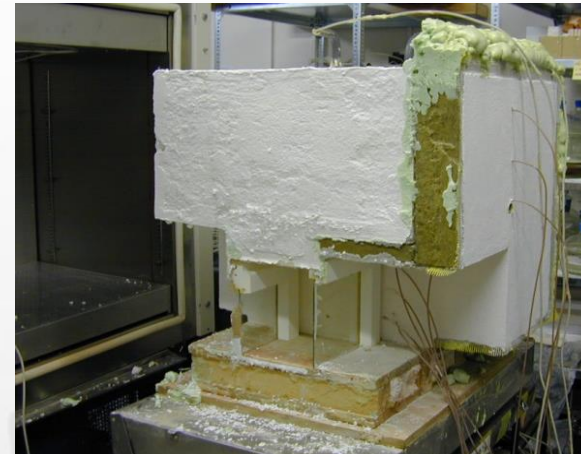
$$\Delta p = \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} + \frac{2\alpha_0}{c_0} S_\eta(p) \quad S_\eta(p) = \begin{cases} \partial p / \partial t, & \eta = 0, \\ -\frac{2\Gamma(\eta+2)\cos[(\eta+1)\pi/2]}{\pi} \int_0^t \frac{p(\tau)}{(t-\tau)^{\eta+2}} d\tau, & 0 < \eta < 2, \\ -\partial^3 p / \partial t^3, & \eta = 2. \end{cases}$$



Vliv prostředí na stavební materiály

3. Přednáška - Fyzikálně – matematické modely

Validace modelu

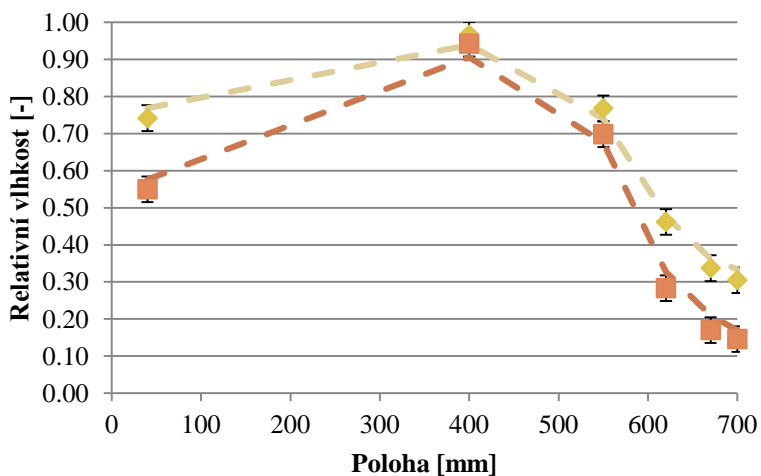


**ČVUT**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

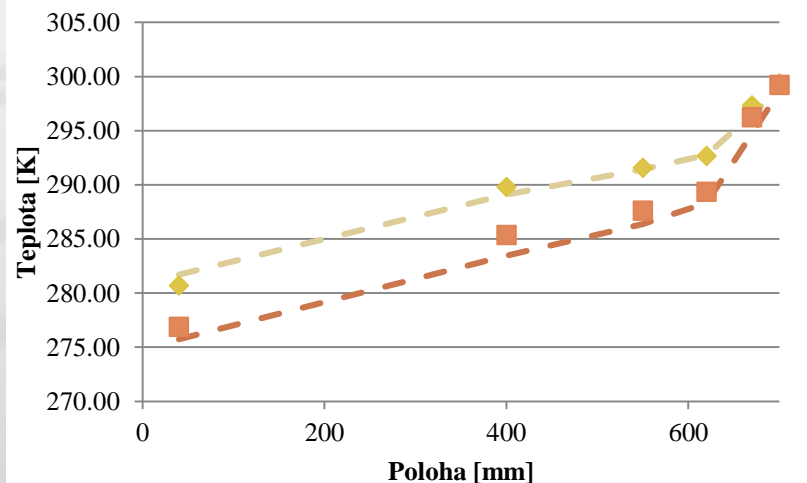
Vliv prostředí na stavební materiály

3. Přednáška - Fyzikálně – matematické modely

Parametr	Plná cihla	Minerální vlna kapilárně aktivní	Spojovací vrstva	Omítka
ρ [kg/m ³]	1888	70	1321	1580
ψ [%]	29,8	96,9	46,8	46,3
μ [-]	6,3 – 22,1	1,5 – 3,2	10,6	5,5
κ_{app} [m ² /s]	$4,98 \cdot 10^{-7}$	$2,816 \cdot 10^{-5}$	$6,200 \cdot 10^{-10}$	$2,100 \cdot 10^{-7}$
w_{hyg} [m ³ /m ³]	0,00197	0,00026	0,04190	0,08500
c [J/(kg K)]	825 – 1254	810	1016	911
λ [W/(m K)]	0,50 – 1,73	0,037 – 0,751	0,450 – 2,150	0,58 – 2,35



◆ Měřený profil, 12 den ■ Měřený profil, 42 den
— Vypočítaný profil, 12 den - - - Vypočítaný profil, 42 den



◆ Měřený profil, 12 den ■ Měřený profil, 42 den
— Vypočítaný profil, 12 den - - - Vypočítaný profil, 42 den