

Ministarstvo ekonomije CG & GTZ

Obuka lica za vršenje energetskih pregleda i sertifikovanje zgrada

Mašinski fakultet i Arhitektonski fakultet UCG

Podgorica, 08.03.2011.

ARHITEKTONSKI PARAMETRI EEZ – DIFUZIJA VODENE PARE:
PRIMJER PRORAČUNA I UPOREDNI PRIKAZ METODA
PRORAČUNA JUS I EN ISO
[Arhitektura_3b]

Prof. dr Dušan Vuksanović, dipl.inž.arh.

Arhitektonski fakultet u Podgorici

Primjer proračuna difuzije vodene pare
primjenom standarda **JUS U.J5.520**

Proračun difuzije vodene pare primjenom JUS U.J5.520

- Oznake i jedinice:**

Δt_j – razlika temperatura granične površine građevinske konstrukcije prema prostoru unutar zgrade i prema prostoru izvan zgrade	°C
U_i – temperatura granične površine građevinske konstrukcije prema prostoru unutar zgrade	°C
U_e – temperatura granične površine građevinske konstrukcije prema prostoru izvan zgrade	°C
α_i – koeficijent prelaza toplote koji se odnosi na površinu prema prostoru unutar zgrade	W/(m ² *K)
α_e – koeficijent prelaza toplote koji se odnosi na površinu prema prostoru izvan zgrade	W/(m ² *K)
P_i – parcijalni pritisak vodene pare vazduha unutar zgrade	kPa
P_e – parcijalni pritisak vodene pare vazduha izvan zgrade	kPa
φ_i – relativna vlažnost vazduha unutar zgrade	%
λ – koeficijent toplotne provodljivosti materijala	W/(m*K)
R_k – ukupni toplotni otpor homogene građevinske konstrukcije	m ² *K/W
R_i – toplotni otpor koji se odnosi na graničnu površinu prema prostoru unutar zgrade	m ² *K/W
R_e – toplotni otpor koji se odnosi na graničnu površinu prema prostoru izvan zgrade	m ² *K/W
R – toplotni otpor građevinske konstrukcije bez toplotnih otpora R_i i R_e	m ² *K/W

Proračun difuzije vodene pare primjenom JUS U.J5.520

- Koraci za određivanje pojave i mjesta kondenzacije unutar konstrukcije:
 - utvrđivanje relevantnih podataka za realne klimatske uslove i odgovarajuću namjenu objekta
 - pad temperature kroz slojeve konstrukcije

$$\Delta t_j = \frac{t_i - t_e}{R_k} \cdot R_j$$

- utvrđivanje **pritisaka zasićenja** za svaku od definisanih temperatura (iz tabela)
- određivanje **parcijalnih pritisaka** kroz građevinsku konstrukciju

$$p_i = \varphi_i \cdot p_i' (kP_a) \quad p_e = \varphi_e \cdot p_e' (kP_a) \quad p_j = \frac{p_i - p_e}{\sum_j^n r} \cdot \sum_{j+1}^n r + p_e$$

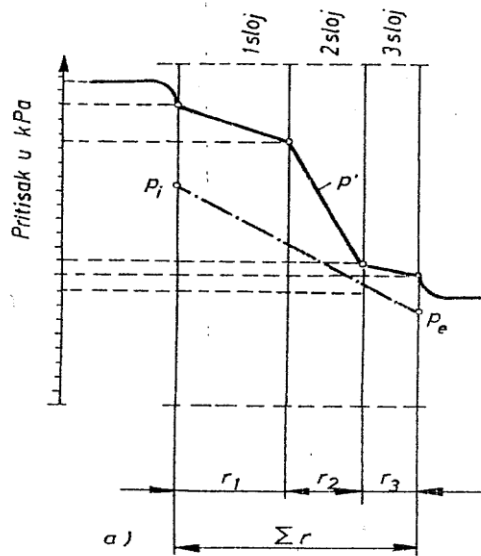
- određivanje **relativnog otpora difuziji** vodene pare

$$r_i = d_i \cdot \mu_i [m]$$

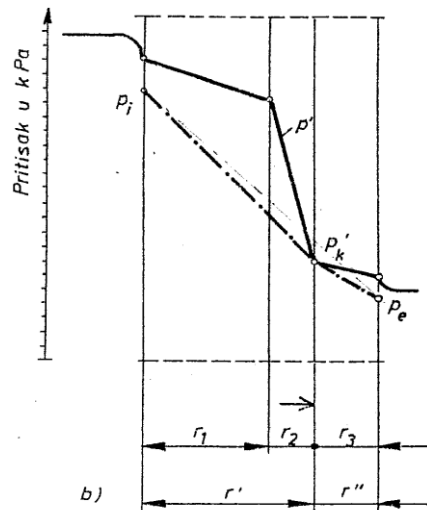
Proračun difuzije vodene pare primjenom JUS U.J5.520

6. crtanje dijagrama difuzije

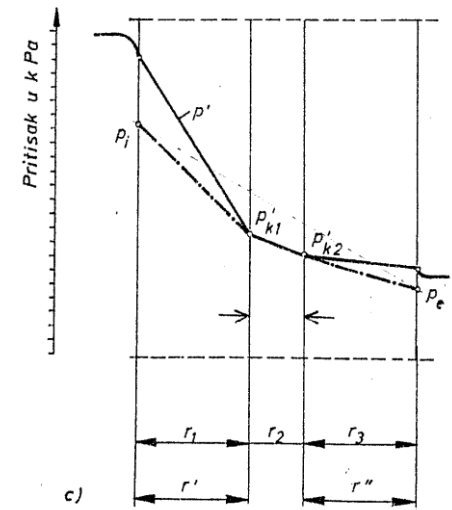
- 1.) **nema kondenzata** unutar konstrukcije (krive prit. zas. i parc.prit. **nemaju zajed.tač.**)
- 2.) kondenzat se javlja **u ravni kondenzacije** (krive prit.zas.i parc.prit. **imaju 1 zaj.tač.**)
- 3.) kondenzat se javlja **u zoni kondenzacije** (krive prit.zas.i parc.prit. **imaju 2 zaj.tač.**)



(1.)



(2.)



(3.)

7. računanje vrijednosti difuzijskog toka vodene pare

$$q_m = 0,62 \cdot \frac{p_i - p_e}{\sum r} \left[\frac{g}{m^2 \cdot h} \right] \quad q_m' = 0,62 \cdot \left[\frac{p_i - p_{k1}'}{r'} - \frac{p_{k2}' - p_e}{r''} \right] \left[\frac{g}{m^2 \cdot h} \right] \quad q_m' = 0,62 \cdot \left[\frac{p_i - p_{k1}'}{r'} - \frac{p_{k2}' - p_e}{r''} \right] \left[\frac{g}{m^2 \cdot h} \right]$$

Proračun difuzije vodene pare primjenom JUS U.J5.520

8. izračunavanje **količine kondenzata** u slučajevima 2.) i 3.)

$$q'_{mz} = q'_m \cdot 24 \cdot d \left[g / m^2 \right]$$

9. računanje **povećanja vlažnosti materijala**

$$X'_{dif} = (q'_{mz} \times 100) / (d_r \times \rho_0) [\%]$$

- **ukupna vlažnost materijala:**

$$X'_{uk} = X'_r + X'_{dif} < X'_{max}$$

10. proračun **isušenja** građevinske konstrukcije

1.) nije bilo kondenzata, pa nema isušenja

$$2.) q_m = 0,62 \cdot \left[(p'_k - p_i) / r' + (p'_k - p_e) / r'' \right] \left[g / m^2 h \right]$$

$$3.) q_m = 0,62 \cdot \left[(p'_{k1} - p_i) / r' + (p'_{k2} - p_e) / r'' \right] \left[g / m^2 h \right]$$

11. proračun **potrebnog vremena za isušenje**

$$d = \frac{1,3 \cdot q'_{mz}}{q_m \cdot 24} [dana]$$

Proračun parametara pojedinačnih konstrukcija

Proračun difuzije vod. pare metodom JUS U.J5.520

Primjer proračuna: Fasadni zid 1

c) PRORAČUN DIFUZIJE VODENE PARE

Uslovi za proračun difuzije u zimskom razdoblju:

$$\left. \begin{array}{l} t_i = 20^\circ \text{C} \\ \varphi = 55\% \end{array} \right\} \text{projektni uslovi - temperatura i rel. vlažnost un. vazduha}$$

$$\left. \begin{array}{l} t_e = -10^\circ \text{C} \\ \varphi_e = 90\% \end{array} \right\} \text{uslovi iz T.8 U.J5.600 - računске vrijednosti}$$

Prosječna temperaturna razlika za proračun difuzije:

$$\Delta t_{\text{dif}} = t_i - t_e = 30^\circ \text{C}$$

Prosječni toplotni fluks za proračun difuzije:

$$q_{\text{dif}} = \frac{\Delta t_{\text{dif}}}{R_k} = 37.50 \text{ W/m}^2$$

- Pad temperature po slojevima i vrijednosti temperature na graničnim površinama slojeva, pritisci zasićenja vodene pare p' i parcijalni pritisci vodene pare p za zimsko razdoblje (period vlaženja)

$$\Delta t_j = q_{\text{dif}} \cdot R_j = \frac{\Delta t_{\text{dif}}}{R_k} \cdot R_j; \quad v_1 = v_i - \Delta t_1, \dots$$

$p' \Rightarrow$ prema tab. U.J5.520 (funkcija temperature na gran. površ. slojeva)

$$p \Rightarrow p_j = \frac{p_i - p_e}{\sum_{j=1}^n r} \cdot \sum_{j=1}^n r + p_e; \quad p_i = j_i \cdot p_i' = 1.285 \text{ kPa}, \quad p_e = j_e \cdot p_e' = 0.234 \text{ kPa}$$

	$t_i = 20.00^\circ \text{C}$	$p_i' = 2.337 \text{ kPa}$	$p_i = 1.285 \text{ kPa}$
$\Delta t_i = 4.88^\circ \text{C}$	$v_i = 15.12^\circ \text{C}$	$p_1' = 1.718 \text{ kPa}$	$p_1 = 1.285 \text{ kPa} < p_1'$
$\Delta t_1 = 0.88^\circ \text{C}$	$v_1 = 14.25^\circ \text{C}$	$p_2' = 1.624 \text{ kPa}$	$p_2 = 1.093 \text{ kPa} < p_2'$
$\Delta t_2 = 13.39^\circ \text{C}$	$v_2 = 0.86^\circ \text{C}$	$p_3' = 0.650 \text{ kPa}$	$p_3 = 0.580 \text{ kPa} < p_3'$
$\Delta t_3 = 7.89^\circ \text{C}$	$v_3 = -7.04^\circ \text{C}$	$p_4' = 0.336 \text{ kPa}$	$p_4 = 0.426 \text{ kPa} > p_4'$
$\Delta t_4 = 1.07^\circ \text{C}$	$v_4 = -8.11^\circ \text{C}$	$p_5' = 0.307 \text{ kPa}$	$p_5 = 0.234 \text{ kPa} > p_5'$
$\Delta t_e = 1.50^\circ \text{C}$	$v_e = -9.61^\circ \text{C}$	$p_e' = 0.269 \text{ kPa}$	$p_e = 0.234 \text{ kPa}$
	$t_e = -10.00^\circ \text{C}$		

\Rightarrow Kondenzacija se javlja u sloju 4 (između gran. površ. 4 i 5) - fasadni malter

Proračun parametara pojedinačnih konstrukcija

Proračun difuzije vod. pare metodom JUS U.J5.520

Primjer proračuna:

Fasadni zid 1 (2)

PRORAČUN DIFUZIJE VODENE PARE

- Gustina difuzijskog toka vodene pare**

Ulazni difuzijski tok:

$$q_{m1} = 0.62 \cdot \frac{p_i - p_{k1}'}{r'} = 0.44 \text{ g / m}^2 \text{ h}$$

$$\left. \begin{aligned} p_{k1}' &= p_4' = 0.336 \text{ kPa} \\ r' &= r_1 + r_2 + r_3 = 1.34 \text{ m} \end{aligned} \right\}$$

Izlazni difuzijski tok:

$$q_{m2} = 0.62 \cdot \frac{p_{k2}' - p_e}{r''} = 0.151 \text{ g / m}^2 \text{ h}$$

$$\left. \begin{aligned} p_{k2}' &= p_5' = 0.307 \text{ kPa} \\ r'' &= r_4 = 0.30 \text{ m} \end{aligned} \right\}$$

- Količina kondenzata**

Količina kondenzata koja ostaje u konstrukciji:

$$q_m' = q_{m1} - q_{m2} = 0.289 \text{ g / m}^2$$

Ukupna količina kondenzata na kraju razdoblja difuzije:

$$q_{mz}' = q_m' \cdot 24 \cdot d = 416.16 \text{ g / m}^2 = 0.4162 \text{ kg / m}^2 \quad (d = 60 \text{ dana})$$

- Povećanje vlažnosti materijala u sloju sa kondenzacijom**

$$X_{dif} = \frac{q_{mz}'}{d_r \cdot r_0} \cdot 100 = 1.125 \text{ kg / kg} \quad (d_r \dots \text{ prema U.J5.600 (str.20)})$$

$$X_{dif}' = X_{dif} \cdot 100 = 112.5\%$$

- Ukupna vlažnost materijala u sloju sa kondenzacijom**

$$X_{uk}' = X_r' + X_{dif}' = 115\% \gg 5\% = X_{max}' \quad \left. \begin{aligned} X_r' &= 2.5\% \\ X_{max}' &= 5\% \end{aligned} \right\} \text{ za fas.malt.(T.6 U.J5.600)}$$

⇒ **Prema zahtjevima JUS-a U.J5.600 za difuziju vodene pare: KONSTRUKCIJA NE ODGOVARA.**

Proračun parametara
pojedinačnih konstrukcija
Proračun difuzije vod. pare
metodom JUS U.J5.520

Primjer proračuna:

Fasadni zid 2

PROAČUN DIFUZIJE VODENE PARE

Građevinsko-klimatska zona II:

$$k = 0,90 \text{ W / m}^2 \text{ K} = k_{\text{min}}$$

$$R = 0,94 \text{ m}^2 \text{ K / W} = R_{\text{min}}$$

$$\alpha_i = 8 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

$$R_i = 0,13 \text{ m}^2 \text{ K / W} = 1 / \alpha_i$$

$$\alpha_e = 23 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

$$R_e = 0,04 \text{ m}^2 \text{ K / W} = 1 / \alpha_e$$

$$R_k = 3,314 \text{ m}^2 \text{ K / W}$$

Uslovi za proračun difuzije u zimskom razdoblju:

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

$$\phi_i = 60\%$$

,projektni uslovi-temperatura i relativna vlažnost unutrašnjeg vazduha

$$t_e = -5^\circ \text{C}$$

$$\phi_e = 90\%$$

,uslovi iz T.U.J5.600-računske vrijednosti

Prosječna temperaturna razlika za proračun difuzije:

$$\Delta t = t_i - t_e = 25^\circ \text{C}$$

Prosječni toploni fluks za proračun difuzije:

$$q_{\text{diff}} = \Delta t_{\text{diff}} / R_k = 7,544 \text{ W / m}^2$$

Pad temperature po slojevima i vrijednosti temperatura na graničnim površinama slojeva, pritisci zasićenja vodene pare p' i parcijalni pritisci vodene pare p za zimsko razdoblje (period vlaženja).

$$\Delta t_j = q_{\text{diff}} \cdot R_j$$

p' -prema tablicama U.J5.520

p -tačka 4 U.J5.520

Proračun parametara
pojedinačnih konstrukcija
**Proračun difuzije vod. pare
metodom JUS U.J5.520**

Primjer proračuna:

Fasadni zid 2 (2)

$$p_i = \varphi_i \cdot p'_i = 0,6 \cdot 2,337 = 1,402 \text{ kPa}$$

$$p_e = \varphi_e \cdot p'_e = 0,9 \cdot 0,401 = 0,361 \text{ kPa}$$

$$p_j = \frac{p_i - p_e}{\sum_j r} \cdot \sum_{j=1}^n r + p_e$$

		d (m)	μ (-)	$r=d \cdot \mu$ (m)	R (m ² K/W)	Δt (°C)	t (°C)	p' (kPa)	p (kPa)
1	unutrašnji vazduh	-	-	-	-	-	20	2,337	1,402
2	R_i	-	-	-	0,13	0,98072	19,0193	2,199	1,402
3	gips kartonske ploče	0,012	10	0,12	0,057	0,43001	18,5893	2,141	1,4018
4	čelični stubovi	0,12	1	0,18	0,160	1,20704	17,3822	1,9852	1,4018
5	metalna podkonstrukcija	0,06							
6	čelični lim	0,0006	600000	360	0,00001	0,00008	17,3822	1,9851	0,8814
7	mineralna vuna	0,12	1	0,12	2,927	22,0813	-4,6991	0,4087	0,8812
8	čelični lim	0,0006	600000	360	0,00001	0,00008	-4,6992	0,408	0,361
9	R_e	-	-	-	0,04	0,30176	-5,00	0,4011	0,361
10	spoljašnji vazduh	-	-	-	-	-	-5	0,401	0,361
				720,42					

Kondenzacija se javlja na graničnoj površini između sloja 6 i 7 ($p > p'$).

➤ **Gustina diuzijskog toka vodene pare:**

Ulazni difuzijski tok:

$$q_{m1} = 0,62 \cdot \frac{p_i - p'_k}{r} = 0,62 \cdot \frac{1,402 - 0,41}{360,3} = 0,00171 \text{ g / m}^2 \text{ h}$$

$$p'_k = p'_i = 0,41 \text{ kPa}$$

$$r' = r_3 + r_{4,5} + r_6 = 0,12 + 0,18 + 360 = 360,3 \text{ m}$$

Proračun parametara
pojedinačnih konstrukcija
Proračun difuzije vod. pare
metodom JUS U.J5.520
Primjer proračuna:
Fasadni zid 2 (3)

Izlazni difuzni tok:

$$q_{m2} = 0,62 \cdot \frac{p'_k - p_e}{r''} = 0,62 \cdot \frac{0,41 - 0,361}{360,12} = 0,000084 \text{ g / m}^2\text{h}$$

$$p'_k = p'_i = 0,41 \text{ kPa}$$

$$r'' = r_7 + r_8 = 360,12 \text{ m}$$

➤ **Količina kondenzata:**

Količina kondenzovane pare koja ostaje u konstrukciji:

$$q'_m = q_{m1} - q_{m2} = 0,00171 - 0,000084 = 0,00163 \text{ g / m}^2$$

Ukupna količina kondenzata na kraju razdoblja difuzije:

$$q'_{mz} = q'_m \cdot 24 \cdot d = 0,00163 \cdot 24 \cdot 60 = 2,347 \text{ g / m}^2 = 0,00235 \text{ kg / m}^2$$

➤ **Povećanje vlažnosti materijala u sloju sa kondenzacijom:**

$$X_{dif} = \frac{q'_{mz}}{d_r \cdot \rho_0} \cdot 100 = \frac{0,00235}{0,04 \cdot 150} \cdot 100 = 0,0392 \text{ kg / kg}$$

$$X'_{dif} = X_{dif} \cdot 100 = 0,0392 \cdot 100 = 3,92\%$$

➤ **Ukupna vlažnost materijala u sloju sa kondenzacijom:**

$$X'_{uk} = X'_r + X'_{dif} = X'_{uk} = X'_r + X'_{dif} = 5,0 + 3,92 = 8,92\% < 10,0\%$$

$$X'_r = 5,0\%$$

$$X'_{max} = 10,0\% \quad \text{,za mineralnu vunu, T.6 U.J5.600}$$

Proračun isušenja građevinskih konstrukcija vrši se uzimajući da je:

$$t_i = t_e = 18^\circ\text{C} \Rightarrow p'_i = p'_e = 2,063 \text{ kPa} = p'_k$$

$$\phi_i = \phi_e = 65\% \Rightarrow p_i = p_e = 0,65 \cdot 2,063 = 1,341 \text{ kPa}$$

➤ **Gustina difuzijskog toka vodene pare koji izlazi iz građevinske konstrukcije data je izrazom:**

$$q_m = 0,62 \cdot \frac{p'_k - p_i}{r'} + 0,62 \cdot \frac{p'_k - p_e}{r''} = 0,0000024 \text{ kg / m}^2\text{h}$$

➤ **Potrebno vrijeme za isušenje građevinske konstrukcije:**

$$d = \frac{1,3 \cdot g'_{mz}}{g_m \cdot 24} = \frac{1,3 \cdot 0,00235}{0,0000024 \cdot 24} = 53,038 \text{ dana}$$

Kako je period isušenja za II građevinsko-klimatsku zonu 90 dana, zaključuje se da prema zahtjevima JUS-a U.J5.600 konstrukcija zadovoljava.

Proračun parametara pojedinačnih konstrukcija

Proračun difuzije vod. pare metodom JUS U.J5.520

Primjer proračuna:

Fasadni zid 2 (4)

Uslovi za proračun difuzije u ljetnjem razdoblju:

$$\begin{aligned} t_i &= 26^\circ\text{C} \\ \varphi_i &= 55\% \end{aligned} \quad \text{,projektni uslovi-temperatura i relativna vlažnost unutrašnjeg vazduha}$$

$$\begin{aligned} t_e &= 33^\circ\text{C} \\ \varphi_e &= 26\% \end{aligned} \quad \text{,uslovi iz T.U.J5.600-računske vrijednosti}$$

Prosječna temperaturna razlika za proračun difuzije:

$$\Delta t = t_i - t_e = -7^\circ\text{C}$$

Prosječni toploni fluks za proračun difuzije:

$$q_{\text{dif}} = \Delta t_{\text{dif}} / R_k = -2,112 \text{ W} / \text{m}^2$$

Pad temperature po slojevima i vrijednosti temperatura na graničnim površinama slojeva, pritisci zasićenja vodene pare p_i' i parcijalni pritisci vodene pare p za zimsko razdoblje (period vlaženja).

$$\Delta t_j = q_{\text{dif}} \cdot R_j$$

p_i' -prema tablicama U.J5.520

p -tačka 4 U.J5.520

$$p_i = \varphi_i \cdot p_i' = 0,55 \cdot 3,361 = 1,848 \text{ kPa}$$

$$p_e = \varphi_e \cdot p_e' = 0,26 \cdot 5,031 = 1,308 \text{ kPa}$$

$$p_j = \frac{p_i - p_e}{\sum_j r} \cdot \sum_{j=1}^n r + p_e$$

Proračun parametara pojedinačnih konstrukcija

Proračun difuzije vod. pare metodom JUS U.J5.520

Primjer proračuna: **Fasadni zid 2** (5)

		d (m)	μ (m)	$r=d*\mu$ (m)	R (m ² K/W)	Δt (°C)	t (°C)	p' (kPa)	p (kPa)
1	unutrašnji vazduh	-	-	-	-	-	26	3,361	1,848
2	R_i	-	-	-	0,13	-0,27586	26,2759	3,41	1,848
3	gips kartonske ploče	0,012	10	0,12	0,057	-0,12095	26,3968	3,44	1,847
4	čelični stubovi	0,12	1	0,18	0,160	-0,33792	26,7347	3,507	1,847
5	metalna podkonstrukcija	0,06							
6	čelični lim	0,0006	600000	360	0,00001	-0,00002	26,7348	3,508	1,578
7	mineralna vuna	0,12	1	0,12	2,927	-6,18182	32,9166	5,004	1,578
8	čelični lim	0,0006	600000	360	0,00001	-0,00002	32,9166	5,004	1,308
9	R_s	-	-	-	0,04	-0,08448	33,00	5,031	1,308
10	spoljašnji vazduh	-	-	-	-	-	33	5,031	1,308
				720,42					

Kondenzacija se ne javlja u slojevima konstrukcije ($p < p'$).

KONSTRUKCIJA ZADOVOLJAVA.

Primjer proračuna difuzije vodene pare primjenom standarda EN ISO 13788

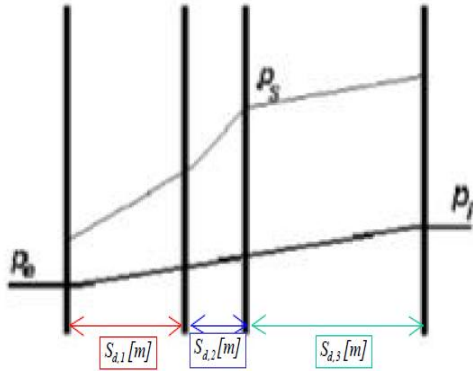
Proračun difuzije vodene pare

metoda EN ISO 13788

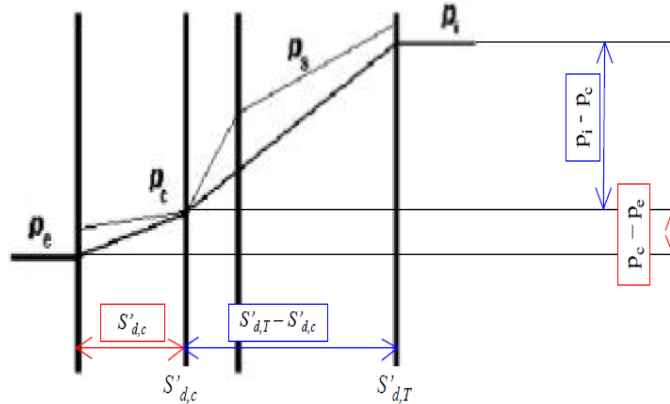
- ISO 13788 opisuje metod proračuna u cilju izbjegavanja pojave buđi ili problema usljed kondenzacije i utvrđivanja postojanja kondenzacije u konstrukciji usljed difuzije vodene pare.
 1. Definisanje srednje mjesečne spoljašnje temperature θ_e i relativne vlažnosti u zavisnosti od lokacije objekta
 2. Proračun spoljnog pritiska vodene pare $p_e = \varphi_e \times p_{sat,e}$
 3. Proračun unutrašnjeg pritiska vodene pare $p_i = \varphi_i \times p_{sat,i}$
 4. Određivanje pritiska vodene pare p_j na granici između slojeva
 5. Proračun min.dozvoljenog pritiska zasićenja vodene pare $p_{sat}(\theta_{SI})$
 6. Proračun min.dozvoljene površinske temperature $\theta_{SI,min}$
 7. Određivanje unutrašnje temperature θ_i
 8. Proračun faktora tempereture na unutrašnjoj površini f_{Rsi}
 9. Određivanje toplotnog kvaliteta zgrade $f_{Rsi} (zgrade) > f_{R_{SI},max}$
 - Izbjegavanje pojave buđi i korozije materijala
- **Postupak proračuna kondenzacije u konstrukciji**
1. **Analiza konstrukcije**
 2. **Izračunavanje temperature na granicama između slojeva (materijala)**
 3. **Izračunavanje pritisaka zasićenja**

Proračun difuzije vodene pare primjenom metoda EN ISO 13788 (2)

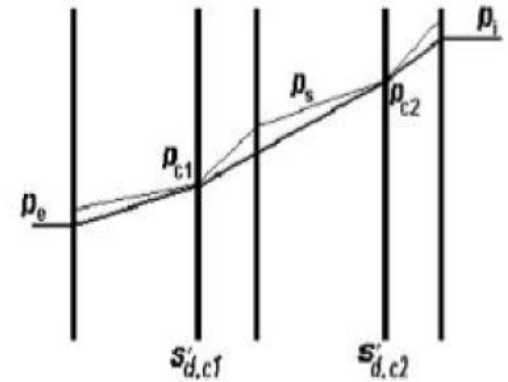
4. Crtanje presjeka elementa zgrade



Nema kondenzacije



Kondenzacija u ravni



Kondenzacija u zoni

5. Proračun isparavanja

6. Proračun difuzije za svaki mjesec g_c
- Proračun mjere kondenzacije M_a
 - Proračun akumulirane vlage

- Izbjegavanje građevinske štete

Proračun difuzije vodene pare
metodom **EN ISO 13788**
Primjer proračuna za
fasadni zid ZID ZF3

FASADNI ZID (ZF3)

Građevinsko-klimatska zona: II

$$R_i = 0,13 \text{ m}^2 \text{K} / \text{W}$$

$$R_e = 0,04 \text{ m}^2 \text{K} / \text{W}$$

$$R_{\Sigma} = 3,314 \text{ m}^2 \text{K} / \text{W}$$

$$U = 0,302 \text{ W} / \text{m}^2 \text{K}$$

Uslovi za proračun difuzije za najhladniji mjesec u godini **januar**:

$$\theta_i = 20^\circ \text{C}, \varphi_i = 60\%$$

$$\theta_e = 1,4^\circ \text{C}, \varphi_e = 80\%$$

Pad temperature po slojevima i vrijednosti temperature na graničnim površinama slojeva, pritisci zasićenja vodene pare p_{sat} i parcijalni pritisci vodene pare p za mjesec januar:

Pritisci vodene pare:

$$p_e = \varphi_e \times p_{sat,e}$$

$$p_i = \varphi_i \times p_{sat,i}$$

$$p_j = p_e + \Delta p \times 1,1$$

Proračun difuzije vod. pare
primjenom **EN ISO 13788**
Primjer proračuna za
fasadni zid ZID ZF3 (2)

	Slojevi konstrukcije	d [m]	μ [-]	$s_d = d \times \mu$ [m]	R [m ² K/W]	$\Delta\theta$ [°C]	θ [°C]	p_{sa} [kPa]	p_i [kPa]
1	Unutrašnji vazduh	-	-	-	-	-	20	2,337	1,402
2	R_i	-	-	-	0,13	0,729	19,271	2,229	1,402
3	Gips-kartonske ploče	0,012	10	0,12	0,057	0,319	18,952	2,185	1,487
4	Celični stubovi	0,12	1	0,18	0,160	0,898	18,054	2,069	1,487
5	Metalna podkonstr.	0,06							
6	Celični lim	0,0006	600000	360	0,00001	0,000056	18,053	2,069	1,0144
7	Mineralna vuna	0,12	1	0,12	2,927	16,428	1,626	0,687	1,0142
8	Celični lim	0,0006	600000	360	0,00001	0,000056	1,625	0,686	0,541
9	R_e	-	-	-	0,04	0,225	1,4	0,676	0,541
10	Spoljašnji vazduh	-	-	-	-	-	1,4	0,676	0,541

Kondenzacija se javlja u sloju 7 ($p_i > p_{sa}$)-kao i kod proračuna po JUS-u.

Proračun faktora temperature na unutrašnjoj površini:

$$f_{R_{si},max} = \frac{(\theta_{si} - \theta_e)}{(\theta_i - \theta_e)}$$

$$p_{sa}(\theta_{si}) = \frac{p_i}{0,8} = \frac{1,402}{0,8} = 1,752 \text{ kPa}$$

$$\theta_{si,min} = \frac{237,3 \times \log_e \left(\frac{p_{sa}}{610,5} \right)}{17,269 - \log_e \left(\frac{p_{sa}}{610,5} \right)}, \text{ za } p_{sa} \geq 610,5 \text{ Pa}$$

$$\theta_{si,min} = 18,456 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$f_{R_{si},max} = \frac{18,456 - 1,4}{20 - 1,4} = 0,917$$

$$f_{R_{si},konst.} = (1/U - R_{si}) \times U = (1/0,302 - 0,13) \times 0,302 = 0,961$$

$$f_{R_{si},konst.} > f_{R_{si},max} \Rightarrow 0,961 > 0,917, \text{ uslov zadovoljen}$$

Proračun difuzije vod.pare
metodom **EN ISO 13788**
Primjer proračuna za
fasadni zid ZID ZF3 (3)

Uslovi za proračun difuzije za najtopliji mjesec u godini **jul**:

$$\theta_i = 26^{\circ}\text{C}, \varphi_i = 55\%$$

$$\theta_e = 21,1^{\circ}\text{C}, \varphi_e = 80\%$$

Pad temperature po slojevima i vrijednosti temperature na graničnim površinama slojeva, pritisci zasićenja vodene pare p_{sat} i parcijalni pritisci vodene pare p za mjesec jul:

Pritisci vodene pare:

$$p_e = \varphi_e \times p_{sat,e}$$

$$p_i = \varphi_i \times p_{sat,i}$$

$$p_j = p_e + \Delta p \times 1,1$$

	Slojevi konstrukcije	d [m]	μ [-]	$s_d = d \times \mu$ [m]	R [m ² K/W]	$\Delta\theta$ [°C]	θ [°C]	p_{sat} [kPa]	p_i [kPa]
1	Unutrašnji vazduh	-	-	-	-	-	26	3,361	1,849
2	R_i	-	-	-	0,13	0,192	25,81	3,321	1,849
3	Gips-kartonske ploče	0,012	10	0,12	0,057	0,084	25,724	3,301	1,884
4	Celični stubovi	0,12	1	0,18	0,160	0,236	25,49	3,262	1,884
5	Metalna podkonstr.	0,06							
6	Celični lim	0,0006	600000	360	0,00001	0,000015	25,48	3,262	1,692
7	Mineralna vuna	0,12	1	0,12	2,927	4,328	21,159	2,510	1,692
8	Celični lim	0,0006	600000	360	0,00001	0,000015	21,159	2,510	1,501
9	R_e	-	-	-	0,04	0,059	21,1	2,502	1,501
10	Spoljašnji vazduh	-	-	-	-	-	21,1	2,502	1,501

S obzirom da pritisci vodene pare ne prelaze pritiske zasićenja, kondenzacija se neće javiti u slojevima konstrukcije.
KONSTRUKCIJA ZADOVOLJAVA.

Proračun difuzije vod. pare
metodom **EN ISO 13788**

Primjer proračuna za
fasadni zid ZID ZF3 (4)

Proračun faktora temperature na unutrašnjoj površini

$$f_{R_{SI,max}} = \frac{(\theta_{si} - \theta_e)}{(\theta_i - \theta_e)}$$

$$p_{sa}(\theta_{si}) = \frac{p_i}{0,8} = \frac{1,849}{0,8} = 2,311 \text{ kPa}$$

$$\theta_{si,min} = \frac{237,3 \times \log_e\left(\frac{p_{sa}}{610,5}\right)}{17,269 - \log_e\left(\frac{p_{sa}}{610,5}\right)}, \text{ za } p_{sa} \geq 610,5 \text{ Pa}$$

$$\theta_{si,min} = 24,96^\circ \text{C}$$

$$f_{R_{SI,max}} = \frac{24,96 - 21,1}{26 - 21,1} = 0,787$$

$$f_{R_{SI,kont.}} = (1/U - R_{Si}) \times U = (1/0,302 - 0,13) \times 0,302 = 0,961$$

$$f_{R_{SI,kont.}} > f_{R_{SI,max}} \Rightarrow 0,961 > 0,787, \text{ uslov zadovoljen.}$$

UPOREDNA ANALIZA STANDARDA JUS I EN ISO

ZAKLJUČAK

Iz gore navedenog, zaključuje se da su metode proračuna po JUS-u U.J5.520 i EN ISO 13788 **veoma slične**.

- **Sličnosti:**

kod proračuna relativnog difuznog otpora vodene pare; kod proračuna pada temperature kroz slojeve konstrukcije; kod proračuna unutrašnje temperature vazduha; kod određivanja pritiska zasićenja; kod proračuna parcijalnih pritiska unutar i izvan zgrade

- **Razlike:**

–za razliku od JUS-a kod koga se uzimaju dva kritična razdoblja u toku godine, zima i ljeto, kod EN ISO 13788 proračun se vrši za svaki mjesec posebno, pri čemu se za potrebe proračuna koriste srednje mjesečne temperature posmatrane lokacije.

–kod proračuna parcijalnog pritiska na granici između dva sloja j i $j+1$ kod EN ISO 13788 javlja se koeficijent sigurnosti 1,10 pri čemu dobijamo veće parcijalne pritiske u odnosu na proračun po JUS standardu.

–kod proračuna po EN ISO 13788 određuje se i faktor temperature na unutrašnjoj površini kojim se definiše toplotni kvalitet elemenata omotača zgrade.

–Stoga treba provjeriti za svaku građevinsku konstrukciju grijanih dijelova zgrade da je projektni faktor temperature na unutrašnjoj površini veći od najvećeg dozvoljenog faktora, tj.

$$f_{R_{SI,proj}} > f_{R_{SI,max}}$$