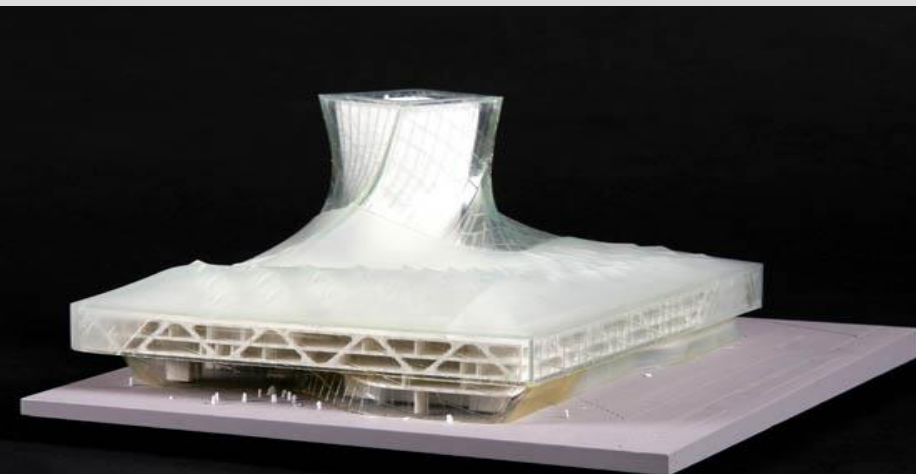




## MATERIÁLOVÉ INŽENÝRSTVÍ – transport vodní páry





## Transport vodní páry porézním prostředím:

Tepelná vodivost vzduchu:  $\lambda = 0,0262 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$

Tepelná vodivost izolantů:  $\lambda = \text{cca } 0,04 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$

Tepelná vodivost vody:  $\lambda = 0,56 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$

**cca 10 - 15x vyšší!!!**

➡ Tepelná izolace budov jde ruku v ruce s otázkou odolnosti stavební konstrukce proti vlhkosti a **kondenzaci vodních par.**

➡ 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.



## NASYCENÁ x NENASYCENÍ VODNÍ PÁRA

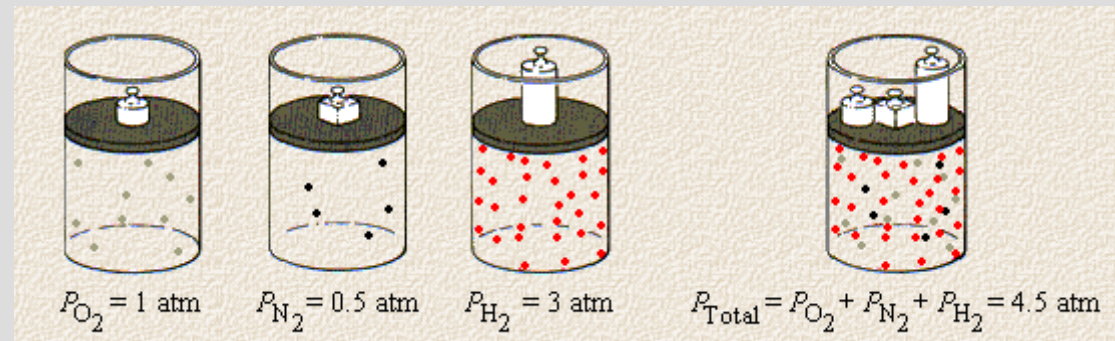
**Nasyčená vodní pára** – maximální množství vodní páry, které se v daném objemu, při dané teplotě a tlaku vyskytuje v plynném skupenství. V případě zvýšení obsahu vlhkosti dochází ke kondenzaci (více vodní páry už se do daného objemu nevejde)

$$RH = 100\% (= 1)$$

**Nenasycená vodní pára** - objem není při dané teplotě a tlaku plně nasycen

$$RH < 100\% (<1)$$

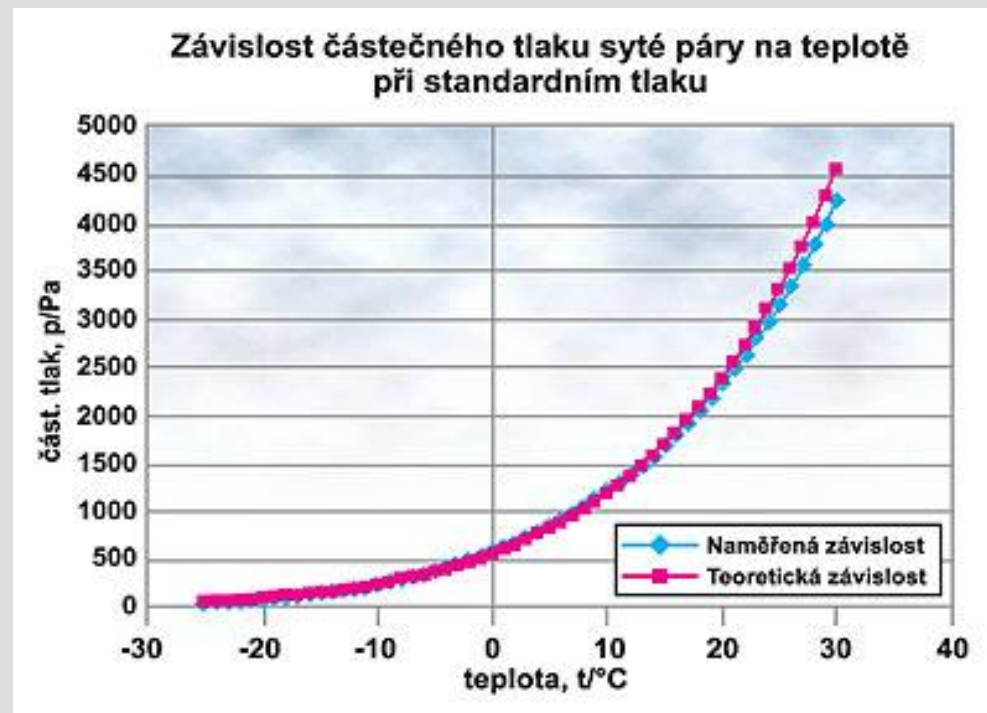
Parciální tlak – tlak jednotlivých složek plynu





## Tlak nasycené vodní páry v závislosti na teplotě

- Parciální tlak vodní páry daného prostředí stoupá od nuly do hodnoty parciálního tlaku syté páry. Další přírůstky vodní páry při nezměněné teplotě kondenzují a obsah vodní páry ve vzduchu dále nezvyšují.
- Parciální tlak vodní páry je **exponenciálně** závislý na teplotě (při vyšších teplotách se do daného objemu vejde výrazně vyšší množství páry než při teplotách nízkých)





## ABSOLUTNÍ x RELATIVNÍ VLHKOST

$$\text{Absolutní vlhkost} - \Phi = \frac{m}{V} [g.m^{-3}]$$

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

$$\text{Relativní vlhkost} - \varphi = \frac{\Phi}{\Phi_{\max}} .100[\%]$$

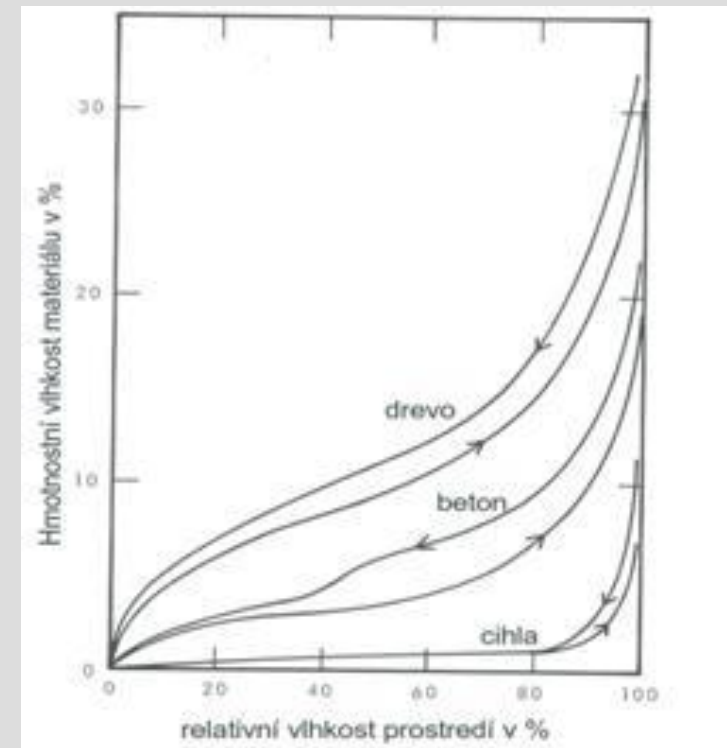
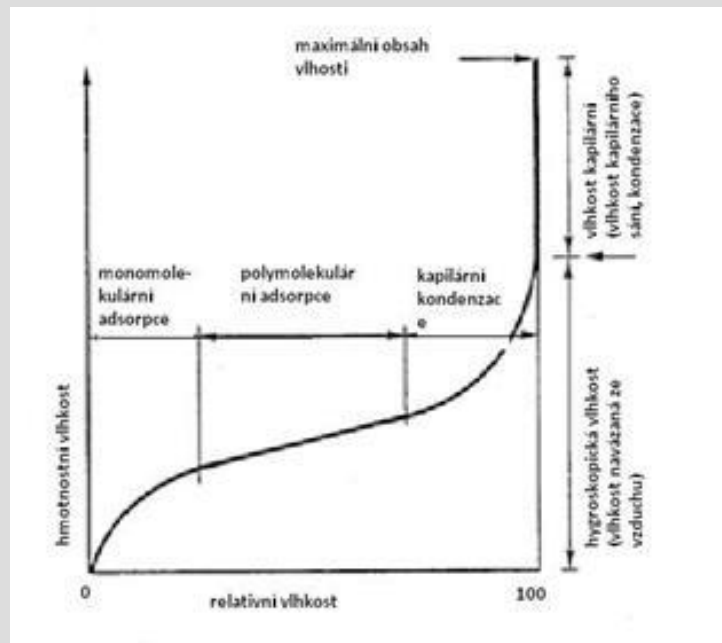
poměr absolutní vlhkosti vzduchu a absolutní vlhkosti vzduchu, který by byl při téže teplotě plně nasycen vodními parami. Relativní vlhkost vzduchu udává míru nasycení vodních par.





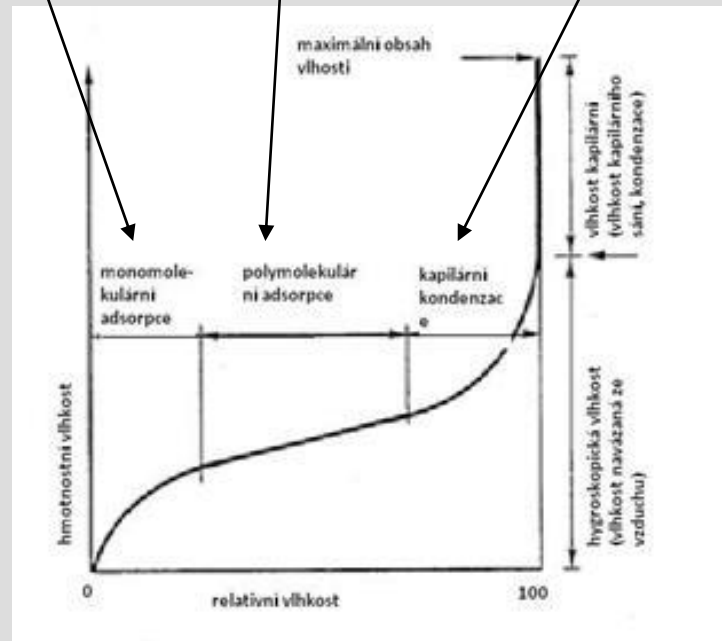
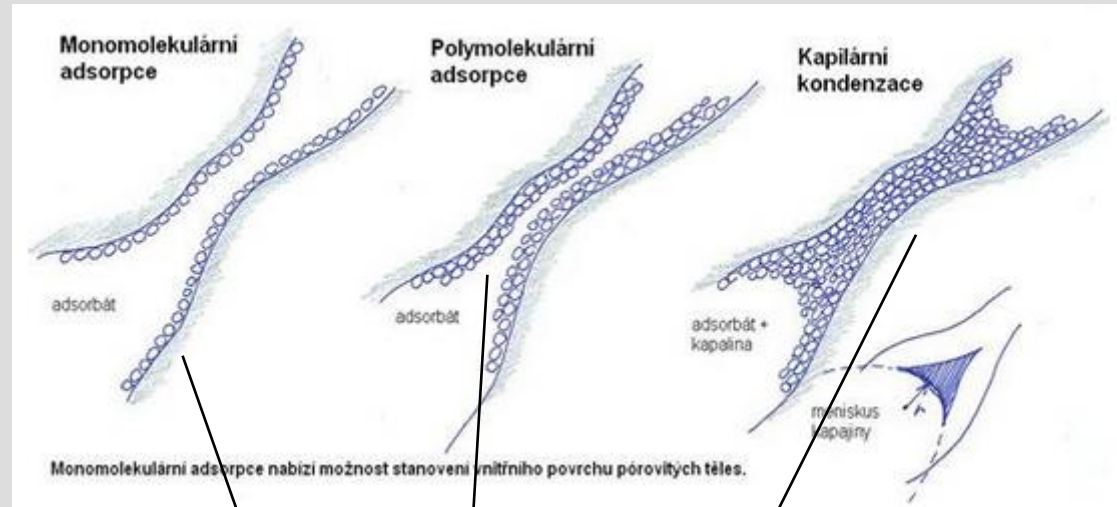
## SORPČNÍ IZOTERMA

- Plyná 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. parciální tlaku vodní páry [Pa] je popsána sorpční izotermou





# SORPČNÍ IZOTERMA





## WET CUP

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

## DRY CUP

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







## MĚŘENÍ TRANSPORTU VODNÍ PÁRY

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**.

pro WET-CUP: Vzorek je vzduchotěsně fixován v misce naplněné vodou.

Miska se vzorkem se periodicky váží a zjištěné úbytky hmotnosti se vynesou v závislosti na době vážení do grafu.

Po dosažení přímkového charakteru křivky se měření pokládá za ukončené a vyhodnotí se.



## SOUČINITEL DIFÚZNÍ VODIVOSTI

$$\delta = \frac{\Delta m \cdot d}{S \cdot \tau \cdot \Delta p_p} \quad [\text{s}]$$

$\Delta m$  – 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]



# STANOVENÍ PARCIÁLNÍHO TLAKU VODNÍ PÁRY

## Wet-cup experiment

**V misce – kapalná voda, která se odpařuje.**

RH = cca 95%.

**Mimo misku – prostředí exteriéru např. klimatizační komora.**

RH = odečtení z měřáku

(během měření musí být parciální tlak vodní páry neměnný).

Teplota je neměnná (bez teplotního spádu).

**Z tabulky se odečte parciální tlak nasycené vodní páry (100%) pro danou teplotu.**

Stanoví se parciální tlak v misce (95% z hodnoty) a parciální tlak nad miskou (např. 40% z hodnoty).

Hnací silou vodní páry vzorkem je rozdíl parciálních tlaků vodní páry uvnitř misky a mimo ní.

$t$ °C	$\rho$ g m <sup>-3</sup>	$p$ Pa
10	9,40	1 227
11	10,01	1 312
12	10,66	1 401
13	11,35	1 497
14	12,06	1 597
15	12,82	1 704
16	13,63	1 817
17	14,48	1 937
18	15,36	2 062
19	16,29	2 196
20	17,29	2 337
21	18,32	2 486
22	19,41	2 642
23	20,57	2 809
24	21,78	2 984
25	23,04	3 168
26	24,37	3 361
27	25,76	3 565
28	27,23	3 780
29	28,75	4 005
30	30,35	4 242



## SOUČINITEL DIFÚZE VODNÍ PÁRY

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

$\delta$  – součinitel difúzní vodivosti [s]

$R$  – univerzální plynová konstanta =  $8,314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$

$T$  – termodynamická teplota [K]

$M$  – molární hmotnost vody =  $0,018 \text{ kg mol}^{-1}$

$2\text{H}$  –  $0,002 \text{ kg mol}^{-1}$

$\text{O}$  –  $0,016 \text{ kg mol}^{-1}$



## FAKTOR DIFÚZNÍHO ODPORU

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

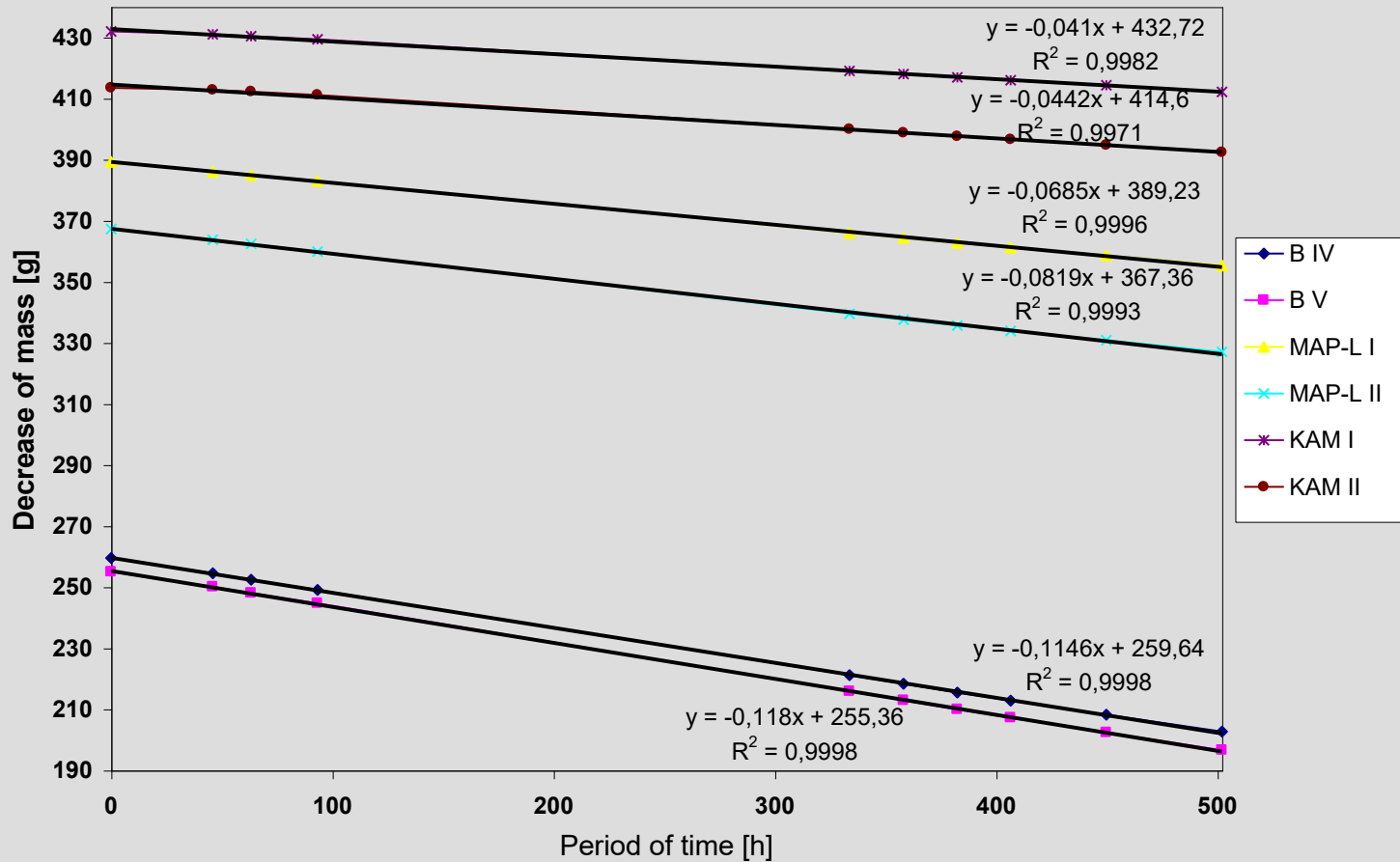
**D** – součinitel difúze vodní páry v látce, materiálu

**D<sub>a</sub>** =  $2,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  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)



Příklad průběhu a vyhodnocení transportu vodní páry porézními materiály – po dosažení lineární závislosti odečtení  $\Delta m$  a  $\tau$



## ÚKOL

Změřte transport vodní páry vybraného materiálu miskovou metodou bez teplotního spádu a vypočítejte **součinitel difúzní vodivosti**, **součinitel difúze vodní páry** a **faktor difúzního odporu** tohoto materiálu.