Tepelně vlhkostní mikroklima

Vlhkost v budovách

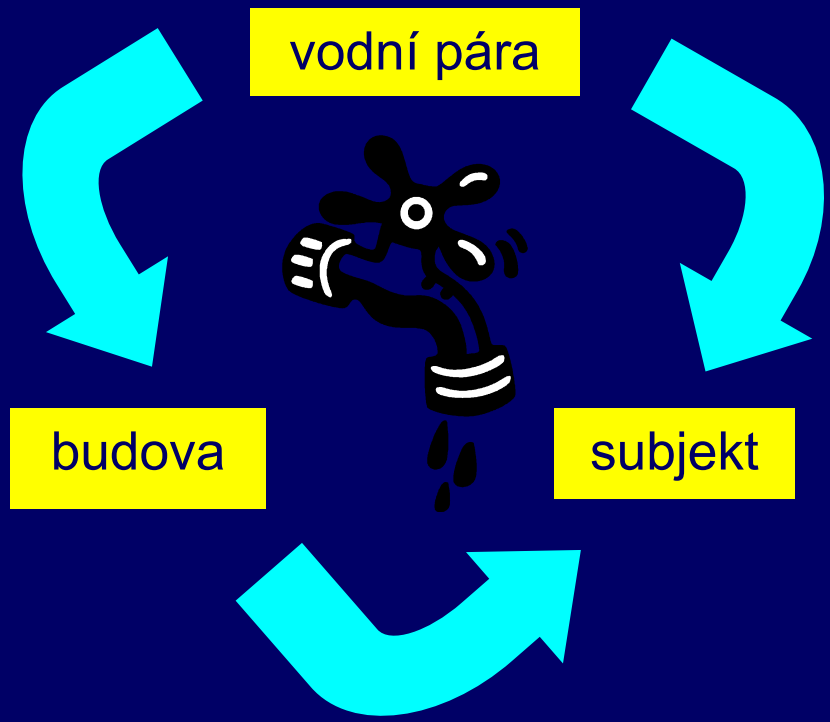
Zdroje vodní páry

- stavební vlhkost - vodní pára vázaná v materiálech v důsledku mokrých technologických procesů (chemicky nebo fyzikálně vázaná)
- zemní vlhkost (vzlínavost), vystoupí 2-3 m v důsledku kapilární vzlínavosti
- meteorologická vlhkost (déšť)
- zkondenzovaná vlhkost ze vzduchu (vsakování zkondenzované vody)
- provozní vlhkost - člověk, zvíře, technologický proces (bazén, vaření, praní) apod.
- sorpční vlhkost – vniká do konstrukce následkem jejích sorpčních vlastností (hygroskopičnost)

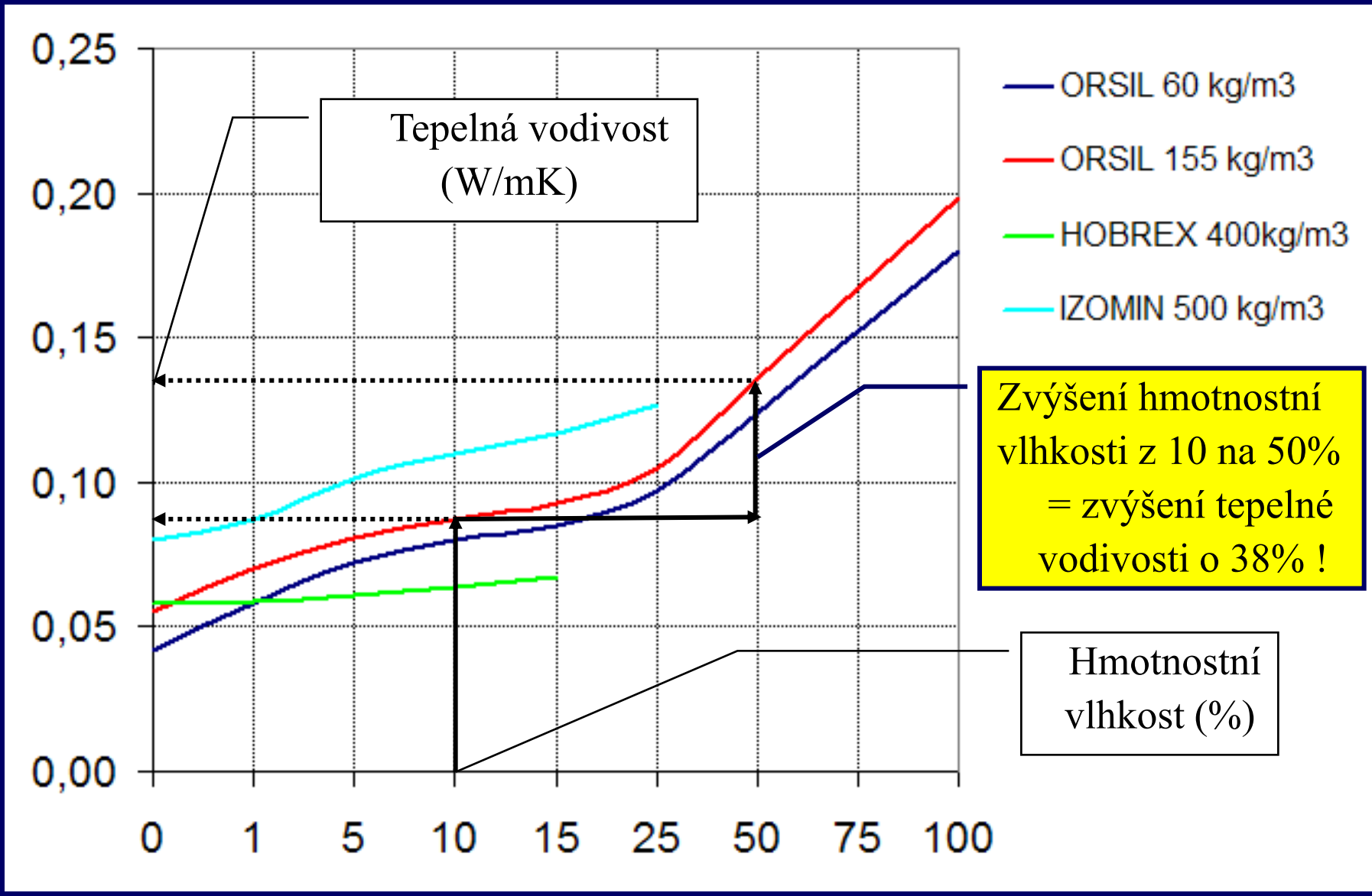
Působení vlhkosti na stavbu a člověka

Se stoupající vlhkostí materiálu roste součinitel tepelné vodivosti. Záleží na skupenství vody v pórech:

vzduch $\lambda = 0{,}05$ W/mK
voda $\lambda = 0{,}58$ W/mK
led $\lambda = 2{,}30$ W/mK



Tepelná vodivost desek z minerální vlny v závislosti na objemové hmotnosti a hmotnostní vlhkosti



Základní pojmy

Daltonův zákon (tlak vzduchu = součet parciálních tlaků jeho složek)

t = 0 C p“ = 611 Pa

t = 10 C p“ = 1227 Pa

t = 25 C p“ = 3167 Pa

Šíření vlhkosti je složitý proces , vlhkost se šíří jako:

- difúze vodní páry
- voda
- vlhkost jako pevná látka (led, námraza)

Sorpce – schopnost látky přijímat vodní páru ze vzduchu (rozdíl parciálních tlaků), nezávisí na teplotních poměrech vzduchu a látky, po nasycení začne kapilární kondenzace v látce.

Sorpční vlhkost – rovnovážná vlhkost, parciální tlak vodní páry ve vzduchu a v látce je stejný

Přenos vlhkosti - difúze

Difúze = šíření vlhkosti z důvodu tlakového gradientu, difúze probíhá za předpokladu, že dutiny v látce jsou větší jak molekuly vodní páry (propustná pro vodní páru – musí být propustná pro vzduch) ale může být vodonepropustná – paropropustná. Při difúzi vodní páry může vzduch proudit v opačném směru (infiltrace) v důsledku rozdílu parciálních tlaků plynů, ze kterých se atmosféra skládá.

Analogie mezi přenosem:

tepla $$q = -\lambda \frac{dt}{dx}$$ a vlhkosti $$g_d = -\delta \frac{dp_d}{dx}$$

Přenos vlhkosti - sorpce

Rovnovážná vlhkost hygroskopických materiálů kolísá v závislosti na relativní vlhkosti okolního vzduchu. Při vzrůstu vlhkosti vzduchu dochází k sorpci vlhkosti v materiálu, při poklesu vlhkosti vzduchu dochází k desorpci vlhkosti z materiálu. Voda přitom přechází z plynného skupenství do vázaného stavu i při vyšší teplotě než je teplota rosného bodu.

Hydroskopické látky – nasákavé, např. jíl, který je hlavní součástí jílovitých zemin a nepálených cihel, průmyslově se používá silikagel

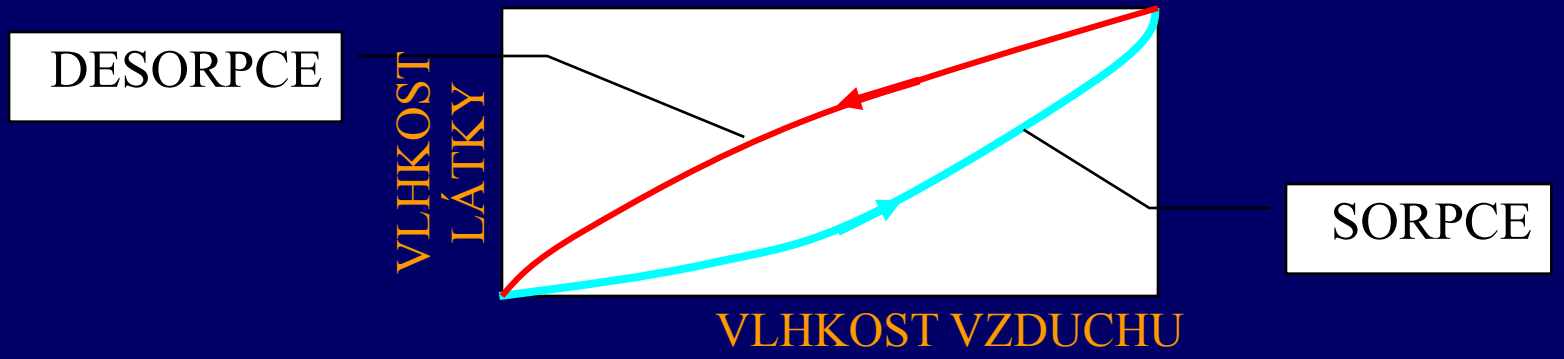
Adsorpce = Obohacení látek na povrchu, bez chemické změny – fyzikální vazba, reversibilní; adsorber vlhkost pohlcuje, proces regenerace (desorpce) vyžaduje dodat energii na uvolnění vazeb molekul na adsorbéru (Van der Waaalsovy síly se sníží zvýšením teploty)

Absorpce = obohacení v celém objemu (vznik roztoku)

Chemisorpce = voda je v krystalické struktuře látky chemicky vázaná, při zvýšení teploty je uvolňována. Při poklesu teploty je voda zpětně absorbována.

Rovnovážná sorpční a desorpční vlhkost vybraných materiálů

materiál	Hustota (kg/m3)	proces	Relativní vlhkost vzduchu (%)					
			0	20	40	60	80	100
Vápenná omítka	1590	Sorpce	0	0,16	0,27	0,34	0,68	1,34
		Desorpce	0	0,37	0,38	0,42	0,72	2,35
sádrokarton	755	Sorpce	0	4,3	6,0	6,7	7,1	14,7
		Desorpce	18,8	19,6	20	20,3	20,8	21, 7
dřevotříska	600	Sorpce	0	4,6	6,7	9,3	12,5	27,4
		Desorpce	3,1	5,0	8,3	17	60	62



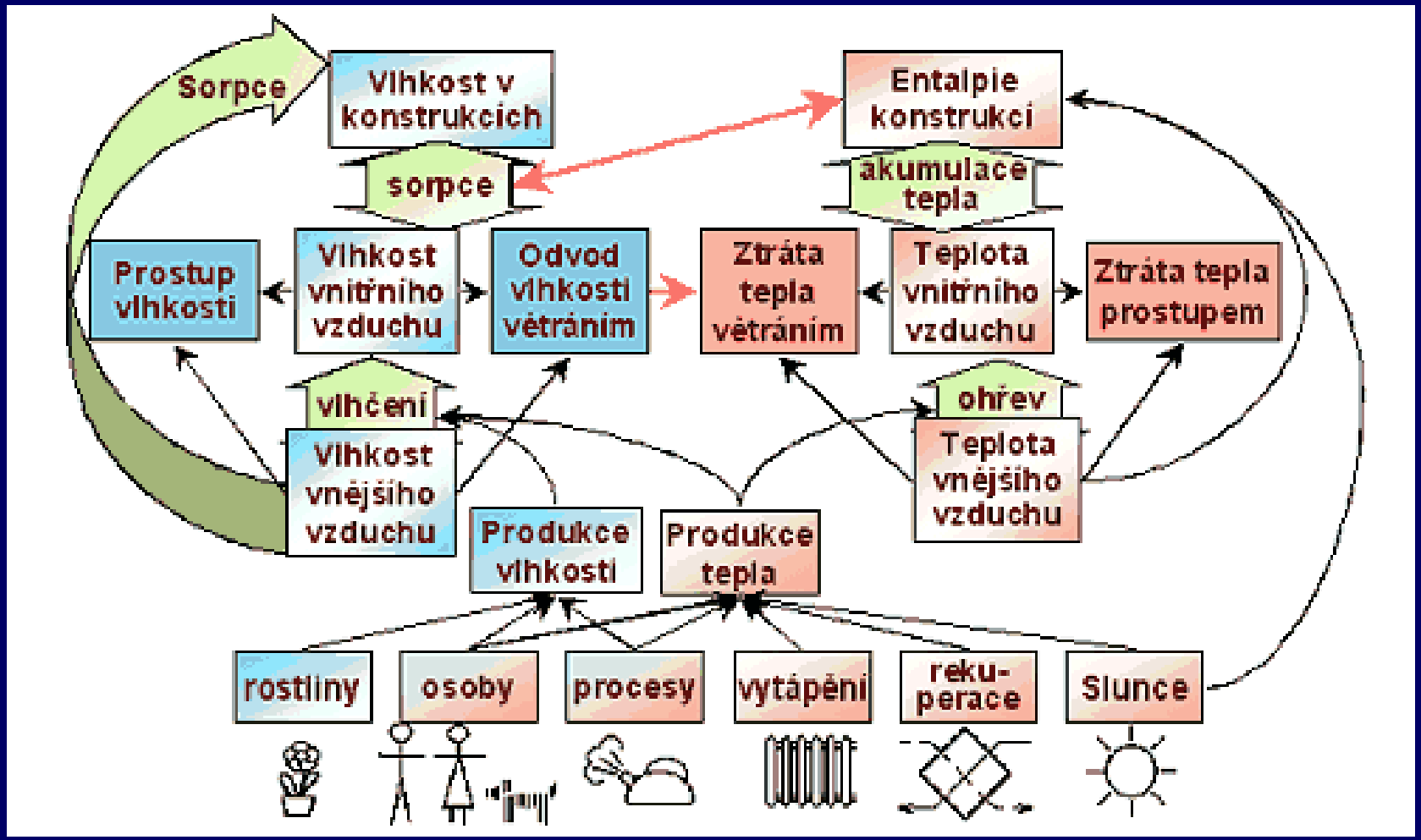
Vlhkostní veličiny stavebních materiálů

δ – součinitel difúze vodní páry (kg/m s Pa) = množství páry, které přejde kostkou o straně 1m mezi dvěma protilehlými stěnami za dobu 1s při rozdílu tlaku 1Pa; látky parotěsné, paropropustné

μ – faktor difúzního odporu vyjadřuje, kolikrát je difúzní odpor látky větší než difúzní odpor vzduchu (štěrk 5, dlažba 115, olejový nátěr 9 000, lepenky 25 000, fólie přes 100 000).

Umístění parozábrany …

Vztah vlhkostní a energetické bilance stavby



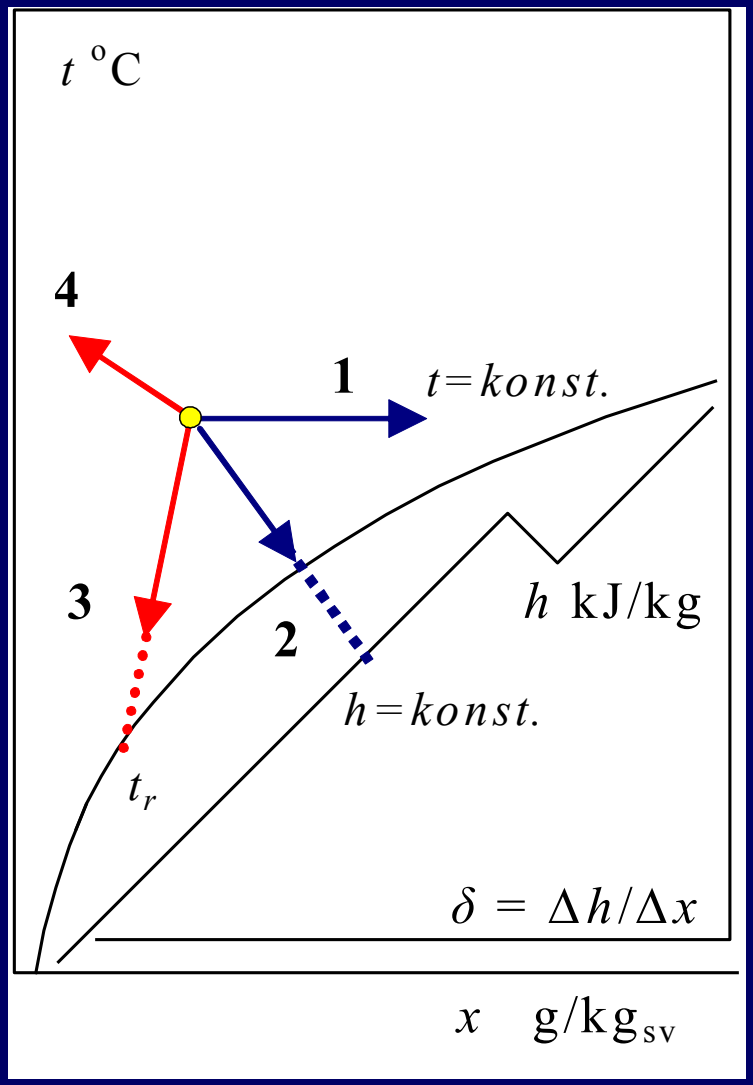
Bilanci vlhkosti ve stavbě lze rozdělit na bilanci vlhkosti vnitřního vzduchu a bilanci vlhkosti stavebních konstrukcí. Bilance vlhkosti a bilance energie jsou vzájemně svázány prostřednictvím výparné entalpie vlhkosti. Kromě toho jsou osoby, zvířata a některé procesy zároveň zdrojem tepla i zdrojem vlhkosti.

Vztah vlhkostní a energetické bilance stavby

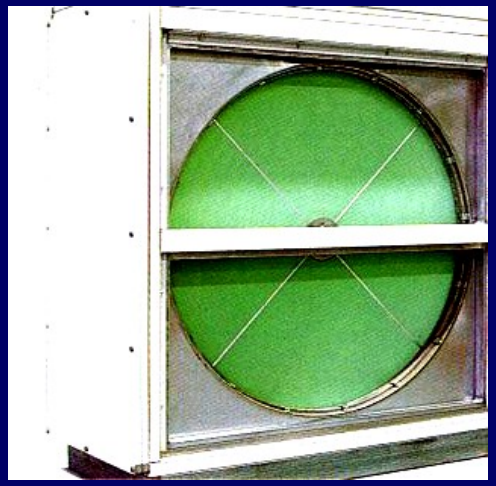
Materiály s velkou sorpční schopností mohou pozitivně ovlivňovat mikroklima budov tím, že stabilizují vlhkost vnitřního vzduchu. Větší sorpční schopnost však znamená větší vliv na energetickou bilanci stavby. Do sporu se tak dostávají požadavky hygienické a energetické.

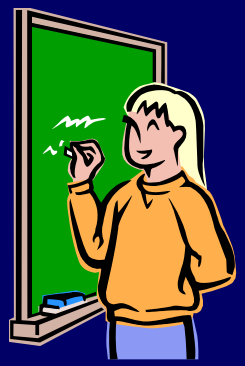
Úpravy vzduchu z hlediska vlhkosti

1. Vlhčení vodní párou
2. Vlhčení vodou – přímé a nepřímé adiabatické chlazení
3. Kondenzační odvlhčování
4. Sorpční odvlhčování - odmlžování



Adsorpční rotační výměník se silikagelovým povrchem





Příklad – Úpravy vzduchu

Zakreslete **na tabuli** úpravy vzduchu realizované zadaným vzduchotechnickým zařízením do h-x diagramu. Zadání na papíře pro 3-členné skupiny studentů. Výsledky kontrolovány za 20 minut – splnění nutné.

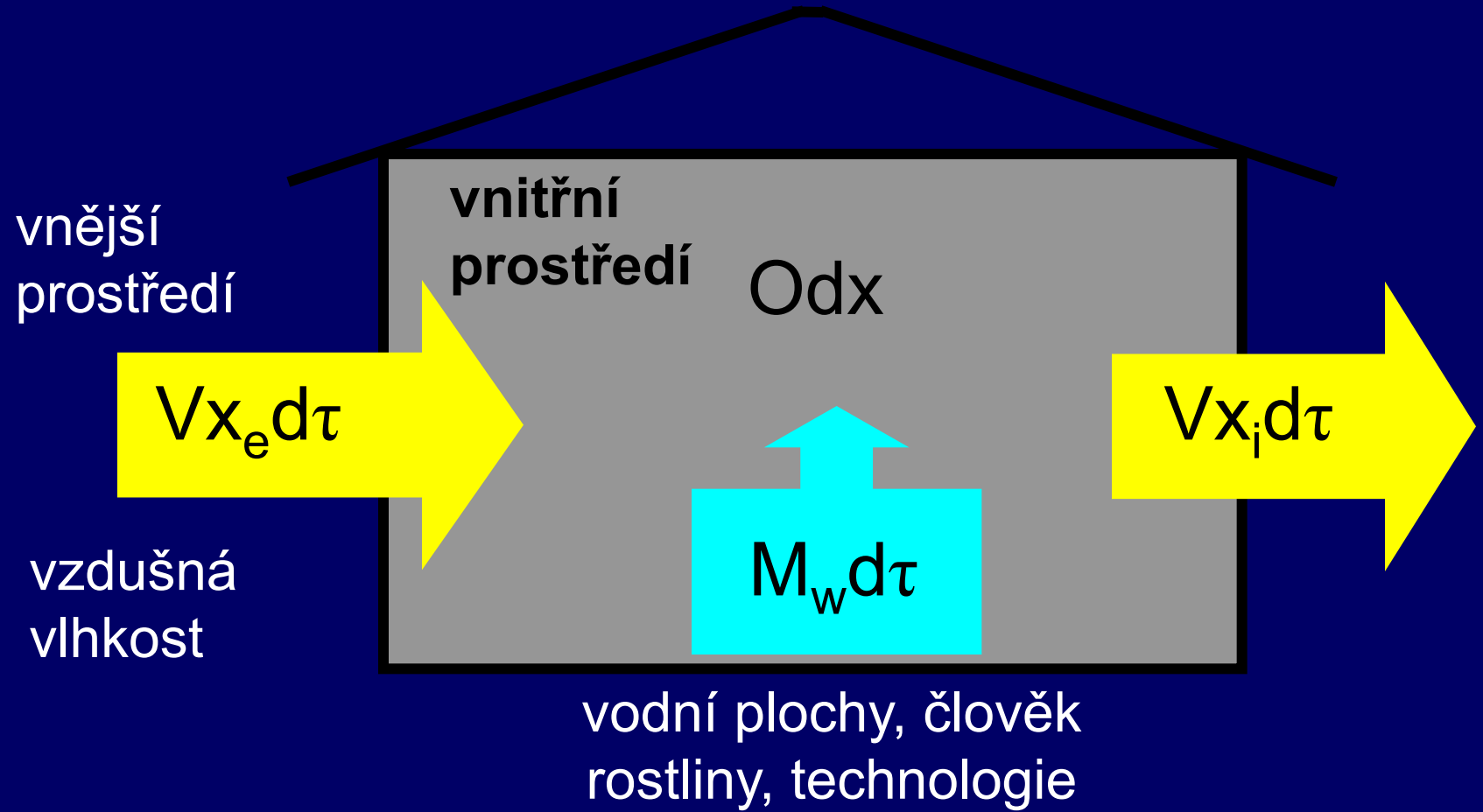
1. Sušení – léto
2. Sušení – zima
3. Řízené odvlhčování (bazén)
4. Vlhčení a chlazení
5. Odmlžování var. 1
6. Odmlžování var. 2
7. Řízené odvlhčování (operační sál)
8. Vlhčení a chlazení

Důvody regulace vlhkosti vzduchu

1. Zachování optimálních vlastností stavebních materiálů (vliv vlhkosti na tepelnou vodivost materiálů a především tepelné izolace, ztráta pevnosti (stability)
2. Hygienické vnitřní prostředí (eliminace kondenzace vodní páry na stavebních konstrukcích - biologické procesy, houby)
3. Tepelná rovnováha člověka - výdej tepla respirací a evaporací lidského organismu
4. Technologické požadavky (textilní průmysl)

Vlhkostní bilance

$$V_e.x_e.\Delta\tau + m_s/\rho.\Delta\tau = V_o.x_i.\Delta\tau + O.\Delta x_{i,i-1}$$



Vlhkostní bilance

$$V_e.x_e.\Delta\tau + m_s/\rho.\Delta\tau = V_o.x_i.\Delta\tau + O.\Delta x_{i,i-1}$$

V_e, V_o … objemové průtoky přiváděného vnějšího a odváděného vzduchu (m^3s^{-1})

x_e, x_i … měrná vlhkost přiváděného vnějšího a vnitřního (odváděného) vzduchu ($g.kg^{-1}$)

m_s … hmotnostní tok vodní páry ($g.s^{-1}$)

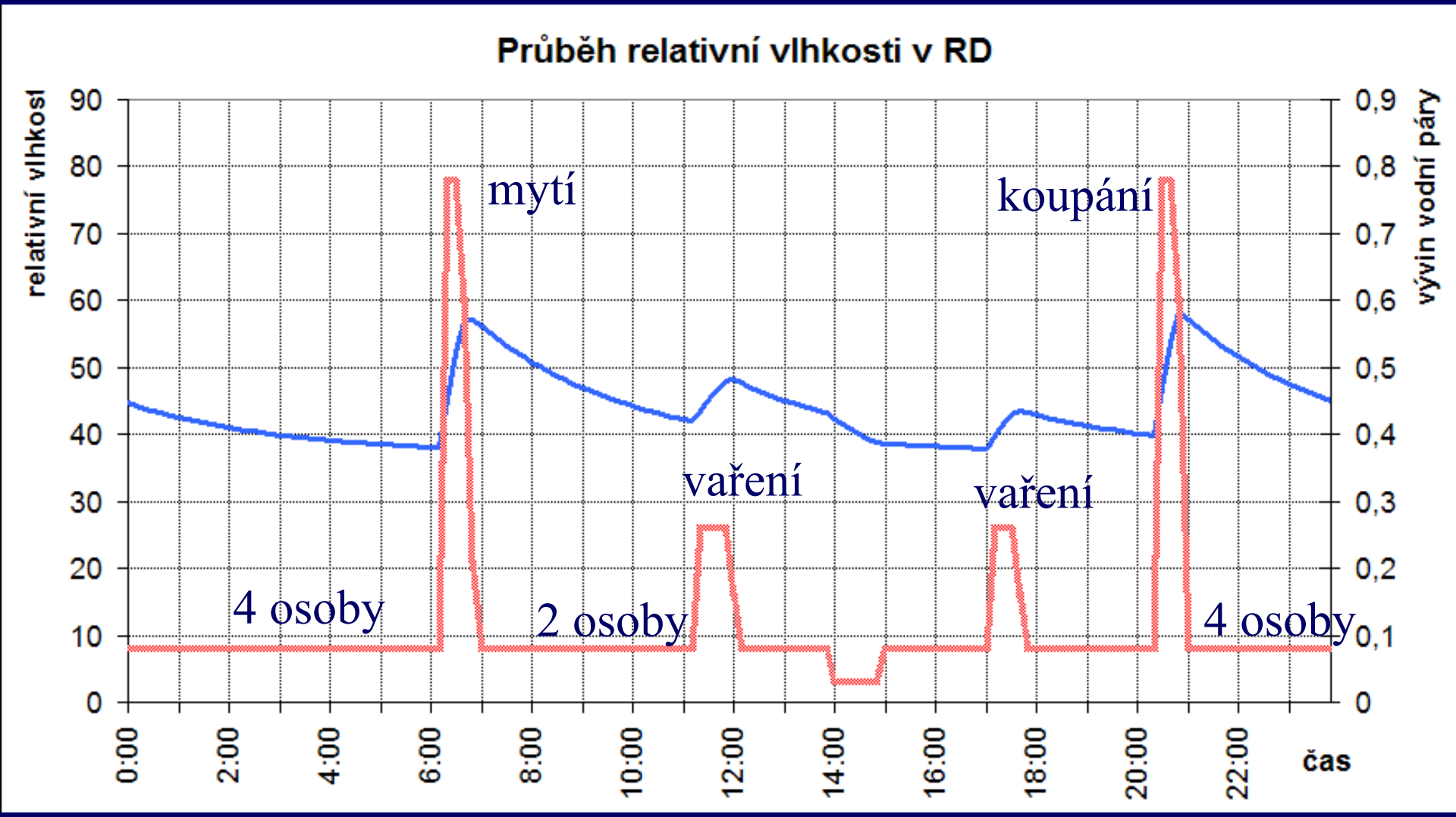
$d\tau$, dx, $\Delta\tau$, $\Delta x_{i,i-1}$ … časový interval, elementární změna měrné vlhkosti (v čase)

O … objem místností (m^3)

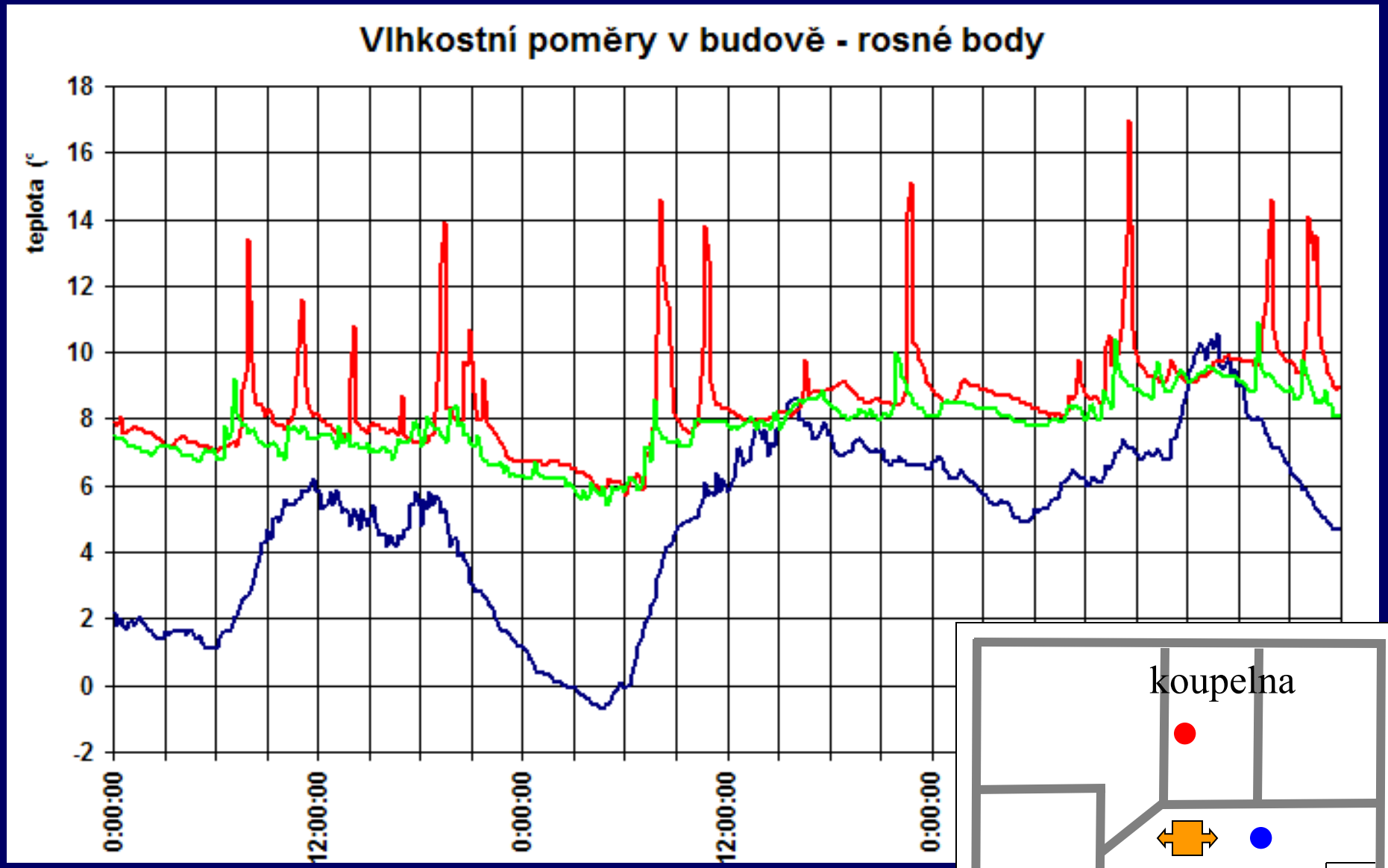
Při trvalém větrání

$$x_i = x_e + \frac{M_w}{V}$$

Průběh vlhkosti vzduchu v RD - výpočet



Průběh vlhkosti vzduchu v RD - měření



Provozy s řízenou vlhkostí

Významné aplikace z hlediska vzduchotechniky

1. Kondenzační odvlhčování prostorů s vysokým vývinem vodní páry při běžné teplotě – bazény
2. Adsorpční odmlžování prostorů s vysokým vývinem vodní páry při nízké teplotě – haly s ledovou plochou
3. Řízení vlhkosti vzduchu v prostorách s úzkými tolerancemi tepelně vlhkostního mikroklimatu – depozitáře
4. Zvlhčování vzduchu v prostorách s požadovanou vysokou vlhkostí vzduchu a tepelnou zátěží – textilní průmysl
5. Průmyslové sušení horkým vzduchem – výroba papíru

Kritéria vlhkosti vzduchu

1. Mez dusna 1636 – 1850 Pa, parciální tlak vodní páry na sliznicích konstantní (teplota ustálená), proto je parametrem p_a
2. Optimální tok vodní páry do prostředí, v horkém prostředí únosný respirační stres člověka – množství vyloučeného potu za směnu
3. Kritická teplota - 80% dosažení rosného bodu (okamžik vzniku a šíření plísní)

Provozy s technologickou vlhkostí

kuchyně

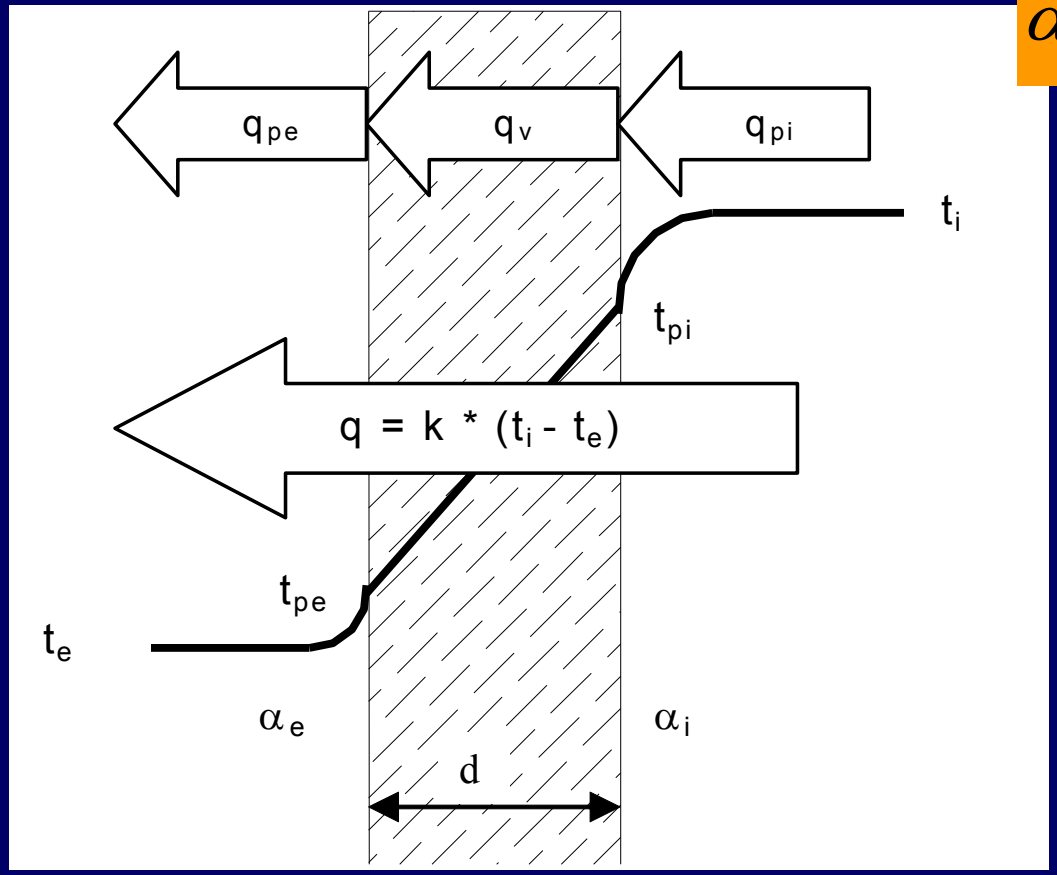
kuchyně

bazény

Povrchová teplota a vznik kondenzace

Kondenzace nastává, je-li teplota povrchu nižší jak teplota rosného bodu vzduchu. Vznik kondenzace tedy závisí na:

- tepelném odporu konstrukce,
- přestupu tepla na vnitřním povrchu (proudění vzduchu),
- tepelně vlhkostním stavu prostředí.



$$\alpha_i \cdot (t_i - t_p) = k \cdot (t_i - t_e)$$

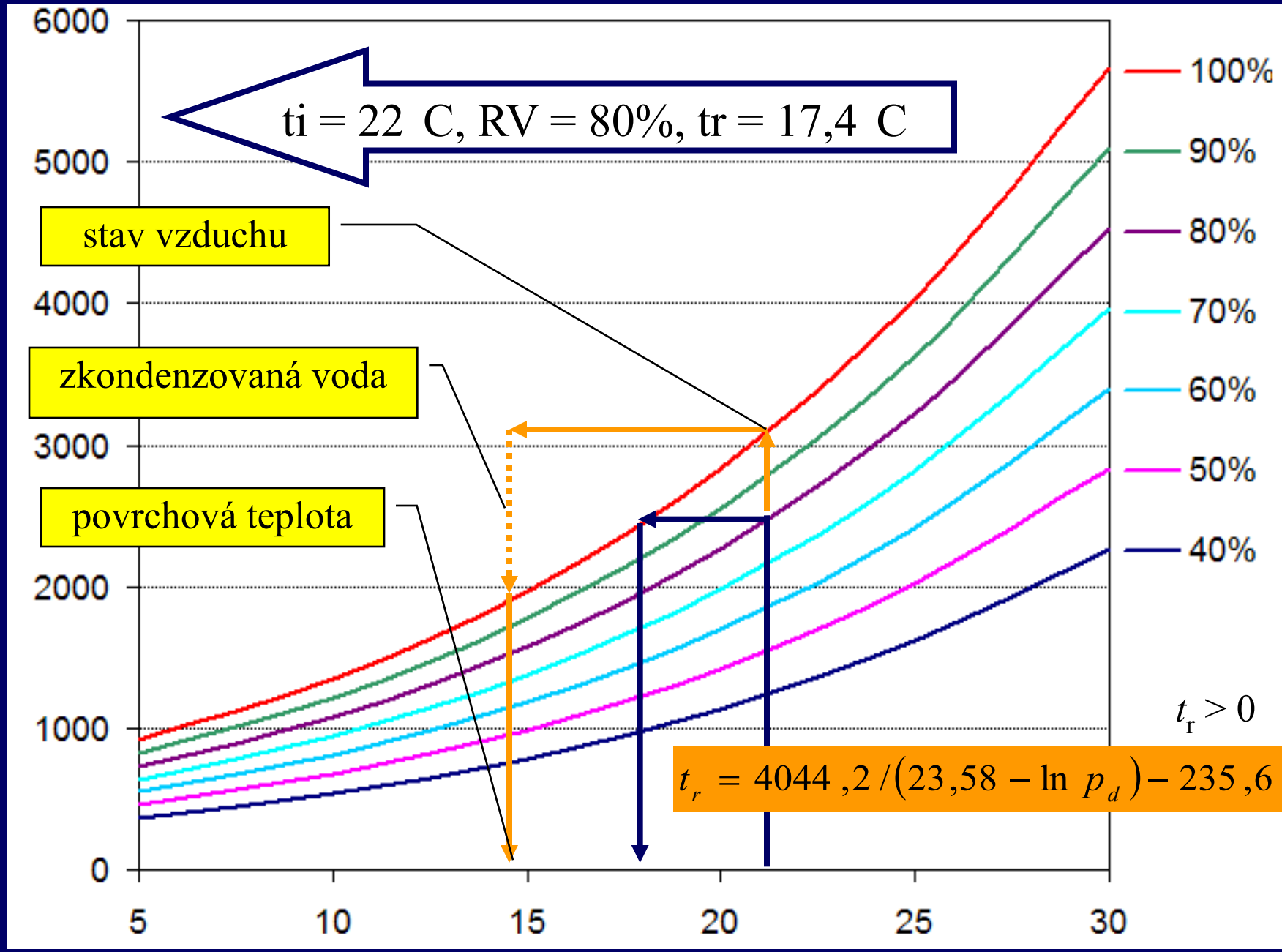
$$t_r = \frac{236 \cdot \ln(p_d) - 1513,867}{23,59 - \ln(p''_d)}$$

Kondenzace na celém povrchu konstrukce

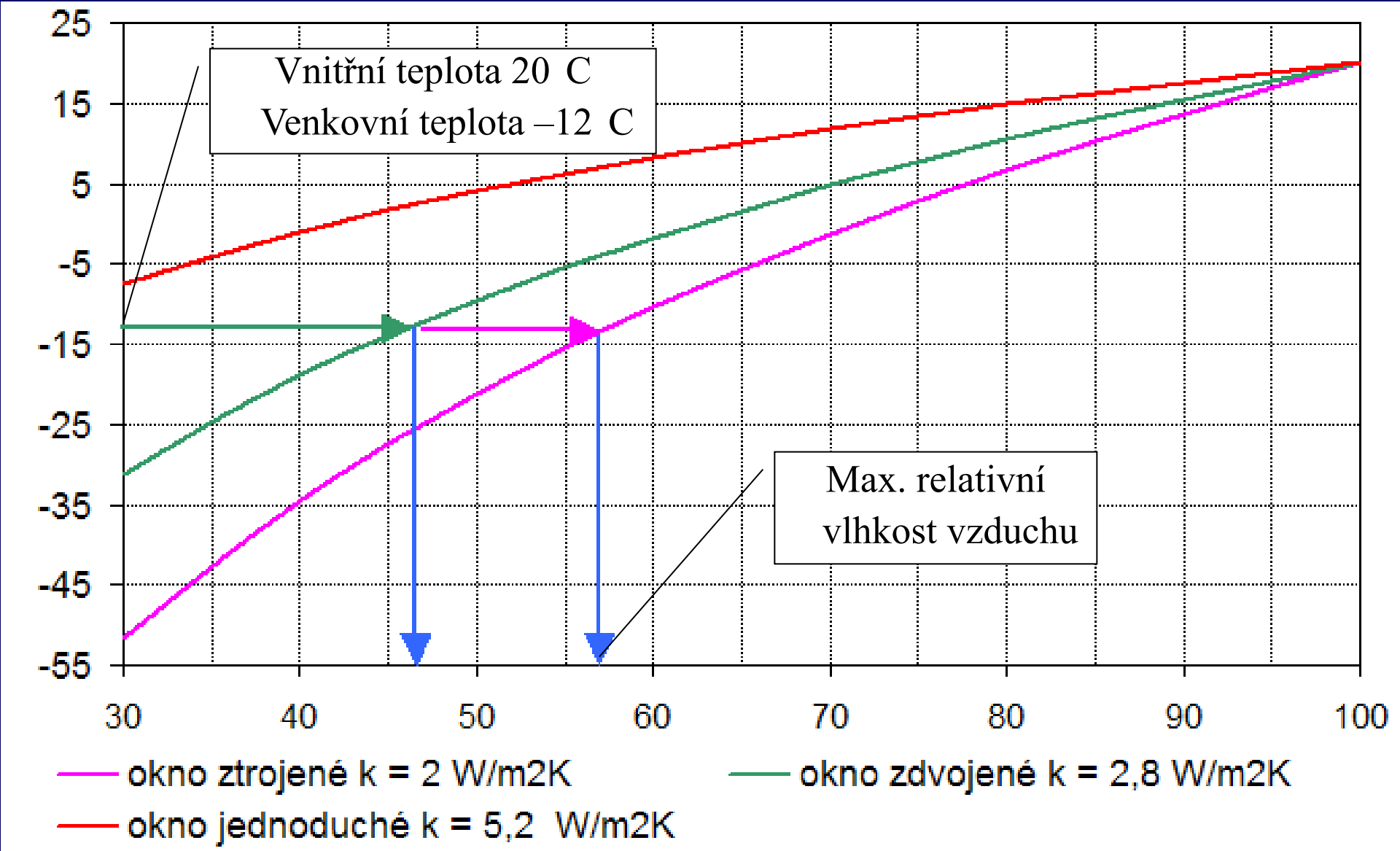
Kondenzace pouze na povrchu tepelného mostu

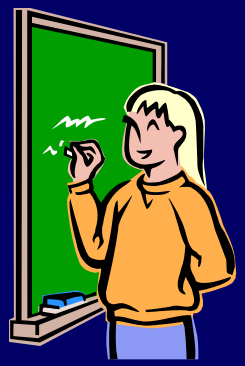
Periodická kondenzace spojená se snížením teploty vnitřního povrchu v důsledku její nedostatečné tepelné setrvačnosti

Stanovení rosného bodu



Stanovení přípustné relativní vlhkosti (povrchová teplota nad rosným bodem)





Příklad – Odvlhčování bazénu

$$\delta = \mathrm{d}h/\mathrm{d}x = \Delta h/\Delta x = Q/m = \frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1}$$

$$\varphi = \exp\left[4044{,}2\left(\frac{1}{235{,}6 + t} - \frac{1}{235{,}6 + t_r}\right)\right]$$

Určete průtok vzduchu pro větrání bazénové haly tak, aby nedocházelo ke kondenzaci na prosklení obvodového pláště. Stanovte přípustnou relativní vlhkost vnitřního vzduchu. Určete teplotu přiváděného vzduchu tak, aby teplovzdušné vytápění pokrylo tepelnou ztrátu haly 10kW. Určete výměnu vzduchu a směrové měřítko změny stavu vzduchu v hale.

U = 1+cif.součet *

$$k \cdot (t_a - t_e) = \alpha_i \cdot (t_a - t_{pi}) = \alpha_e \cdot (t_{pe} - t_e)$$

bazénová hala 70x40x10m

vodní plocha 25x10m

odpar z vodní hladiny 7.10^{-5} kg/m^{2}s

teplota vzduchu v hale 28 C

teplota venkovního vzduchu –10 C

vlhkost venkovního (větracího) vzduchu 1g/kg

$$p_d = \frac{\varphi}{100} \cdot p_d''$$

$$x_i = x_e + \frac{M_w}{V}$$

$$\ln p_d'' = 23{,}58 - \frac{4044{,}2}{235{,}6 + t}$$

$$x = 0{,}622 \cdot \frac{p_d}{p - p_d}$$

* Datum narození 2.3.1865→2+3+1+8+6+5=25 →2+5=7 → 1,7

Příště – Hodnocení tepelně vlhkostního mikroklimatu