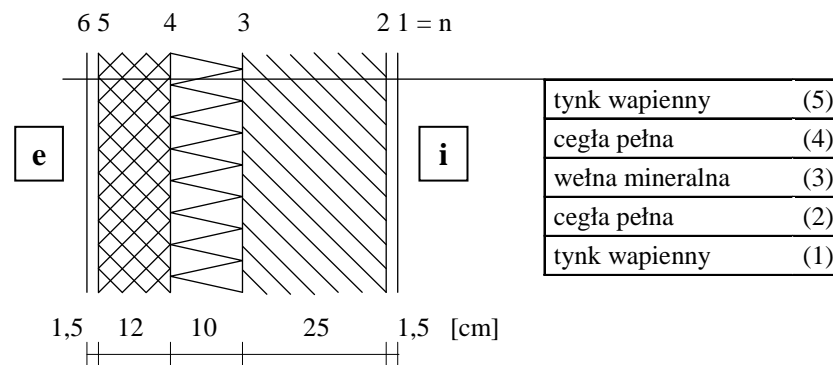


**Przykład 2.** Wyznaczyć rozkład ciśnienia cząstkowego, ciśnienia nasycenia pary wodnej oraz wyznaczyć ilość wykroplonej wilgoci dla przegrody jak na rysunku. Obliczenia przeprowadzić z uwzględnieniem klas wilgotności wewnętrznej (EN ISO 13788:2001)



Rys. 1. Schemat przegrody

Dane klimatyczne:

$$\Theta_e = -20^\circ \text{C},$$

$$\Theta_i = 20^\circ \text{C},$$

$$\varphi_e = 90\%,$$

3 klasa wilgotności wewnętrznej.

Dane materiałowe:

Materiał	Współczynnik przewodzenia ciepła [W/(m·K)]	Współczynnik oporu dyfuzyjnego [-]
tynk wapienny	0,700	20
cegła pełna	0,770	16
wełna mineralna	0,045	1
cegła pełna	0,770	16
tynk wapienny	0,700	20

Przepuszczalność powietrza w odniesieniu do ciśnienia cząstkowego

$$\delta_0 = 2 \cdot 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}).$$

Rozkład temperatury wyznaczono korzystając z poniższej zależności:

$$\Theta_n = \Theta_i - \frac{\Theta_i - \Theta_e}{R_{si} + R + R_{se}} \left( R_{si} + \sum_{(k)} R_{(k)} \right)$$

gdzie:

$R_{si}$ ,  $R_{se}$  – opory przejmowania ciepła po stronie wewnętrznej i zewnętrznej,

$R$  – opór cieplny,

$\sum_{(k)} R_{(k)}$  – suma oporów cieplnych od strony wewnętrznej,

$\Theta_i$ ,  $\Theta_e$  – temperatury po stronie wewnętrznej i zewnętrznej.

Tabela 1. Rozkłady temperatury

	Rodzaj warstwy	d [m]	$\lambda$ [W/(m·K)]	R=d/ $\lambda$ [m <sup>2</sup> ·K/W]	$\Theta_n$ [K]
	powietrze wew.	–	–	0,13	20,0
					18,2
(1)	tynk wapienny	0,015	0,700	0,0214	17,9
(2)	cegła pełna	0,25	0,770	0,3247	13,5
(3)	wełna mineralna	0,1	0,045	2,2222	-17,0
(4)	cegła pełna	0,12	0,770	0,1558	-19,2
(5)	tynk wapienny	0,015	0,700	0,0214	-19,5
	powietrze zew.	–	–	0,04	-20,0
				<b><math>\Sigma = 2,916</math></b>	

Rozkład ciśnienia cząstkowego pary wodnej wyznaczono korzystając z poniższej zależności:

$$p_n = p_i - \frac{p_i - p_e}{r} \sum_{(k)} r_{(k)}$$

gdzie:

r – opór dyfuzyjny,

$\sum_{(k)} r_{(k)}$  – suma oporów dyfuzyjnych od strony wewnętrznej,

$p_i$ ,  $p_e$  – ciśnienia cząstkowe pary wodnej po stronie wewnętrznej i zewnętrznej.

Przekształcając wzór na wilgotność względną:

$$\varphi = \frac{p}{p^{\text{sat}}} 100\%$$

obliczono ciśnienie cząstkowe pary wodnej po stronie zewnętrznej

$$p_e = \frac{\varphi_e}{100\%} p_e^{\text{sat}} = \frac{90}{100} 102,740 = 92,466 \text{ [Pa]},$$

$$\text{gdzie } p_e^{\text{sat}}(\Theta_e = -20^\circ \text{C}) = 610 \exp\left(\frac{21,875 \Theta}{265,5 + \Theta}\right) = 610 \exp\left(\frac{21,875(-20)}{265,5 + (-20)}\right) = 102,740 \text{ [Pa]}$$

Obliczenia przeprowadzono z uwzględnieniem klas wilgotności wewnętrznej (EN ISO 13788:2001). Dla 3 klasy wilgotności różnica ciśnień zgodnie z EN ISO 13788:2001 wynosi:

$$\Delta p = 810 \text{ [Pa]}.$$

Ciśnienie cząstkowe pary wodnej po stronie wewnętrznej wynosi:

$$p_i = p_e + 1,1 \cdot \Delta p = 102,740 + 1,1 \cdot 810 = 983,466 \text{ [Pa]}$$

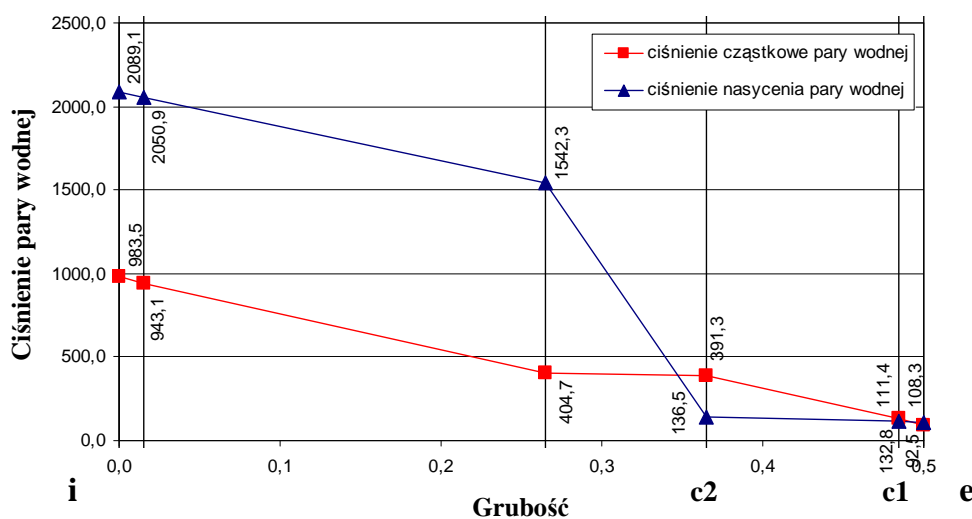
Tabela 2. Rozkłady ciśnienia pary wodnej

warstwy	d [m]	$\mu$ [-]	$r = d \cdot \mu / \delta_0$ [m <sup>2</sup> ·s·Pa/kg]	$s_c = d \cdot \mu$ [m]	$p_n$ [Pa]	$\Theta_n$ [°C]	$p_n^{\text{sat}}$ [Pa]	
powietrze wew.	–	–	–	–	983,466	20,000	2334,52	
(1) tynk wapienny	0,015	20	1,50E+09	0,30	983,466	18,216	2089,06	
(2) cegła pełna	0,25	16	2,00E+10	4,00	943,088	17,923	2050,85	
(3) wełna mineralna	0,1	1	5,00E+08	0,10	404,720	13,468	1542,28	
(4) cegła pełna	0,12	16	9,60E+09	1,92	391,261	-17,019	136,455	c2
(5) tynk cementowy	0,015	20	1,50E+09	0,30	132,844	-19,157	111,401	c1
powietrze zew.	–	–	–	–	92,466	-19,451	108,306	
					92,466	-20,000	102,740	
			$\Sigma =$ <b>3,31E+10</b>	$\Sigma =$ <b>6,62</b>				

W powyższych obliczeniach w celu obliczenia ciśnienia nasycenia pary wodnej skorzystano z:

$$p_e^{\text{sat}}(\Theta) = 610 \exp\left(\frac{17,269 \Theta}{237,5 + \Theta}\right), \text{ dla } \Theta > 0$$

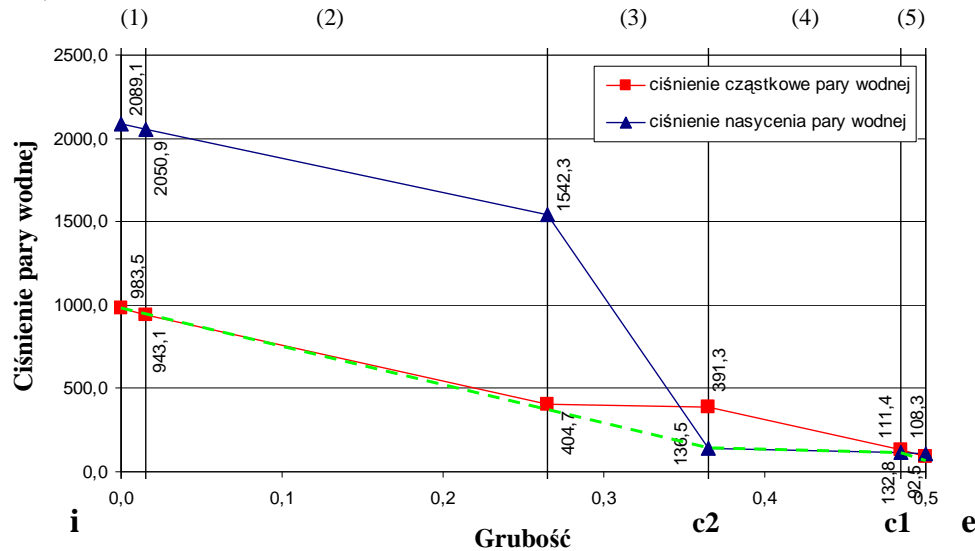
$$p_e^{\text{sat}}(\Theta) = 610 \exp\left(\frac{21,875 \Theta}{265,5 + \Theta}\right), \text{ dla } \Theta < 0$$



Rys. 2. Rozkłady ciśnienia cząstkowego i nasycenia pary wodnej

## Strumień kondensacji pary wodnej

Występują dwie powierzchnie styku gdzie wartość ciśnienia cząstkowego przekracza ciśnienie nasycenia: między wełną mineralną i cegłą pełną (c1) oraz między cegłą pełną i tynkiem (c2). Ciśnienie pary wodnej należy wykreślić jako linie proste stykające się w punktach gdzie ciśnienie pary jest większe niż ciśnienie nasycenia (rys. poniższy – linia przerywana)



Rys. 3. Rozkłady ciśnienia cząstkowego i nasycenia pary wodnej do wyznaczania strumienia kondensacji

Powierzchnia stykowa c1:

$$j_{c1} = \delta_0 \left( \frac{p_{c2} - p_{c1}}{s_{c4}} - \frac{p_{c1} - p_e}{s_{c1}} \right) =$$

$$= 2 \cdot 10^{-10} \left( \frac{136,455 - 132,844}{1,92} - \frac{132,844 - 92,466}{0,3} \right) = -265,452 \cdot 10^{-10} \text{ [kg/(m}^2 \cdot \text{s)]}$$

Nie występuje kondensacja

Powierzchnia stykowa c2:

$$j_{c2} = \delta_0 \left( \frac{p_i - p_{c2}}{s_{c1} + s_{c2} + s_{c3}} - \frac{p_{c2} - p_{c1}}{s_{c4}} \right) =$$

$$= 2 \cdot 10^{-10} \left( \frac{983,466 - 136,455}{4,4} - \frac{136,455 - 132,844}{1,92} \right) = 381,243 \cdot 10^{-10} \text{ [kg/(m}^2 \cdot \text{s)]}$$

Przemnażając strumień kondensacji przez czas (liczba sekund w miesiącu) otrzymujemy masę wykroplonej wilgoci na 1m<sup>2</sup> powierzchni:

$$m_{c2} = 381,243 \cdot 10^{-10} \cdot 2592000 = 0,0988 \text{ [kg/m}^2 \text{]}$$