

Vysoké učení technické v Brně
Fakulta stavební
Ústav pozemního stavitelství



BH059 Tepelná technika budov

Konzultace č. 2

- **Zadání P6, P7**
- **Průběh teplot v konstrukci**
- **Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce**

Průběh teplot v konstrukci, kondenzace vodní páry

Zadání P6:

Téma: **Průběhy teplot a kondenzace vodní páry**

Určete početně a graficky průběhy teplot v konstrukci **S1_S** a **S1_N**.
Stanovte výskyt kondenzace v konstrukci **S1_S**.

Postup výpočtu:

PRŮBĚH TEPLIT V KONSTRUKCI

1. Okrajové podmínky:

Interiér:

$$\theta_i = 20^\circ\text{C}$$

$$\theta_{ai} = 20 + 0,6 = 20,6^\circ\text{C}$$

$$\varphi_i = 50\% + \textcolor{red}{5\%} = 55\%$$

Exteriér:

$$\theta_e = -13^\circ\text{C}, -15^\circ\text{C}, -17^\circ\text{C}$$

- dle zadání

$$\varphi_e = 84\% \text{ pro všechny}$$

Hodnota

Teplota ve sklepě

Teplota pod podlahou

$$\textcolor{red}{R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}}$$

$$\theta_{\text{sklep}} = +10^\circ\text{C}$$

$$\theta_{\text{gr}} = +5^\circ\text{C}$$

2. Početní řešení průběhu teplot:

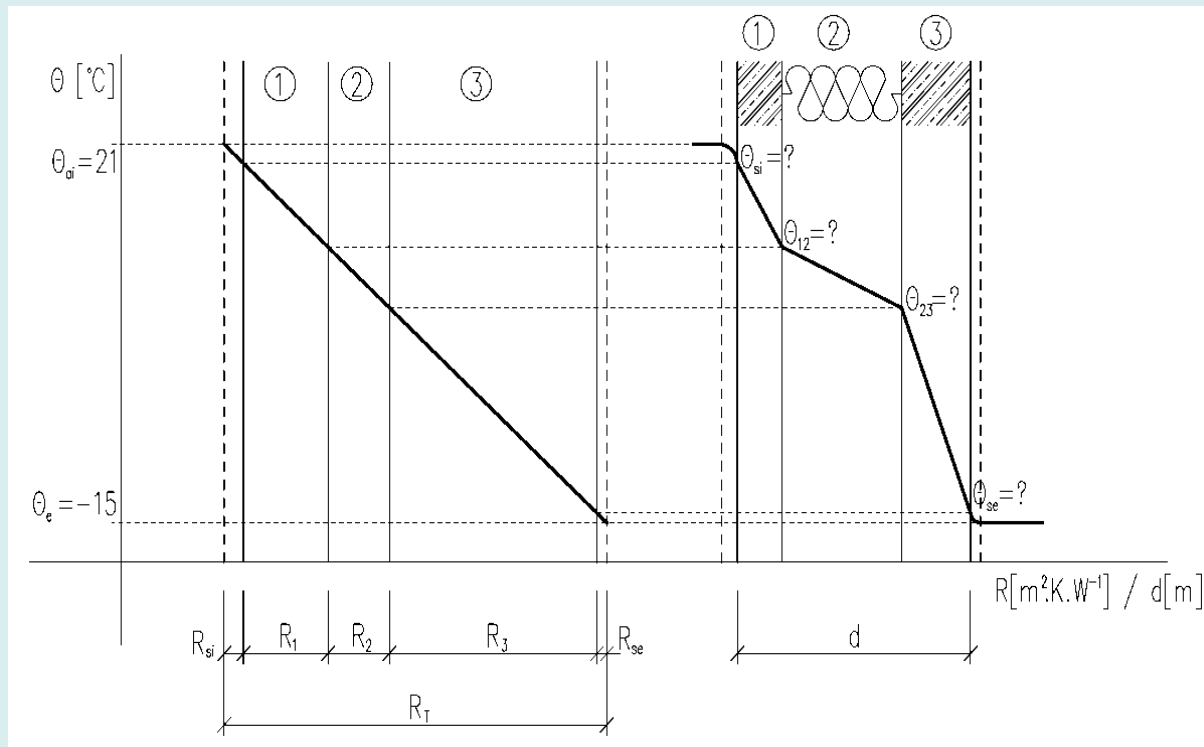
$$\theta_x = \theta_{ai} - \xi_{Rsi} \cdot (1 + R_x / R_{si}) \cdot (\theta_{ai} - \theta_e)$$

$$\text{po dosazení } \xi_{Rsi} = \frac{\theta_{ai} - \theta_{si}}{\theta_{ai} - \theta_e}$$

$$\boxed{\theta_x = \theta_{ai} - U \cdot (R_{si} + R_x) \cdot (\theta_{ai} - \theta_e)}$$

3. Graficko početní metoda průběhu teplot:

- ➔ 1. Na vodorovnou osu vyneseme konstrukci v měřítku tepelných odporů včetně R_{si} a R_{se} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$] – **jedna konstrukce vždy alespoň na 1/2 formátu A4 na milimetrový papír.**
2. Na svislou osu vyneseme teploty θ_{ai} a θ_e [$^{\circ}\text{C}$]
3. Vynést teploty a teploty θ_{ai} a θ_e spojíme přímkou



PROTOKOL P6: (průběh teplot)

Výpočet:

- provedete početně i graficky určení teplot na vnitřním, vnějším povrchu a na rozhraní vrstev posuzovaných konstrukcí.

Závěr:

- tabulka se srovnáním početního a grafického řešení

Přílohy:

- grafy posuzovaných konstrukcí na milimetrovém papíře

Průběh teplot v konstrukci, kondenzace vodní páry

KONDENZACE VODNÍ PÁRY V KONSTRUKCI

1. Určení průběhu teplot v konstrukci

- dopočítat ve čtvrtinách tloušťek jednotlivých vrstev.

2. Vypočítáme difúzní odpor konstrukce Z_p

- dopočítat ve čtvrtinách tloušťek jednotlivých vrstev - pokud je to nutné z hlediska průběhu teplot.

$$Z_p = d/\delta = s_d / \delta_0 \text{ [m/s]}$$

Kde: δ součinitel difúzní vodivosti materiálu (součinitel difúze vodní páry) [s]

δ_0 součinitel difúzní vodivosti vzduchu [s] - **závisí na teplotě a atmosférickém tlaku vzduchu**

• Odpor konstrukce při prostupu vodní páry Z_{pT}

$$Z_{pT} = Z_{pi} + Z_p + Z_{pe}$$

- hodnoty Z_{pe} a Z_{pi} lze zanedbat

3. Stanovení hodnot částečného tlaku vodní páry nasycené vodní páry $p_{v,sat,x}$ na rozhraní jednotlivých vrstev a výpočet hodnot p_{vi} a p_{ve}

· Částečný tlak vodní páry v libovolném místě konstrukce

$$p_{vx} = p_{vi} - \frac{Z_{pi} + Z_{px}}{Z_{pT}} (p_{vi} - p_{ve})$$

· Při zanedbání hodnot Z_{pi} a Z_{pe}

$$p_{vx} = p_{vi} - \frac{Z_{px}}{Z_p} (p_{vi} - p_{ve})$$

· Stanovení hodnot p_{vi} a p_{ve}

$$p_{vi} = \frac{(\varphi_i \cdot p_{v,sat,i})}{100}$$
$$p_{ve} = \frac{(\varphi_e \cdot p_{v,sat,e})}{100}$$

4. Grafické řešení oblastí kondenzace

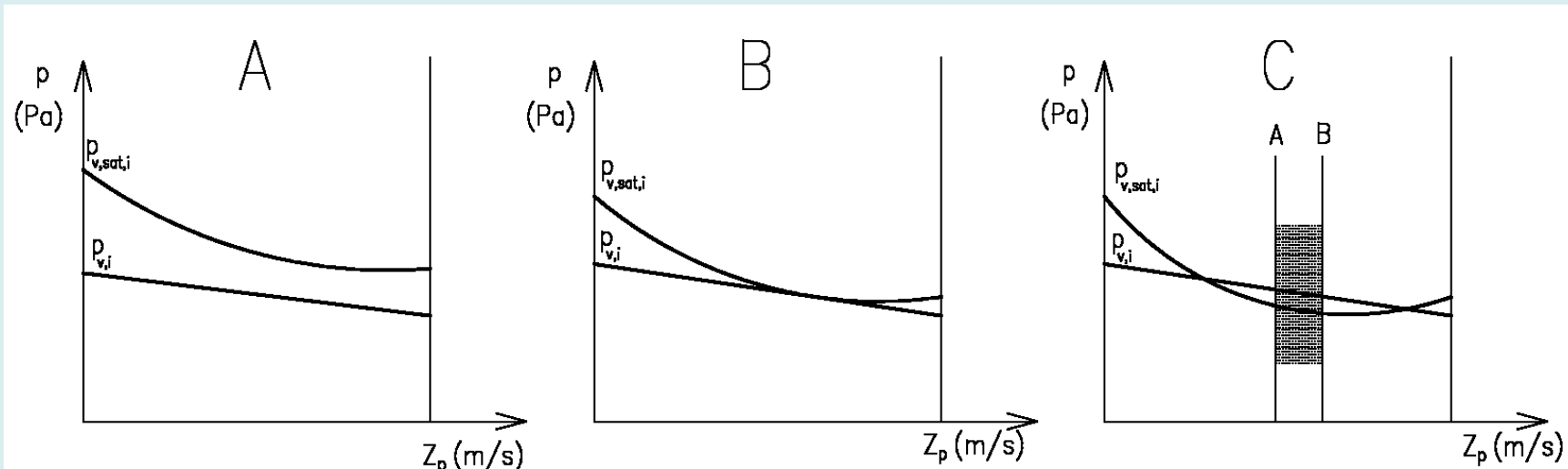
Pomocí graficko – početní metody:

- 1. Stanovení průběhu teplot v konstrukci** za ustáleného teplotního stavu (graficky nebo početně);
 1. Určení **difúzního odporu** konstrukce Z_p ;
- 2. Vynesení grafu** – svislá osa v měřítku tlaků a vodorovná v měřítku difúzních odporů;
3. Na základě průběhu teplot zjistíme a zakreslíme průběh částečného tlaku nasycené vodní páry – **křivka $p_{v,sat}$**
4. Stanovení průběhu částečného tlaku vodní páry v konstrukci – **křivka p_v** ;
5. Pokud v celé konstrukci platí že:
 - $p_x < p_{v,sat}$ **NEDOCHÁZÍ KE KONDENZACI VODNÍ PÁRY UVNITŘ KCE.**
 - $p_x \geq p_{v,sat}$ **DOCHÁZÍ KE KONDENZACI VODNÍ PÁRY UVNITŘ KCE.**
7. Stanovíme oblast (rovinu) kondenzace.

Oblast kondenzace vodní páry

Oblast (případně rovinu), ve které ke kondenzaci vodní páry dochází, určíme následovně:

- **vedeme tečny** z bodů p_{vi} a p_{ve} ke křivce průběhů částečných tlaků nasycené vodní páry (čára $p_{v,sat}$)
- **body dotyku A a B vymezují oblast kondenzace;**
- pokud $A = B$, mluvíme o **kondenzační rovině** (většinou na rozhraní vrstev materiálů).



A – nedochází ke kondenzaci, B – dochází ke kondenzaci (kondenzační rovina), C – dochází ke kondenzaci (kondenzační oblast)

PROTOKOL P6: (oblast kondenzace)

Výpočet:

- provést výpočet hodnot

Zpracovat do tabulky tak, aby bylo možno kontrolovat Z_p :

Vrstva	d_j [m]	δ_j [s]	Z_p [m.s ⁻¹]

- zapsat parciální tlaky do přehledné tabulky

	θ_{ai}	θ_{si}	$\theta_{l,1/4}$	$\theta_{l,1/2}$	$\theta_{l,3/4}$	...	θ_{se}	θ_e
θ_x [°C]						...		
p_{sat} [Pa]	X	X	X	X	X	...	X	X
p_i, p_e [Pa]	X					...		X

– částečný tlak nasycené vodní páry p_{sat} – tab. K.2 , ČSN 730540-3, v závislosti na teplotě

– částečný tlak vodní páry $p_i = \frac{\varphi_{i,u}}{100} \times p_{sat,i}$ [Pa], $p_e = \frac{\varphi_e}{100} \times p_{sat,e}$ [Pa].

Závěr:

- vyhodnocení, zda při venkovní návrhové teplotě dochází, případně nedochází ke kondenzaci vodní páry
- určit a zakreslit hodnoty Z_{pA} a Z_{pB}
- návrh (slovně), jak byste zabránili případné kondenzaci vodní páry uvnitř posuzované konstrukce

Přílohy:

- grafy posuzovaných konstrukcí na milimetrovém papíře

Celoroční bilance vodní páry v konstrukci

Zadání P7:

Téma: **Vlhkostní bilance**

Určete roční množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a}$ a roční množství vypařitelné vodní páry $M_{ev,a}$ u konstrukce obvodové stěny **S1_s**. Porovnejte s požadavky danými normou. (rozsah venkovních teplot od -15°C do $+25^{\circ}\text{C}$, po kroku 5°C)

Postup výpočtu:

PRŮBĚH TEPLIT V KONSTRUKCI

1. Okrajové podmínky:

Interiér:

$$\theta_i = 20^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_{ai} = 20 + 0,6 = 20,6^{\circ}\text{C}$$

$$\varphi_i = 50\% + 5\% = 55\%$$

Exteriér:

$$\theta_e = -13^{\circ}\text{C}, -15^{\circ}\text{C}, -17^{\circ}\text{C}$$

- dle zadání

$$\varphi_e = 84\% \text{ pro všechny}$$

Hodnota

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2.\text{K}.\text{W}^{-1}$$

2. Určení hodnot:

- princip výpočtu je stejný jako v předchozím zadání – určování oblasti kondenzace vodní páry v konstrukci. Mění se teplota venkovního vzduchu, která simuluje průběh teplot v průběhu roku - celý výpočet bude shrnut do TABULKY, která je k dispozici na intranetu.

Vyplnit v tabulce:

1. řádky 1 až 7 v tabulce :

- řádek 1: $p_{sat,e}$ pro venkovní teplotu z tabulky K.2, ČSN 73 0540-3:2005
- řádek 2: φ_e z tabulky H.4, ČSN 73 0540-3:2005
- řádek 3: p_e spočítají
- řádek 4: θ_{ai} znáte (teplota vnitřního vzduchu)
- řádek 5: $p_{sat,i}$ jedna hodnota pro vnitřní teplotu
- řádek 6: s přírážkou 5% $\Rightarrow \varphi_{a,i} = 55\%$
- řádek 7: p_i spočítají

3. Grafické stanovení oblasti kondenzace:

- do NOVEHO GRAFU stanovte oblast kondenzace pro venkovní návrhové teploty (od -15 do $+25^{\circ}\text{C}$, po kroku 5°C – všechny teploty zakreslit do jednoho grafu pro jednu konstrukci)
- určení hranic bodů A a B

4. Dosazení zjištěných hodnot z grafu do tabulky:

- doplnit řádky 8, 10 a 12, 14 do tabulky
- řádky 9 a 13 vypočítat dle uvedených vztahů v tabulce

5. Určení hustot difúzního toku vodní páry a dílčí množství zkonden. nebo vypařitelné vodní páry

- doplnit řádky 11 a 15 a řádky 16 a 20

Hustota toku vodní páry g_A , která proudí od vnitřního povrchu do začátku oblasti kondenzace A [$\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$];

$$g_A = \frac{(p_{v,i} - p_{v,sat,A})}{Z_{pA}}$$

Hustota toku vodní páry g_B , která proudí z konce oblasti kondenzace B k vnějšímu povrchu [$\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$];

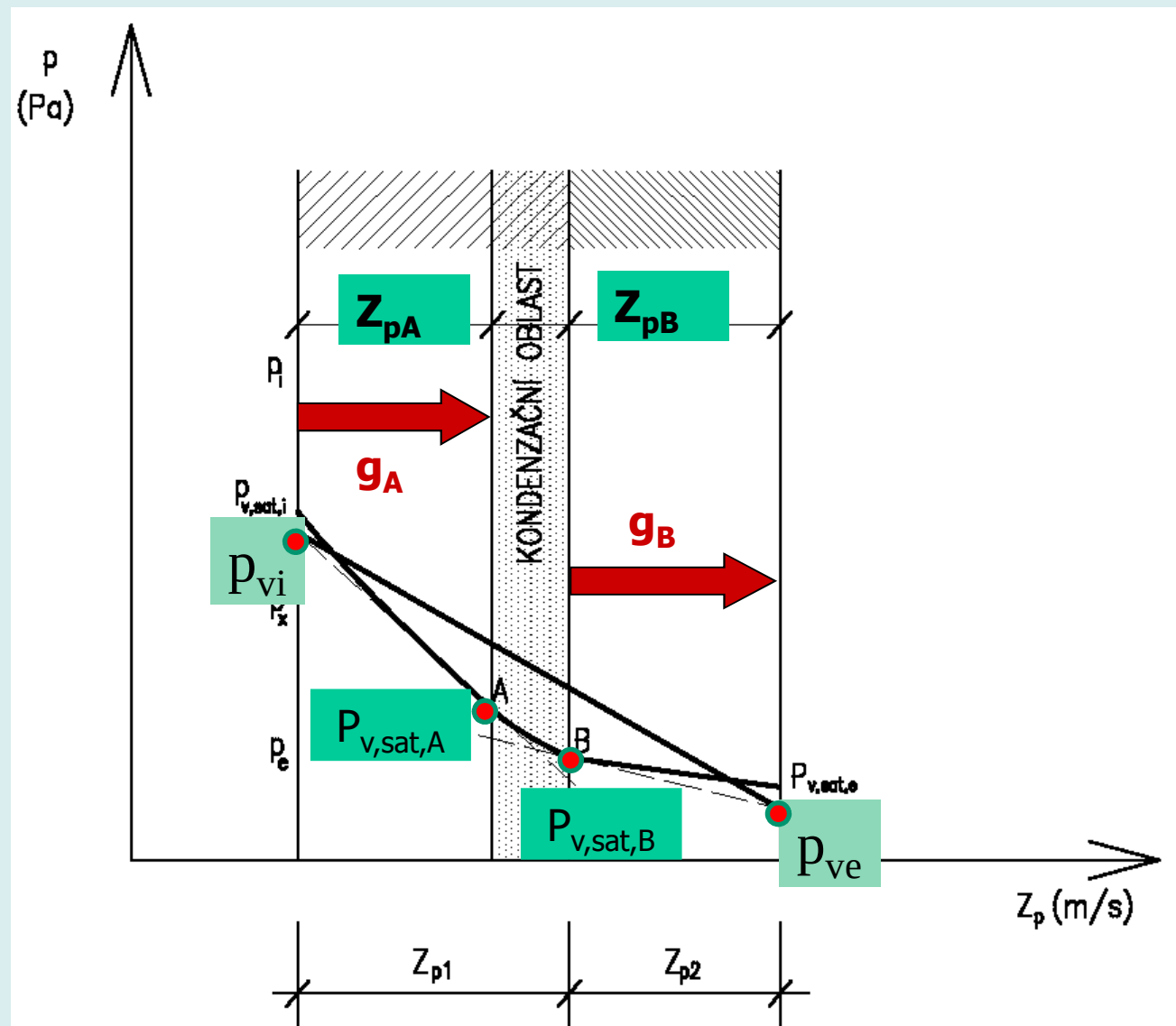
$$g_B = \frac{(p_{v,sat,B} - p_{v,e})}{Z_{pB}}$$

Dílčí množství zkondenzované nebo vypařené vodní páry [kg.m^{-2}];

$$M_{aj} = (g_{Aj} - g_{Bj}) \cdot t_{ej}$$

Kladná hodnota M_a – dochází ke **kondenzaci** vodní páry.

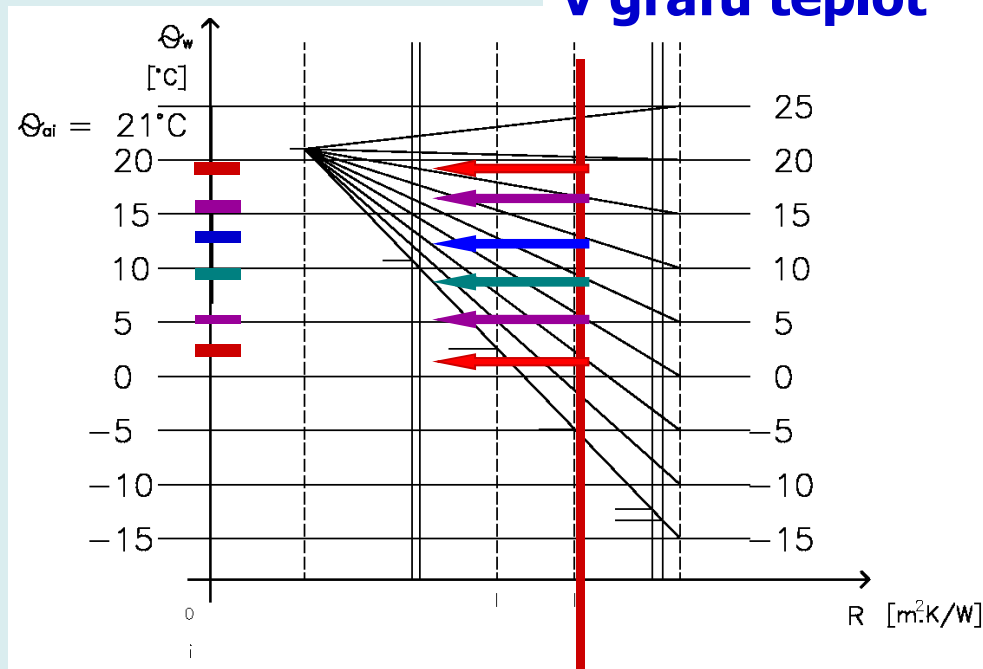
Záporná hodnota M_a – dochází k **vypařování** vodní páry.



Určování hodnot $p_{v,sat,A}$, $p_{v,sat,B}$ při odpařování vodní páry z konstrukce

Pro hodnoty θ_e vyšší, než t_a , při které dojde ke splnutí bodů $A = B$, nedochází již ke kondenzaci, ale k odpařování vodní páry, proto se dále nevynáší křivka tlaků $p_{v,sat}$.

poloha kondenzační roviny
v grafu teplot



pro danou teplotu v kondenzační rovině se v tab. odečítá hodnota $p_{v,sat}$ která je současně hodnotou $p_{v,sat,A}$ i $p_{v,sat,B}$.

Výpočet:

- výpočet bude proveden do tabulky s pomocí grafů

Závěr:

- vyhodnocení tří požadavků dle normy ČSN 73 0540-2:2011 + Z1:2012 (podrobněji rozepsat i do Postupu výpočtu - obecně)

Přílohy:

- grafy průběhu teplot v konstrukcích
- grafy oblasti kondenzace – VŠE PODROBNĚ PROKÓTOVÁNO!!!
- vyplněná tabulka

ZÁVĚR:

Stavební konstrukce musí být navržena tak, aby v ní **nedocházelo ke kondenzaci vodní páry**, pokud by **zkondenzovaná vodní pára ohrozila její požadovanou funkci**.

(např. ztráta statických vlastností vlivem zvýšené hmotnosti, ztráta tepelně izolačních schopností, zkrácení životnosti atd.)

Pro dodržení tohoto kritéria se buď:

- **zamezí kondenzaci** vodní páry v konstrukci;
- nebo se **stanoví podmínky pro vyloučení jejich negativních důsledků**.

U konstrukcí, kde by byla ohrožena jejich požadovaná funkce musí platit:

$$M_{c,a} = 0$$

Pro ostatní konstrukce musí být splněny podmínky:

$$M_{c,a} < M_{ev,a}$$

$$M_{c,a} \leq M_{ca,N}$$

Množství zkondenzované vodní páry musí splňovat podmínku:

- u **jednoplášťových střech a obvodových konstrukcí s materiálem s vysokým difúzním odporem na straně exteriéru** (např. vnější kontaktní zateplovací systém), u konstrukcí se zabudovanými **dřevěnými prvky**, nižší z hodnot:

$M_{c,a,N} \leq 0,10 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ a})$ a nebo **3 % plošné hmotnosti materiálu**, ve kterém dochází ke kondenzaci vodní páry, pokud je jeho objemová hmotnost **vyšší než $100 \text{ kg}/\text{m}^3$** , v ostatních případech se použije **6 % jeho plošné hmotnosti**

- u **ostatních konstrukcí**, nižší z hodnot:

$M_{c,a,N} \leq 0,50 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ a})$ a nebo **5 % plošné hmotnosti materiálu**, ve kterém dochází ke kondenzaci vodní páry, pokud je jeho objemová hmotnost **vyšší než $100 \text{ kg}/\text{m}^3$** , v ostatních případech se použije **10 % jeho plošné hmotnosti**