

BH059 Tepelná technika budov

- 
- **Přídavný difúzní odpor**
 - **Výpočet roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry v konstrukci - ručně**
 - **Výpočet roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry v konstrukci**

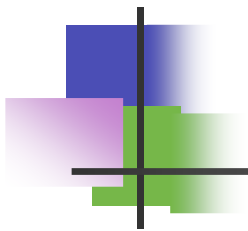
Ing. Danuše Čuprová, CSc.
Ing. Sylva Bantová, Ph.D.

Pro určení **roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry** uvnitř konstrukce je nutné:

- stanovení průběhu teplot v kci;
- stanovení oblasti kondenzace;

Kondenzace vodní páry se vždy stanovuje s **bezpečnostní vlhkostní přírážkou $\Delta\varphi_i = 5\%$** potom **$\varphi_i = 55\%$** pro obytné budovy.

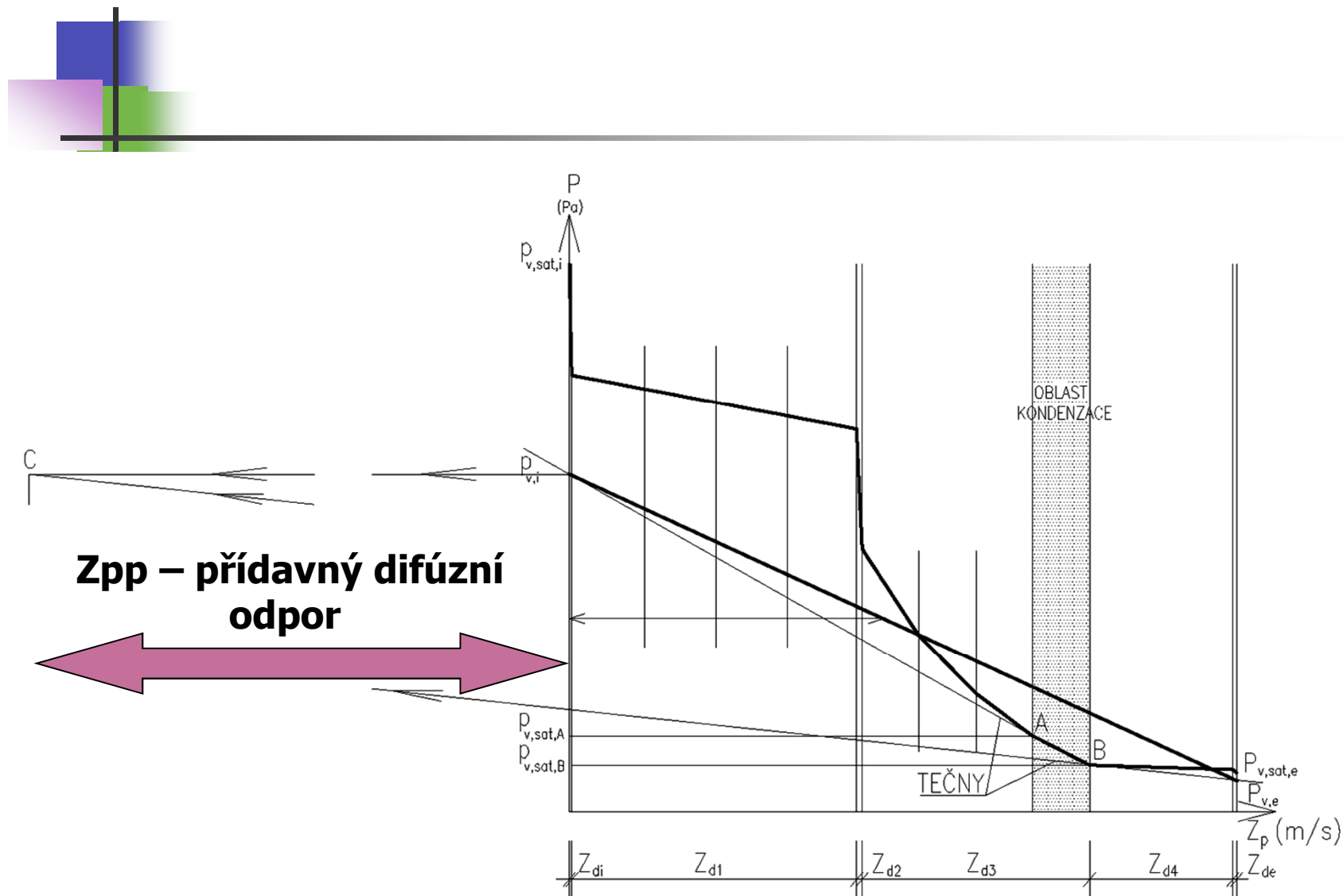
Přednáška č. 4



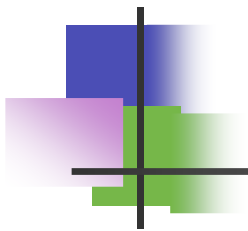
Přídavný difúzní odpor

- Kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce se dá zabránit přidáním parotěsné vrstvy na vnitřní stranu konstrukce.
- Nutný difúzní odpor této vrstvy zjistíme graficky z grafu určení oblasti kondenzace uvnitř konstrukce.

Úprava musí zajistit, že hustota difúzního toku je v celé stěně konstantní, průběh částečných tlaků vodní páry je lineární a leží pod křivkou částečných tlaků nasycené vodní páry (v krajním případě se jí může dotýkat).



Určení přídavného difúzního odporu z grafu



Zkondenzované a vypařitelné množství vodní páry – ruční výpočet

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 bud':

- **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:

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

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



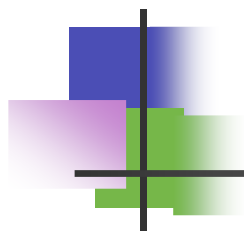
Množství zkondenzované vodní páry musí splňovat podmínku:

- 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**



Požadavky $M_{c,a}$ a $M_{ev,a}$ se uplatňují pouze pro vnější a vnitřní konstrukce s **výjimkou konstrukcí přilehlých k zemině**. U konstrukcích přilehlých k zemině, u kterých je požadováno vyloučení kondenzace vodní páry (např. u **podlahy se zabudovanými dřevěnými prvky**) se uplatní požadavek na **$M_{c,a} = 0$** .

Výpočet roční bilance lze provádět:

- bez vlivu Slunce:

$$M_a = (g_A - g_B) \cdot t_c \quad [\text{kg/m}_2]$$

- s vlivem Slunce se provádí dva výpočty, které se sečtou:

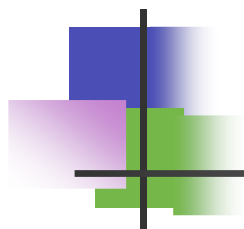
- při zatažené obloze

$$M_{az} = (g_A - g_B) \cdot t_z$$

- při jasné obloze

$$M_{aj} = (g_A - g_B) \cdot t_j$$

sečtení výpočtů **$(M_a = M_{az} + M_{aj})$**



Výpočet **s vlivem Slunce** lze použít pouze u konstrukcí nezastíněných po celou dobu jejich životnosti a u konstrukcí bez větrané vzduchové vrstvy.

Při výpočtu s jasnou oblohou je nutné vypočítat **ekvivalentní teplotu vnějšího vzduchu** (u osluněných konstrukcí dojde ve vrstvě blízko vnějšího povrchu ke zvýšení teploty vzduchu).

Veličiny ve výpočetních vztazích:

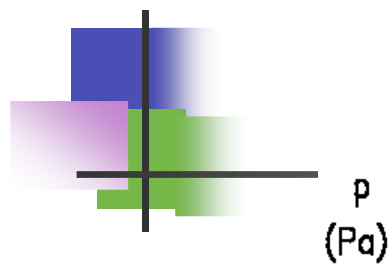
t_c celková doba trvání teploty venkovního vzduchu, stanovuje se dle ČSN podle teplotní oblastí v zimním období [s];

t_s doba trvání zatažené oblohy [s];

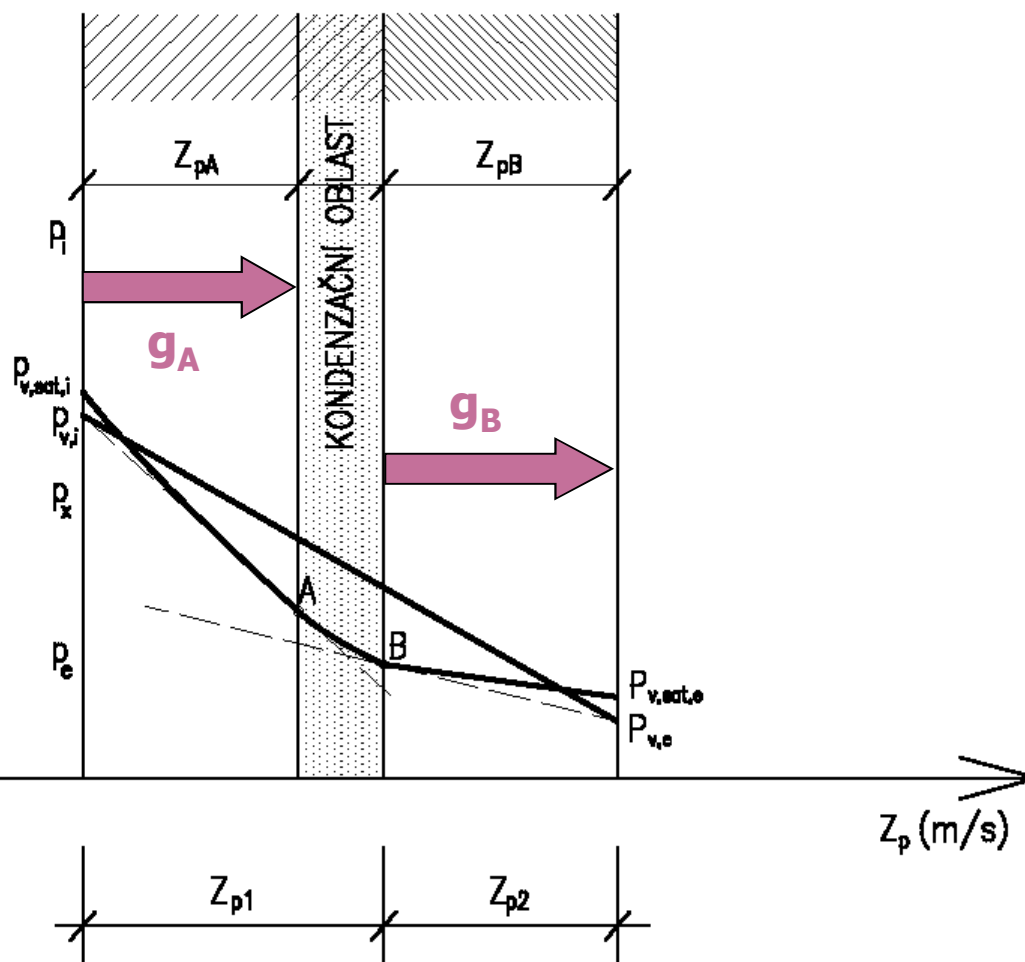
t_j doba trvání jasné oblohy [s];

g_A hustota difúzního toku vodní páry, která proudí konstrukcí **od vnitřního líce k hranici A oblasti kondenzace** [kg/m²s];

g_B hustota difúzního toku vodní páry, která proudí konstrukcí **od hranice B oblasti kondenzace k vnějšímu povrchu** [kg/m²s].



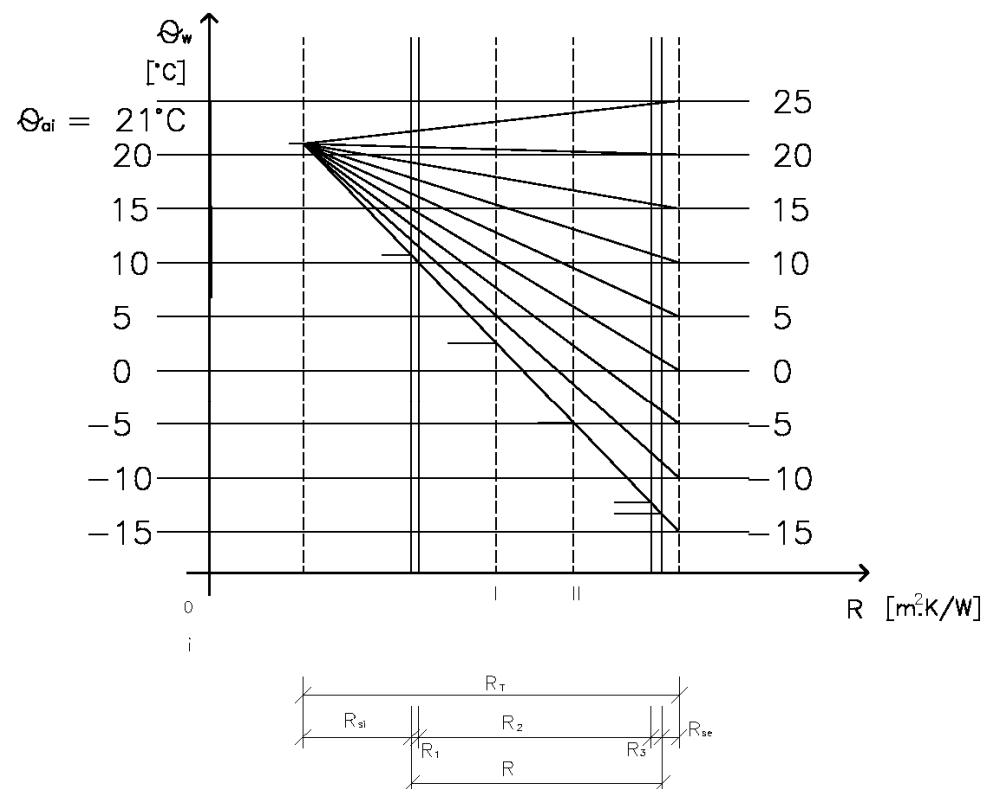
p
(Pa)

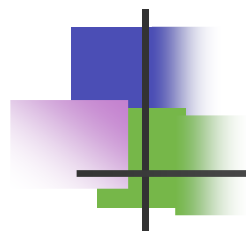


Výpočet roční balance vodních par

Pomocí graficko – početní metody (Určení je možné i jen pomocí výpočetních vztahů pomocí základní podmínky $p_x \geq p_{v,sat}$):

- 1. Grafické stanovení průběhů teplot v konstrukci** za ustáleného teplotního stavu (pro teploty exteriéru θ_e od **-20°C do +25°C** a pro teplotu interiéru θ_i **+20°C**;





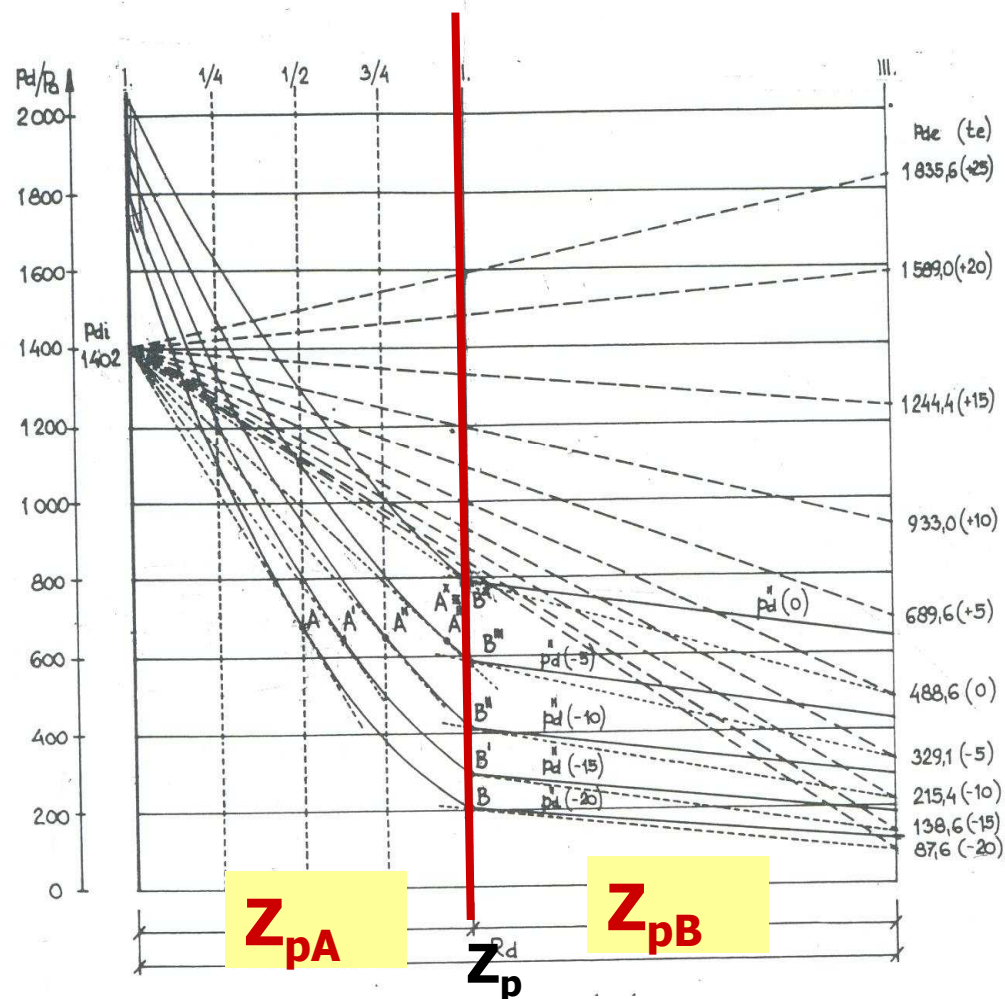
2. Grafické stanovení oblastí kondenzace vodní páry (vždy pro každou teplotu venkovního vzduchu);

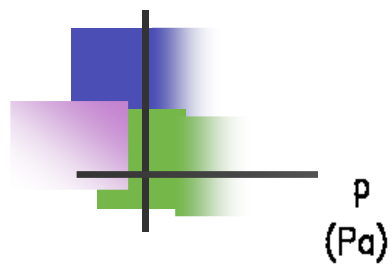
- $p_x < p_{v,sat}$

NEDOCHÁZÍ KE KONDENZACI VODNÍ PÁRY UVNITŘ KCE.

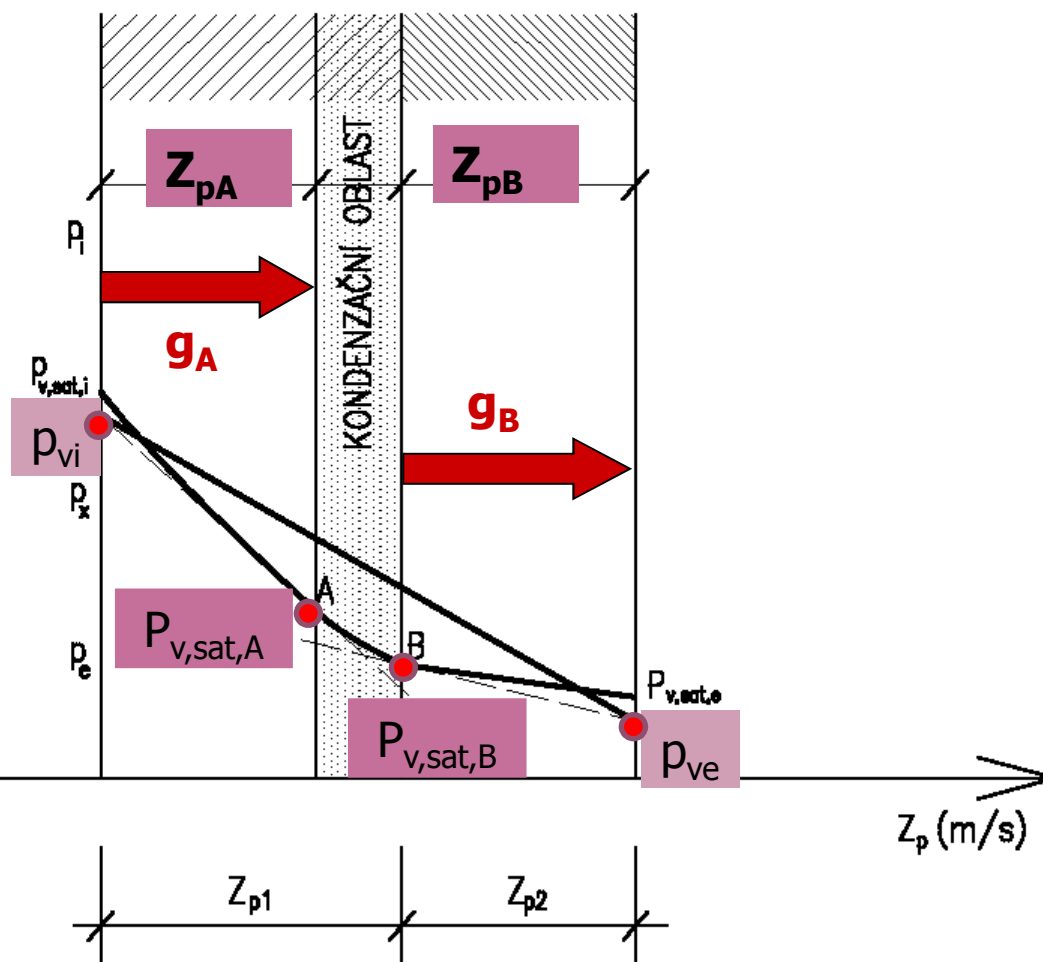
- $p_x \geq p_{v,sat}$

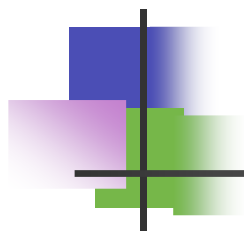
DOCHÁZÍ KE KONDENZACI VODNÍ PÁRY UVNITŘ KCE
(oblast, rovina) → určíme roční bilanci.





p
(Pa)

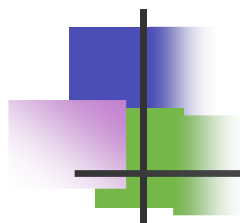




- Oblast kondenzace se při vyšších teplotách exteriéru **zmenšuje**, až splyne v **kondenzační rovinu**. Potom v rovině **$A = B$** na základě teplot v kondenzační rovině (**při různých teplotách vnějšího vzduchu jsou i tyto teploty různé**) hledáme v tabulce $p_{v,sat}$ protože, **$p_{v,sat,A} = p_{v,sat,B}$** .

Pro kterou hodnotu θ_e dojde ke splynutí bodů **$A = B$** platí **$p_{v,sat,A} = p_{v,sat,B}$** , bereme do výpočtu pro další hodnoty θ_e tj. vyšší, kdy nedochází již ke kondenzaci, hodnoty $p_{v,sat,A} = p_{v,sat,B}$ odečtené **v rovině splynutí bodů $A = B$** , tj. **nemusí se dále vynášet křivka tlaků $p_{v,sat}$** , ale stačí pro danou teplotu odečíst hodnotu $p_{v,sat}$.

- Hodnoty Z_{pA} a Z_{pB} jsou pro všechny **vyšší teploty konstantní**.



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

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

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

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

5. **Dílčí množství** zkondenzované nebo vypařené vodní páry [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$];

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

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

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

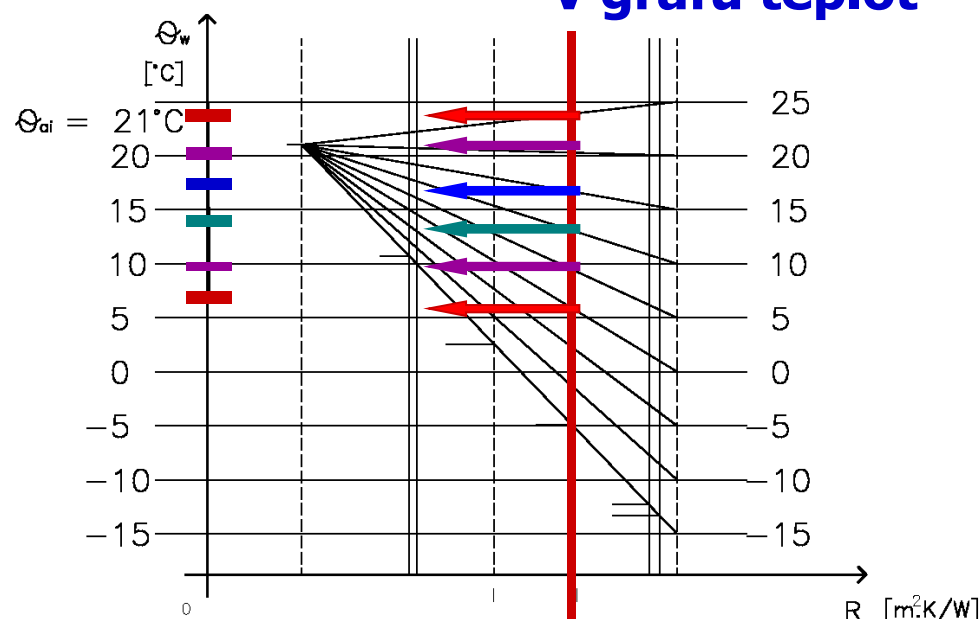
6. Zjištění oblasti kondenzace a hodnot M_a **pro ostatní vnější teploty**

$$\theta_e = (-15^\circ\text{C}, \dots, 25^\circ\text{C});$$

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 $p_{v,sat,B}$.

Získané hodnoty (z grafů, z výpočetních vztahů) **se wpisují do tabulky**, kde probíhá výpočet.

č.	Veličina	Rozměr	Vztah ČSN 730540-3	Výpočtová teplota vnějšího vzduchu [°C]								
				- 15	- 10	- 5	0	+ 5	+ 10	+ 15	+ 20	+ 25
1	$p_{v,sat,e}$	[Pa]	tab. K2	165	260	401	611	872	1228	1704	2337	3165
2	ϕ_e	[%]	ČSN 730540-3 (7.11.1)	84	83	82	81	79	76	73	68	59
3	P_{ve}	[Pa]	ČSN 730540-4	138,6	215,8	328,8	494,9	688,8	933,3	1243,9	1589,1	1867,3
4	θ_{ai}	[°C]	$\theta_i + e_1$	21								
5	$p_{v,sat,i}$	[Pa]	tab. K2	2485								
6	ϕ_i	[%]	tab. I 1	50 +5%								
7	$p_{v,i}$	[Pa]	$(\phi_i/100)p_{v,sat,i}$	1243								
8	$p_{v,sat,A}$	[Pa]	z grafu	657	320	473	684	948	1295	1749	2350	3109
9	$p_{v,i} - p_{v,sat,A}$	[Pa]	7 - 8	586	923	770	559	295	-52	-506	-1107	-1866
10	$Z_{pA} \cdot 10^{-9}$	[m/s]	z grafu	9,03	22	22	22	22	22	22	22	22
11	$g_A \cdot 10^9$	[kg/m ² s]	9/10	64,9	41,9	35,0	25,4	13,4	-2,4	-23,0	-50,3	-84,8
12	$p_{v,sat,B}$	[Pa]	z grafu	270	320	473	684	948	1295	1749	2350	3109
13	$p_{v,sat,B} - p_e$	[Pa]	12 - 3	131,4	104,2	144,2	189,1	259,2	361,7	505,1	760,9	1241,7
14	$Z_{pB} \cdot 10^{-9}$	[m/s]	z grafu	5,2	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
15	$g_B \cdot 10^9$	[kg/m ² s]	13/14	25,3	40,1	55,5	72,7	99,7	139,1	194,3	292,7	477,6
16	$\Delta g = g_A - g_B$	[kg/m ² s]	11 - 15	39,6	1,8	-20,5	-47,3	-86,3	-141,5	-217,3	-343,0	-562,4
17	$t_c \cdot 10^{-3}$	[s]	tab. H4	604,8	993,6	2592,0	5572,8	5788,8	5616,0	5832,0	4104,0	432,0
18	$(g_A - g_B) \cdot t_c$	[kg/m ²]	16 x 17	0,024	0,002	-0,053	-0,264	-0,500	-0,795	-1,267	-1,408	-0,243
19	$M_{c,a}$	[kg/m ² a]	Σ 18 +	0,026								
20	$M_{ev,a}$	[kg/m ² a]	Σ 18 -	4,53								

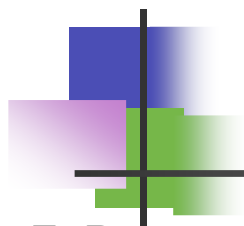
55

dochází ke splnutí bodů A = B, proto Z_{pA} , Z_{pB} jsou pro další teploty vždy stejné

splnutí bodů A = B, proto $p_{v,sat,A} = p_{v,sat,B}$ pro všechny další vyšší teploty

KONDENZACE

VYPAŘOVÁNÍ



7. Posouzení: (3 podmínky použitelnosti konstrukce)

- Zkondenzovaná vodní pára **neohrozí požadovanou funkci** konstrukce (názor projektanta);
- Pokud zkondenzuje, pak $M_{c,a} < M_{ev,a}$
(v našem případě $0,026 < 4,53$ [kg.m⁻².rok⁻¹]) SPLNĚNO
 - $M_{c,a} < M_{c,a,N}$, tj. v našem případě nižší z hodnot $M_{c,a,N} = 0,5$ [kg.m⁻².rok⁻¹] nebo 5% plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází ke kondenzaci vodní páry, pokud je jeho objemová hmotnost vyšší než 100 Kg/m³, v ostatních případech se použije 10% jeho plošné hmotnosti
(v našem případě $0,026 < 0,5$ [kg.m⁻².rok⁻¹]) SPLNĚNO

ZÁVĚR:

V posuzované konstrukci **dochází ke kondenzaci vodní páry** uvnitř konstrukce, ale:

1. Zkondenzovaná vodní pára neohrožuje požadovanou funkci konstrukce.
2. Roční bilance je příznivá $M_{c,a} < M_{ev,a}$.
3. Celoroční množství zkondenzované vodní páry je menší než 0,5 [kg.m⁻².rok⁻¹].

Zkondenzované a vypařitelné množství vodní páry – program TEPLO 2007

Popis konstrukce a okrajových podmínek : Panel

Úpravy Formulář Pomůcky Rychlé posuny Konec práce s daty

Skladba konstrukce Okrajové podmínky výpočtu **Doplňující parametry výpočtu**

Tepelný odpor při přestupu tepla (pro výpočet kondenzace, vnitřní povrch, teploty a tepl. faktoru):

... na vnitřní straně Rsi: ... na vnější straně Rse: m²K/W

ČSN EN ISO 13788 předepisuje pro výpočty kondenzace vodní páry standardní hodnotu tepelného odporu při přestupu na vnitřní straně Rsi=0,25 m²K/W a na vnější straně Rse=0,04 m²K/W.

Počáteční měsíc a délka výpočtu:

☒ počáteční měsíc stanovovat výpočtem podle ČSN EN ISO 13788

Při výpočtu kondenzace uvažovat výchozí měsíc výpočtu:

Počet hodnocených let:

Bezpečnostní přírážka k vnitřní relativní vlhkosti dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:

Bezpečnostní přírážka k vnitřní relativní vlhkosti: %

Normy ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788 předepisují pro výpočet druzce vodní páry přírážku k vnitřní relativní vlhkosti 5%. Tato přírážka zohledňuje nepříznivé kolísání teplot a vlhkosti.

Hustota dělení konstrukce:

Max. počet vrstev, na které bude provedeno dělení konstrukce (10-150):

Schéma skladby:

exteriér

0,15 m

4

3

2

1

interiér

Otočit skladbu

Formuláře:

1 Panel

Formulář č. 1

Blok 1- 1

Parametry zadané skladby:

0,1400 m

32,7 kg/m²

0,74 W/m²K

1,17 m²K/W

Akt. pomůcky:

Okrajové podmínky výpočtu:

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi :
 dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rsi :
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse :
 dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rse :

0.13 m2K/W
0.25 m2K/W
0.04 m2K/W
0.04 m2K/W

Návrhová venkovní teplota Te :
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai :
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe :
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RHi :

-15.0 C
21.0 C
84.0 %
55.0 %

Měsíc	Délka[dny]	Tai[C]	RHi[%]	Pi[Pa]	Te[C]	RHe[%]	Pe[Pa]
1	31	21.0	43.2	1073.8	-2.3	81.1	409.0
2	28	21.0	45.4	1128.5	-0.7	80.7	465.0
3	31	21.0	47.7	1185.6	3.0	79.5	602.1
4	30	21.0	51.0	1267.6	7.6	77.5	808.6
5	31	21.0	56.7	1409.3	12.5	74.7	1082.2
6	30	21.0	61.5	1528.6	15.7	72.2	1287.1
7	31	21.0	63.8	1585.8	17.2	70.7	1386.7
8	31	21.0	63.0	1565.9	16.7	71.2	1352.9
9	30	21.0	57.5	1429.2	13.1	74.2	1118.0
10	31	21.0	51.6	1282.6	8.2	77.2	839.1
11	30	21.0	47.7	1185.6	3.0	79.5	602.1
12	31	21.0	45.6	1133.4	-0.6	80.7	468.9

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %
Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem dle ČSN EN ISO 13788.
Počet hodnocených let : 1

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:
(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	e
tepl.[C]:	16.2	15.6	12.1	-11.3	-14.2
p [Pa]:	1367	976	955	681	138
p.sat [Pa]:	1843	1767	1413	231	177

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna	Hranice kondenzační zóny	Kondenzující množství
číslo	levá [m] pravá	vodní páry [kg/m2s]
1	0.1200 0.1200	6.449E-0007

Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry Mc,a:	3.183 kg/m2,rok
Množství vypařitelné vodní páry Mev,a:	10.898 kg/m2,rok
Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 10.0 C.	

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci dochází během modelového roku ke kondenzaci.

Kondenzační zóna č. 1

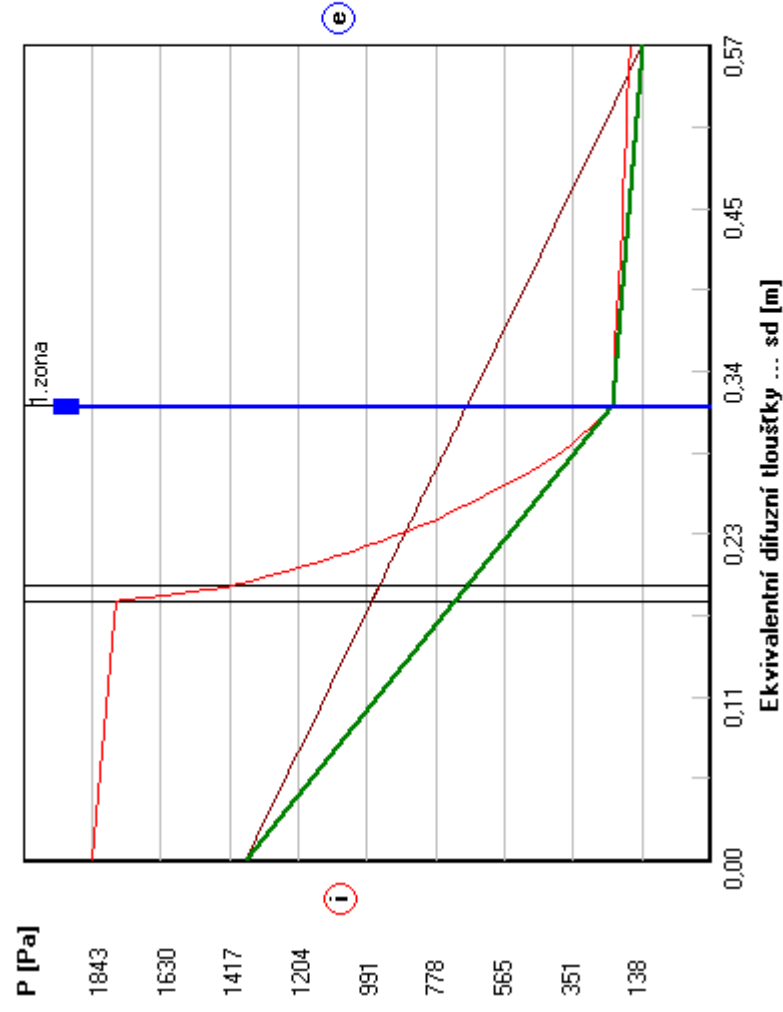
Měsíc	Hranice kondenzační zóny	Akt.kond.vypař.	Akumul.vlhkost
	levá [m] pravá	Gc [kg/m2s]	Ma [kg/m2]
12	0.1200 0.1200	1.08E-0007	0.2912
1	0.1200 0.1200	1.26E-0007	0.6278
2	0.1200 0.1200	1.08E-0007	0.8910
3	0.1200 0.1200	-4.47E-0009	0.8790
4	0.1200 0.1200	-1.93E-0007	0.3794
5	--- ---	-4.40E-0007	0.0000
6	--- ---	---	---
7	--- ---	---	---
8	--- ---	---	---
9	--- ---	---	---
10	--- ---	---	---
11	--- ---	---	---

Maximální množství kondenzátu Mc,a: 0.8910 kg/m2

Na konci modelového roku je zóna suchá (tj. Mc,a < Mev,a).

Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce

Zatížení vnější návrhovou teplotou a vlhkostí dle ČSN 730540



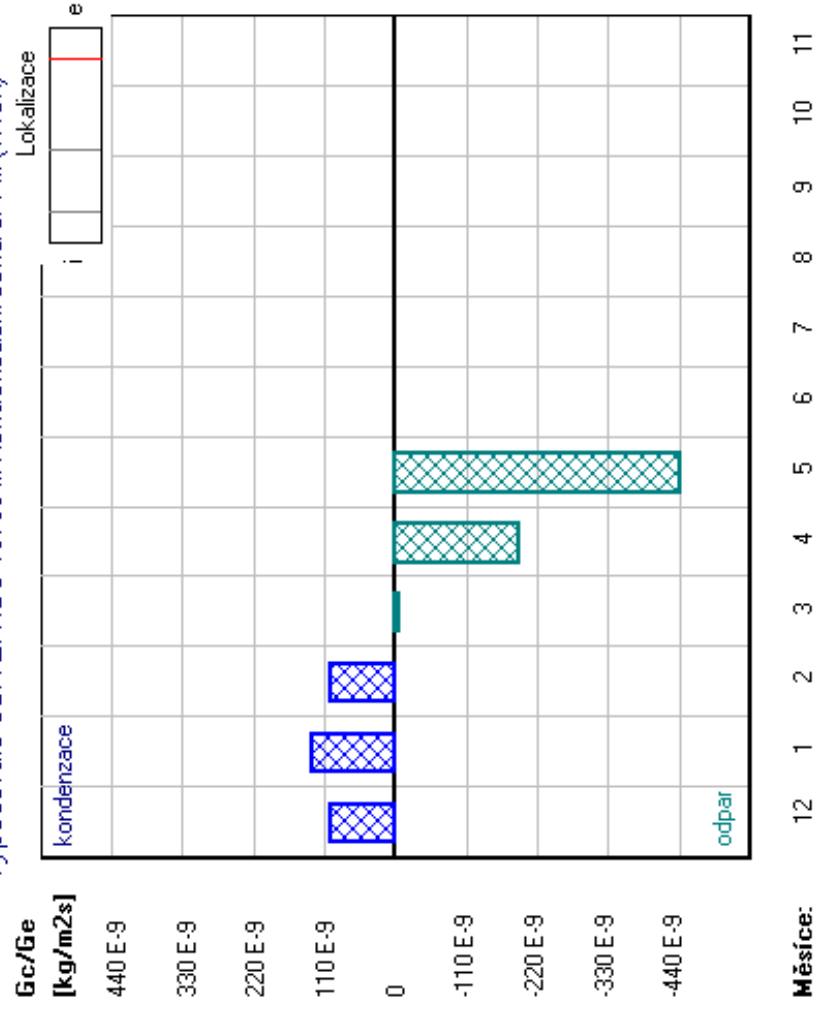
LEGENDA:

PANEL	
Rozložení tlaků:	
Okř. podmínky:	
Interiér	21,0 C
	55,0 %
Exteriér	-15,0 C
	84,0 %
	nasyc. tlak
	teoret. tlak
	skut. tlak
	kond. zóna



Aktuální míra kondenzace a odparu vodní páry

Výpočet dle ČSN EN ISO 13788 ... Kondenzační zóna č. 1 ... (1. rok)



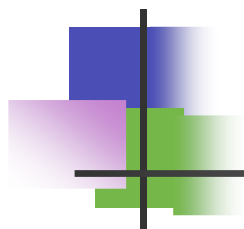
LEGENDA:

PANEL

.....
Aktuální míra
kondenzace
a odparu:

Rok výpočtu č. 1
Kond. zóna č. 1

Na konci model.
roku je zóna
vysušená.



I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)

Požadavek: $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} + \Delta F = 0,793 + 0,000 = 0,793$

Vypočtená průměrná hodnota: $f_{Rsi,m} = 0,933$

Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).



Průměrná hodnota $f_{Rsi,m}$ (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce. Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

**Splnění požadavku na teplotní faktor je nutné prokázat
v kritických detailech – program AREA 2014**