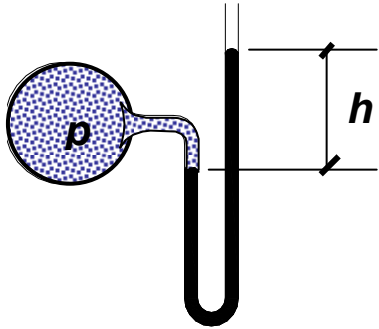


# Primjeri

## 1. Kolikii o je pritisak u Pa-mm VS

U – cijev na slici pokazuje nadpritisak od 50 mmVS (vodenog stuba). Koliko je to Paskala?



Hidrostatički pritisak je funkcija stuba tečnosti, odnosno  $p = \rho g h$ . Ako se radi o vodenom stubu ( $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ) visine  $h = 1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m}$ , imaćemo  $p = 1000 \cdot 9.81 \cdot 0.001 = 9.81 \text{ Pa}$ . Dakle  $1 \text{ mmVS} = 9.81 \text{ Pa}$ .  
Prema tome nadpritisak u sudu je  $p = 50 \text{ mmVS} = 490.5 \text{ Pa}$ .

## 2. Pretvaranje J-kWh, BTU-kWh

1 kWh je energija koju snaga od 1 kW realizuje za 1 čas.

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 1 \text{ h} = 1000 \text{ J/s} \cdot 3600 \text{ s} = 3.6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 3.6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

1 BTU je toplota koja zagrije 1 lb<sub>m</sub> vode za 1 F.

$$Q = m c \Delta t, 1 \text{ BTU} = 0.4536 \text{ kg} \cdot 4180 \text{ J/kgK} \cdot 5/9 \text{ K} = 1055 \text{ J}$$

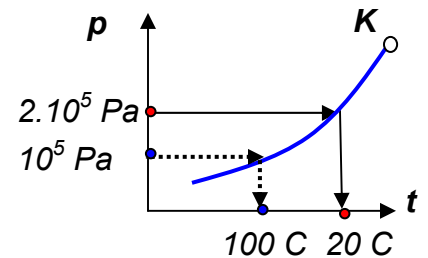
$$\text{Dakle } 1 \text{ BTU} = 1055 \text{ J} = 1055 \text{ J} / 3600 \cdot 10^3 \text{ J/kWh} = 0.293 \cdot 10^{-3} \text{ kWh}$$

$$1 \text{ BTU} = 0.293 \cdot 10^{-3} \text{ kWh}$$

## 3. Promjena faze: Isparavanje i kondenzacija

Kolika je temperatura ključanja (ravnoteža voda-para, temperatura promjene faze) vode na pritisku 2 bar ( $2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ )?

Iz „krive napona“ (krive ravnoteže) za vodu vidimo da je temperatura ključanja za  $p = 1 \text{ bar}$ ,  $t = 100 \text{ C}$ , odnosno za  $p = 2 \text{ bar}$   $t = 123 \text{ C}$ . Ovi podaci se mogu naći u tabelama za zasićenu vodenu paru u kojima je data veza  $p$ ,  $t$  krive napona.



Koliko je toplote potrebno da na toj temperaturi ispari 2 kg vode, tj. da 2 kg tečne faze pređe u gasnu?

Toplota promjene faze (ovdje isparavanja)  $r$  [kJ/kg]  $\approx 2500$ , je po definiciji količina toplote koju treba dovesti na datoj temperaturi  $t = \text{const}$  (pritisku  $p = \text{const}$ ) da bi 1 kg tečne faze prešao u gasnu (paru). Pri faznom prelazu, sva toplota se troši na

promjenu strukture supstance, tako da se temperatura ne mijenja. Ta toplota se zove „toplota promjene faze“, u našem slučaju isparavanja ( $r$  [J/kg]).

Dakle tražena toplota je  $Q = m r \approx 2 \cdot 2500 = 5000$  kJ.

Za kondenzaciju je proces obrnut u odnosu na isparavanje. U slučaju kondenzacije 2 kg pare potrebno je odvesti 5000 kJ toplote.

#### 4. Prozor: Koliki su toplotni dobici od Sunca

Srednji intezitet solarnog fluksa na južnoj fasadi u mjesecu novembru je  $I_{Sol} = 171$  W/m<sup>2</sup>. Odrediti toplotni solarni dobitak ako je prozor (na južnoj fasadi) dvostruko zastakljen, površine 2.5 m<sup>2</sup> (providni dio).

$$Q_{Sol} = A_W g_{tot} I_{Sol} \tau \quad g_{tot} = F_W F_C g_{\perp} = 0.9 \cdot 1 \cdot 0.8 = 0.72$$

$$Q_{Sol} = A_W g_{tot} I_{Sol} \tau = 2.5 \cdot 0.72 \cdot 0.171 \cdot (24 \cdot 30) = 222 \text{ kWh}$$

$A_W$  [m<sup>2</sup>] – površina providnog dijela prozora

$g_{tot}$  [-] – faktor propustljivosti solarnog zračenja

$g_{\perp}$  [-] – faktor propustljivosti pri normalnom upadu solarnog zračenja

$F_W$  [-] = 0.9 – faktor ugla, položaja Sunca

$F_C$  [-] – faktor zasjenčenja

$\tau$  [h] = 24 h \* Broj dana – period računanja

$I_{Sol}$  [W/m<sup>2</sup>] – Solarni flux osrednjen za period od 24 h.



Redni broj	Tip zastakljenja	$g_{\perp}$
1.	Jednostruko staklo (bezbojno, ravno float staklo)	0.87
2.	Dvostruko izolirajuće staklo (sa jednim međuslojem vazduha)	0.80
3.	Trostruko izolirajuće staklo (sa dva međusloja vazduha)	0.70
4.	Dvostruko izolirajuće staklo sa jednim staklom niske emisije (Low-E obloga)	0.60
5.	Trostruko izolirajuće staklo sa dva stakla niske emisije (dvije Low-E obloge)	0.50
6.	Dvostruko izolirajuće staklo sa staklom za zaštitu od solarnog zračenja	0.50
7.	Staklena opeka	0.60

Redni broj	Uredjaj za zaštitu od sol. zračenja	$F_c$ (-)
1.	Bez uredjaja za zaštitu od sol. zračenja	1.0
2	<b>Uredjaj sa unutrašnje strane ili između stakala</b>	
2.1	– bijele ili reflektirajuće površine i male transparentnosti <sup>a)</sup>	0.75
2.2	– svijetle boje ili male transparentnosti	0.80
2.3	– tamne boje ili povećane transparentnosti	0.90
3	<b>Uredjaj sa spoljne strane</b>	
3.1	žaluzine, lamele koje se mogu okretati, otpozadi provjetravano	0.25
3.2	– žaluzine, roletne, kapci (škure, grile)	0.30
4.	<b>Strehe, lođe</b>	0.50
5.	<b>Markize, gore i bočno provjetravane</b>	0.40

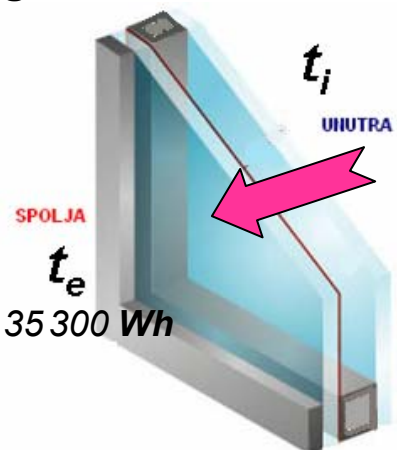
## 5. Prozor: Koliki su transmisioni toplotni gubici

Srednja mjesečna spoljašnja temperatura u novembru je

$t_{em}=10.8$  C. Temperatura u objektu je  $t_{im}=20$  C.

Odrediti transmisione toplotne gubitke u ovom mjesecu za Low-E prozor bez punjenja argonom ( $U=2$  W/m<sup>2</sup>K)

površine  $A_W=2.5$  m<sup>2</sup>.



$$Q_{L\_tr} = A_W U (t_i - t_e)_m \tau = 2.5 \cdot 2 \cdot (20 - 10.8) \cdot (24 \cdot 30) = 35300 \text{ Wh}$$

$$Q_{L\_tr} = 35.3 \text{ kWh}$$

Smjer toplotnog fluksa je od unutrašnje ka spoljašnjoj temperaturi i kod grijanja i kod hladjenja se koristi isti izraz.

## 6. Pod: Koliki su transmisioni toplotni gubici ka zemlji

Objekat je u dodiru sa zemljom na površini od  $A=1000 \text{ m}^2$ . Odrediti toplotne gubitke prema zemlji tokom novembra ( $t_{em}=10.8 \text{ C}$ ). Podzemna voda temperature  $t_w=12 \text{ C}$  je na dubini od  $10 \text{ m}$ . Otpor »samog« zida/poda (bez konvekcije) je  $R_{Wl} = 0.5$ .

U slučaju da je prostorija u kontaktu sa zemljom, jedan dio toplote se gubi ka zemlji. Određivanje ovih gubitaka se u principu vrši na dva načina:

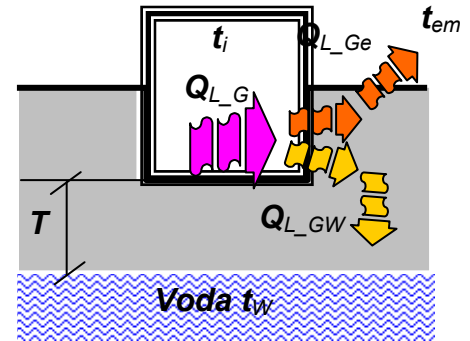
- Gubici zida ili poda u zemlji ( $\dot{Q}_{L\_tr}$ ) se dijele na 2 dijela: jedan dio ( $\dot{Q}_{L\_GW}$ ) se gubi ka zemlji, odnosno podzemnoj vodi, dok se drugi dio toplote ( $\dot{Q}_{L\_Ge}$ ) gubi ka spoljnjem vazduhu prolazeći pritom kroz zemlju
- Uzima se neka fiktivna temperatura zemlje na spoljnoj strani zida i tako se određuju gubici kroz zid.

Prema 1. načinu, toplotni fluks gubitaka ka zemlji je

$$\dot{Q}_{L\_tr} = \dot{Q}_{L\_Ge} + \dot{Q}_{L\_GW}$$

$$\dot{Q}_{L\_Ge} [W] = A \frac{t_i - t_{em}}{R_{ai} + R_{Wl} + R_{Ge} + R_{ae}}$$

$$\dot{Q}_{L\_GW} = A \frac{t_i - t_w}{R_{ai} + R_{Wl} + R_{GW} + R_{aw}} \approx 0$$



gdje je:

$A=1000 \text{ m}^2$  površina u dodiru sa zemljom

$t_{em} = 10.8 \text{ C}$ , srednja temperatura spoljnog vazduha,

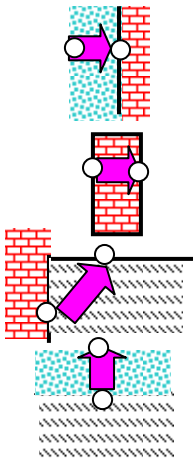
$R_{ai} = \left( \frac{1}{\alpha_i = 7.5} \right) = 0.125$  otpor konvekcije na unutrašnjoj površ.zida,

$R_{Wl} = \left( \frac{\delta}{\lambda} \right)_{Zid} = 0.5$  otpor kondukcije zida,

$R_{Ge} = 6$  - efektivni otpor zemlje od zida do površine (određuje se iz dijagrama-dolje)

$R_{ae} = \left( \frac{1}{\alpha_e = 25} \right) = 0.04$  otpor konvekcije na površini zemlje.

$R_{GW} = \left( \frac{T}{\lambda_G = 1.2} \right) = \frac{10}{1.2} = 8$  otpor kondukcije zemlje od zida do vode.

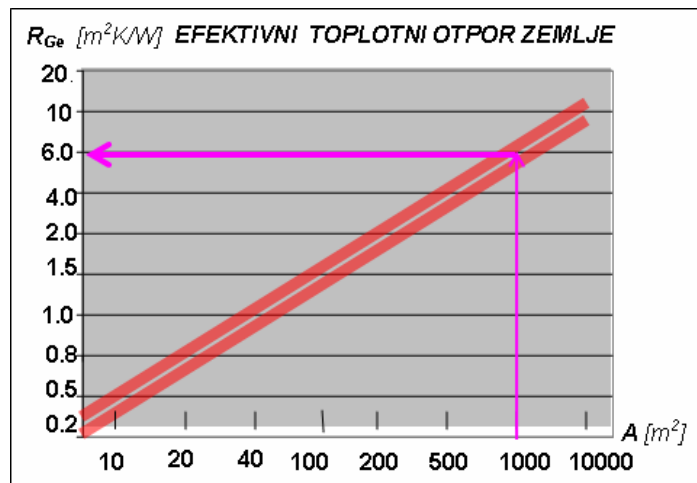


$$\dot{Q}_{L_{tr}} [W] = 1000 \frac{20 - 10.8}{0.125 + 0.5 + 6 + 0.04} + 1000 \frac{20 - 12}{0.125 + 0.5 + 8}$$

$$\dot{Q}_{L_{tr}} [W] = 1400 + 900 = 2300, \quad \dot{Q}_{L_G} [kW] = 2.3$$

Napomenimo da je otpor prelaza toplote sa zemlje na vodu ( $R_{av}$ ) zanemarljiv. Gubici kroz zemlju za mjesec novembar su

$$Q_{L_{tr}} [kWh] = \dot{Q}_{L_G} \cdot \tau = 2.3 \cdot 24 \cdot 30 = 1656$$



## 7. Izračunavanje broja izmjena na čas

a. Ventilator ubacuje u prostoriju  $V_{IN}=1600 m^3/h$  u prostoriju zapremine  $V=300 m^3$ . Drugi ventilator izbacuje iz prostorije  $V_{OUT}=1800 m^3/h$ . Odrediti broj izmjena vazduha na čas.

Mjerodavna je veća količina vazduha, odnosno  $V_{OUT}=1800 m^3/h$ . Razlika u odnosu na manju ubačenu količinu, usisava se kroz otvore mehanizmom infiltracije.

$$n = \frac{\dot{V}_{OUT}}{V} = \frac{1800}{300} = 6 h^{-1}$$



b. Isto kao pod „a“, samo što postoji jedan ventilator koji ubacuje vazduh, odnosno nema ventilatora za odsis.

U ovom slučaju ventilator ubacuje vazduh u prostoriju i u prostoriji će se uspostaviti nadpritisak koji će usloviti da količina vazduha koju ubaci ventilator izadje iz prostorije kroz procjepe i otvore. Prema tome, za proračun  $n$  se koristi već navedeni izraz samo što se uzima kao mjerodavno  $V_{IN}$ .

c. Isto kao pod „a“ ali se vazduh samo isisava ventilatorom, dakle nema ventilatora za ubacivanje vazduha.

Otsisni ventilator će uspostaviti podpritisak u prostoriji koji će usloviti prodor spoljnog vazduha u prostoriju, tačno onoliko koliko se odsisava. Dakle za račun će biti mjerodavna količina  $V_{OUT}$ .

## 8. Odredjivanje entalpije gasa i vodene pare

Odrediti entalpiju vazduha i vode temperature 50 C. Odrediti entalpiju vodene pare pritiska 6 bar i temperature 160 C.

Entalpija idealnih gasova je funkcija temperature  $i=c_p t$ .

$$i_{vaz}=1000*50=50 \text{ kJ/kg.}$$

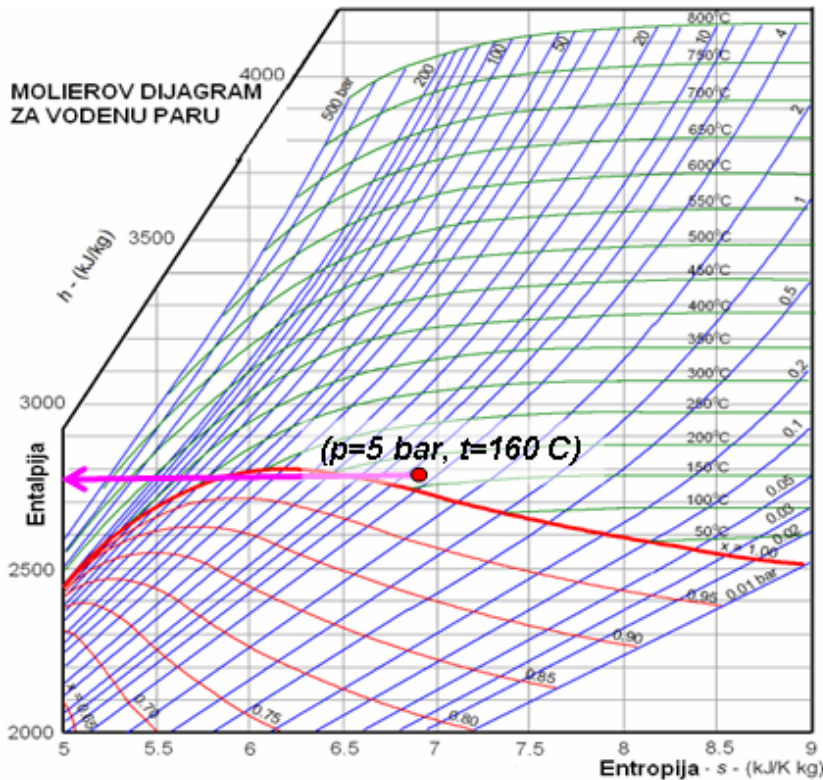
$$\text{Entalpija vode je } i=c_w t=4180*50=209 \text{ kJ/kg}$$

Entalpija pare se može naći u tablicama za pregrišanu vodenu paru ili pomoću dijagrama **i-s**.

U tablicama za pregrišanu vodenu paru vrijednosti su sistematizovane po pritiscima (red na vrhu stranice) i temperaturama (kolona lijevo):

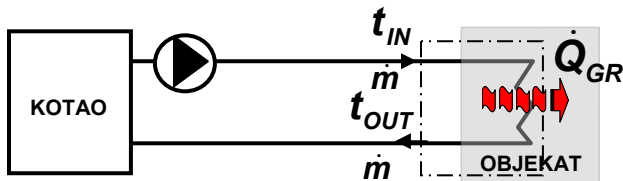
<i>p=5 bar</i>			
<i>t C</i>	<i>v m<sup>3</sup>/kg</i>	<i>i kJ/kg</i>	<i>s kJ/kgK</i>
20	xxx	xxx	xxx
40	xxx	xxx	xxx
xxx	xxx	xxx	xxx
<b>160</b>	0.317	<b>2759</b>	6.77
.xxx..	xxx	xxx	xxx

Entalpiju pare je moguće odrediti i iz Molijerovog dijagrama-dolje.



## 9. Voda: Izračunavanje toplotnog fluksa

Iz kotla u grejnu instalaciju objekta odlazi voda temperature 90 C, dok je temperatura povratne vode 70 C. Protok vode je 1 l/s (1 kg/s). Odrediti grejnu snagu instalacije.



Za posmatrani sistem (ograničen linijom „crta-tačka“) postavimo izraz za energetske bilans (I Zakon): **ULAZ=IZLAZ**

$$\dot{m}i_{IN} = \dot{Q}_{GR} + \dot{m}i_{OUT}, \text{ tj. nakon sredjivanja } \dot{Q}_{GR} = \dot{m}(i_{IN} - i_{OUT}).$$

$$\dot{Q}_{GR} = \dot{m}c_w(t_{IN} - t_{OUT}) = 1 \cdot 4180 \cdot (90 - 70) = 83600W = 83.6 kW$$

## 10. Vazduh: Izračunavanje toplotnog fluksa

Ventilacioni sistem zagrijava spoljni vazduh sa 10 C na 22 C i ubacuje ga u objekat. Količina vazduha koja se ubacuje je 10000 m<sup>3</sup>/h (zagrijanog vazduha). Odrediti snagu grijača u ventilacionom sistemu.

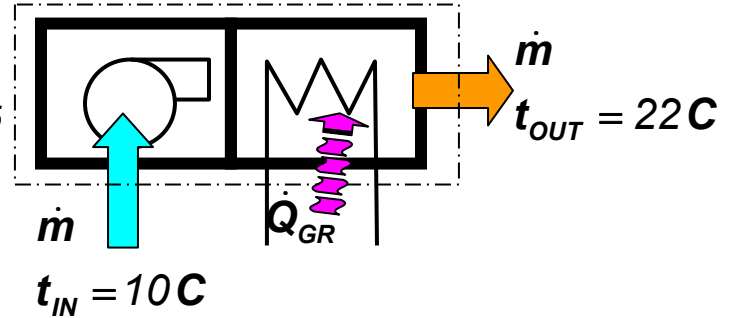
Maseni protok vazduha je:

$$\dot{m} [\text{kg} / \text{s}] = \rho_{OUT} \dot{V}_h^{OUT} / 3600$$

$$\rho_{OUT} = p / RT_{OUT} = 1 \cdot 10^5 / (8314 / 29) 295$$

$$\rho_{OUT} = 1.18 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\dot{m} = 1.18 \cdot 10000 / 3600 = 3.3 \text{ kg} / \text{s}$$



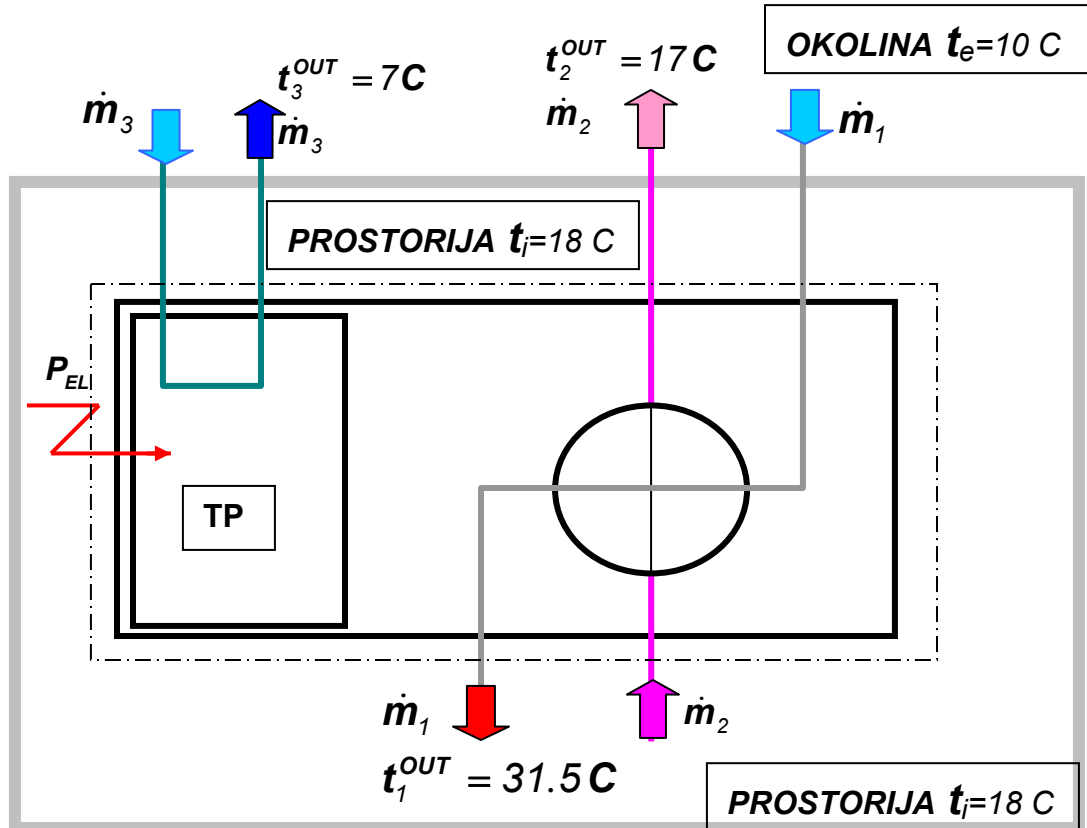
Za posmatrani sistem (ograničen linijom „crta-tačka“) postavimo izraz za energetski bilans (I Zakon): **ULAZ=IZLAZ**

$$\dot{m} i_{IN} + \dot{Q}_{GR} = \dot{m} i_{OUT}, \text{ tj. nakon sredjivanja } \dot{Q}_{GR} = \dot{m} (i_{OUT} - i_{IN}).$$

$$\dot{Q}_{GR} = \dot{m} c_p (t_{OUT} - t_{IN}) = 3.3 \cdot 1000 \cdot (22 - 10) = 39600 \text{ W} = 39.6 \text{ kW}$$

## 11. I Zakon za otvorene sisteme

U prostoriji se nalazi instalacija kojom se priprema vazduh. Instalacija se napaja električnom energijom. Odrediti električnu snagu napajanja ako su izmjereni protoci vazduha i ulazne, odnosno izlazne temperature. Uzeti da je gustina vazduha  $\rho = 1.18 \text{ kg} / \text{m}^3$ .





Za posmatrani sistem (ograničen linijom „crta-tačka“) postavimo izraz za energetske bilans (I Zakon): **ULAZ=IZLAZ**

$$P_{EL} + \dot{m}_1 c_p t_e + \dot{m}_2 c_p t_i + \dot{m}_3 c_p t_e = \dot{m}_1 c_p t_1^{OUT} + \dot{m}_2 c_p t_2^{OUT} + \dot{m}_3 c_p t_3^{OUT}$$

Izmjerene vrijednosti masenih protoka su:

$$\dot{m}_1 = 0.61 \text{ kg/s}, \dot{m}_2 = 0.71 \text{ kg/s}, \dot{m}_3 = 2.29 \text{ kg/s}.$$

$$P_{EL} = \dot{m}_1 c_p (t_1^{OUT} - t_e) + \dot{m}_2 c_p (t_2^{OUT} - t_i) + \dot{m}_3 c_p (t_3^{OUT} - t_e)$$

$$P_{EL} = 0.61 \cdot 1000(31.5 - 10) + 0.71 \cdot 1000(17 - 18) + 2.29 \cdot 1000(7 - 10)$$

$$P_{EL} = 5535 \text{ W}$$

Napomenimo da se ovdje radi o aktivnoj električnoj snazi, jer samo ona dopire do pogona ventilatora, pumpi itd. putem elektromotora koji pokreću djelove opreme.

## 12. Izračunavanje toplotnih gubitaka zgrade

Objekat ima površinu:

- spoljnih zidova  $A_{WL}=720 \text{ m}^2$  ( $U_{WL}=0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- prozora  $A_W=180 \text{ m}^2$  ( $U_W=2.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- krova  $A_R=1000 \text{ m}^2$  ( $U_R=0.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- poda (na zemlji)  $A_{FG} = 1000 \text{ m}^2$  (uzeti podatke iz primjera sa gubicima u zemlju).
- Broj izmjena na čas je  $n=0.5 \text{ h}^{-1}$ .

Odrediti toplotne gubitke u mjesecu novembru (srednja mjesečna temperatura  $t_{em}=10.8 \text{ C}$ ), pri srednjoj temperaturi objekta  $t_{im}=20 \text{ C}$ .

Gubici se sastoje iz transmisione i ventilacione komponente:

$$\dot{Q}_L [\text{W}] = \dot{Q}_{Ltr} + \dot{Q}_{LV}, \text{ odnosno } Q_L [\text{kWh}] = Q_{Ltr} + Q_{LV}.$$

Transmisioni gubici zidova, prozora i krova (fluks) (označeni za zvezdicom jer ne uključuju gubitke ka zemlji) su:

$$\dot{Q}_{Ltr}^* = (A_{WL} U_{WL} + A_W U_L + A_R U_R) (t_i - t_m)$$

$$\dot{Q}_{Ltr}^* = (720 \cdot 0.6 + 180 \cdot 2 + 1000 \cdot 0.4) (20 - 10.8) = 10194 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{Ltr}^* = 10.2 \text{ kW}$$

Gubici za mjesec dana su

$$Q_{Ltr}^* = \dot{Q}_{Ltr}^* \tau = 10.2 \cdot 24 \cdot 30 = 7334 \text{ kWh}$$

Transmisioni gubici ka zemlji su izračunati u već prikazanom primjeru,

$$Q_{Ltr}(\text{pod}) = 1656 \text{ kWh}.$$

Ukupni transmisioni gubici objekta za mjesec novembar su

$$Q_{Ltr} = Q_{Ltr}^* + Q_{Ltr}(pod) = 7334 + 1656 = 8990 \text{ kWh.}$$

Ventilacioni gubici (fluks) objekta su (za vazduh  $c_p = 1000 \text{ J/kgK}$ )

$$\dot{Q}_{LV} [W] = \frac{\rho n V}{3600} c_p (t_i - t_e)_m \approx \frac{n V}{3} (t_i - t_e)_m = \frac{0.5 \cdot 6000}{3} (20 - 10.8) = 9200$$

$$\dot{Q}_{LV} [kW] = 9.2$$

Ventilacioni gubici za novembar su:

$$Q_{LV} [kWh] = \dot{Q}_{LV} \tau = 9.2 \cdot (24 \cdot 30) = 6624$$

Konačno, ukupni gubici objekta za novembar su

$$Q_L [kWh] = Q_{Ltr} + Q_{LV} = 8990 + 6624 = 15614.$$

### 13. Odredjivanje tačke rose i parcijalnog pritiska zasićenja

Vazduh u objektu je stanja ( $t = 20 \text{ C}$ ,  $\varphi = 65 \%$ ). Odrediti parcijalni pritisak pare i tačku rose vazduha.

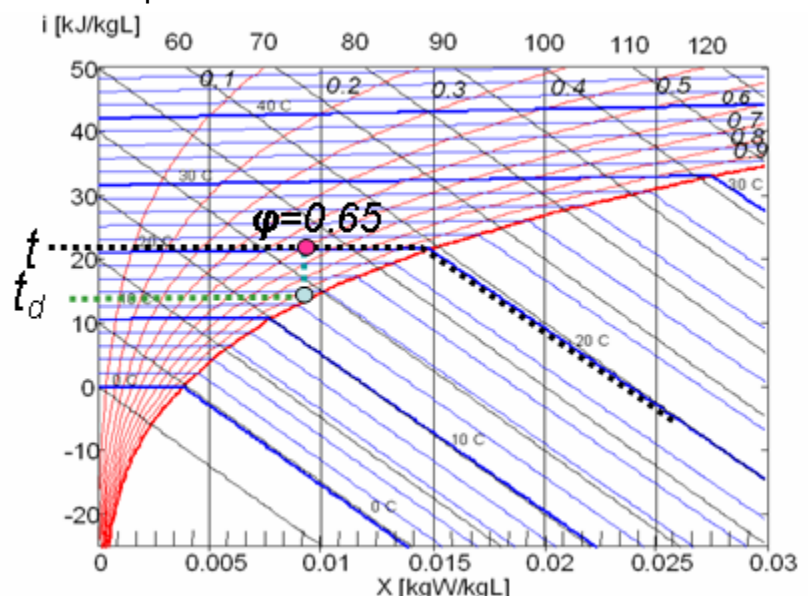
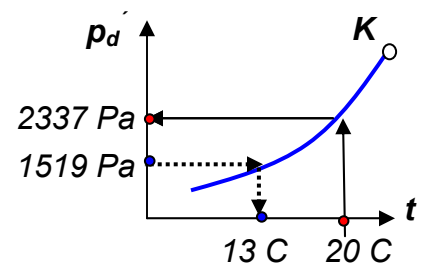
Po definiciji relativna vlažnost je odnos parcijalnog pritiska pare u datom stanju i parcijalnog pritiska

$$\text{zasićene pare na istoj temperaturi: } \varphi = \frac{p_d}{p'_d} \Big|_{20 \text{ C}}$$

Prema tome  $p_d = \varphi p'_d$ . Parcijalni pritisak zasićene pare za  $t = 20 \text{ C}$  nalazimo u tabeli za zasićenu vodenu paru koja predstavlja tabelarno predstavljenu krivu ravnoteže (ključanja) (slika desno):  $p'_d(20 \text{ C}) = 2339 \text{ Pa}$ .

Prema tome parcijalni pritisak pare u vazduhu je  $p_d = 0.65 \cdot 2339 = 1519 \text{ Pa}$ .

Tačka rose predstavlja temperaturu na kojoj dati parcijalni pritisak pare predstavlja pritisak zasićenja. Drugim riječima, tačka rose predstavlja onu temperaturu na kojoj pri hlađenju vazduha zadatog stanja počinje kondenzacija. Dakle, pitamo se koja temperatura zasićenja



odgovara  $p'_d=1519 \text{ Pa}$ . Iz tabela za zasićenu vodenu paru (kriva ravnoteže) nalazimo  $t_d \approx 13 \text{ C}$  (slika desno).

Tačku rose smo mogli odrediti direktno, korišćenjem dijagrama za vlažan vazduh.

## 14. Kolika je energetska efikasnost svetiljki

Halogene svetiljke imaju efikasnost osvetljenja  $\eta_{\text{Osv}}=40 \text{ lm/W}$ , odnosno svaki instalisani vat daje 40 lumena osvetljenja. Kolika je efikasnost ovih svetiljki izražena kroz odnos  $W_{\text{Osv}}/W_{\text{el}}$ , odnosno koji dio instalisane snage se pretvori u svjetlost?

Po definiciji  $1 \text{ lm}=1.46 \cdot 10^{-3} \text{ W}$ .

Prema tome  $\eta_{\text{Osv}}=40 \text{ lm/W}=40 \cdot 1.46 \cdot 10^{-3} \text{ W}_{\text{osv}}/\text{W}_{\text{snage}}$

$\eta_{\text{Osv}}=0.058=5.8 \%$ .



## 15. Izračunavanje temperature negrijane prostorije

Prostorija je sa dvije strane u kontaktu sa zagrijanim prostorijama ( $20 \text{ C}$ ), a sa druge dvije strane sa spoljnim vazduhom temperature  $10.8 \text{ C}$ . Ukupna površina zidova koji se graniče sa zagrijanom prostorijom je  $A_1=30 \text{ m}^2$  ( $U_1=1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) a sa okolinom  $A_2=30 \text{ m}^2$  ( $U_2=0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Zapremina prostorije je  $V_x=75 \text{ m}^3$ , a broj izmjena svježeg vazduha je  $n_x=1 \text{ h}^{-1}$ . Odrediti temperaturu vazduha u prostoriji.

Posmatrajmo prostoriju nepoznate temperature koja je okružena drugim prostorijama čije su temperature poznate.

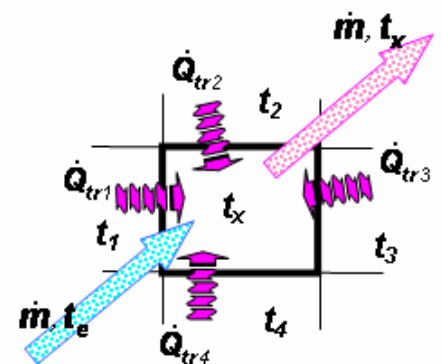
$$\sum_1^4 \dot{Q}_{tr} + \dot{m}i_e = \dot{m}i_x$$

$$\dot{Q}_{Tj} = (AU)_j(t_j - t_x), \quad \dot{m}i = \frac{nV}{3} t$$

Ova jednačina predstavlja ustvari bilans po kome je za prostoriju "x": ULAZ=IZLAZ. Nakon zamjene imamo izraz

$$\sum_{j=1}^4 (AU)_j(t_j - t_x) + \frac{n_x V_x}{3} t_e = \frac{n_x V_x}{3} t_x$$

$$t_x = \frac{\sum_{j=1}^4 (AU)_j t_j + \frac{n_x V_x}{3} t_e}{\sum_{j=1}^4 (AU)_j + \frac{n_x V_x}{3}}$$



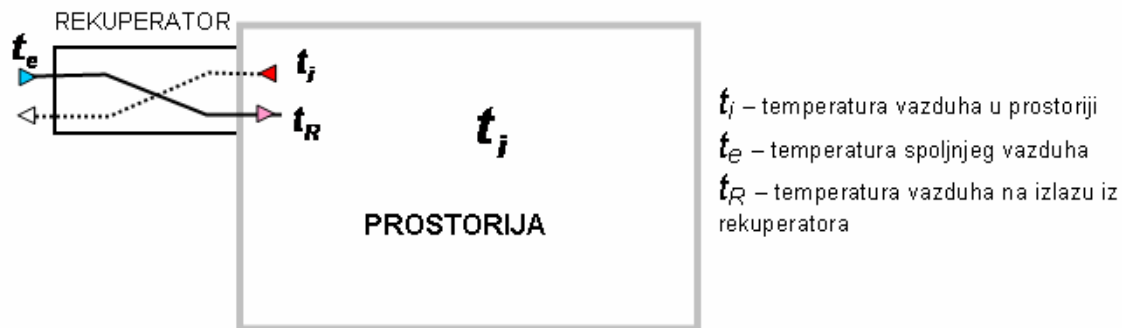
Iz gornjeg izraza se može odrediti temperatura negrijane prostorije ( $t_x$ ).

$$t_x = \frac{30 \cdot 1.2 \cdot 20 + 30 \cdot 0.8 \cdot 10.8 + \frac{1.75}{3} 10.8}{30 \cdot 1.2 + 30 \cdot 0.8 + \frac{1.75}{3}} = 14.7 \text{ C}$$

## 16. Odredjivanje efikasnosti rekuperatora toplote

U prostoriju sa temperaturom **20 C** ubacuje se svježi vazduh čija je temperatura na izlazu iz rekuperatora **16.5 C**. Temperatura spoljnjeg vazduha je **5 C**. Kolika je efikasnost rekuperatora?

Rekuperator je ustvari razmjenjivač toplote, čija je uloga da vazduh koji izlazi iz prostorije preda dio toplote svježem vazduhu koji ga zamjenjuje u prostoriji.

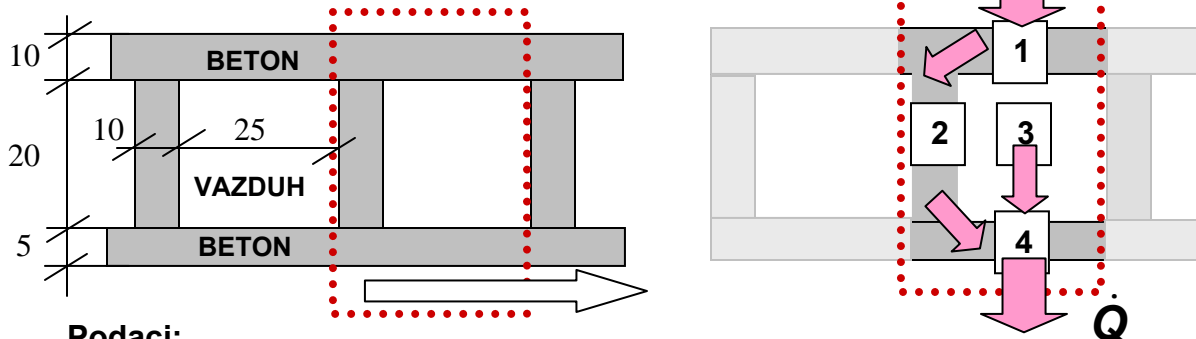


Efikasnost rekuperatora je data izrazom  $\eta_R = \frac{\dot{Q}_R}{\dot{Q}_{RMax}}$ , gdje  $\dot{Q}_R$  predstavlja toplotu koju rekuperator uzme izlaznom i preda je ulaznom vazduhu, a  $\dot{Q}_{Rmax}$  toplotu koju bi uzeo i predao u idealnom slučaju.

$$\eta_R = \frac{\dot{Q}_R}{\dot{Q}_{RMax}} = \frac{\dot{m}c_p(t_R - t_e)}{\dot{m}c_p(t_i - t_e)} = \frac{t_R - t_e}{t_i - t_e}, \quad \eta_R = \frac{16.5 - 5}{20 - 5} = 0.77$$

## 17. Odredjivanje U\_value (k) za rebr. konstrukciju

Posmatrajmo dio knstrukcije sa rebrima i medjuprostorom sa vazduhom (na slici). Odrediti toplotni otpor tog dijela konstrukcije.



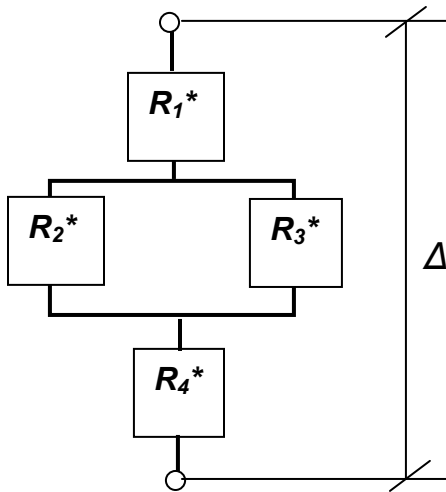
**Podaci:**

1. Beton	$\delta_1 = 10 \text{ cm}$	$A_1 = 0.35 \text{ m}$	$\lambda_1 = 2 \text{ W/mK}$	$R_1 = (\delta / \lambda)_1 = 0.05 \text{ m}^2\text{K/W}$
2. Beton	$\delta_2 = 20 \text{ cm}$	$A_2 = 0.10 \text{ m}$	$\lambda_2 = 2 \text{ W/mK}$	$R_2 = (\delta / \lambda)_2 = 0.1 \text{ m}^2\text{K/W}$
3. Vazduh	$\delta_3 = 20 \text{ cm}$	$A_3 = 0.25 \text{ m}$		$R_3 = 0.2 \text{ m}^2\text{K/W}$
4. Beton	$\delta_4 = 5 \text{ cm}$	$A_4 = 0.35 \text{ m}$	$\lambda_4 = 2 \text{ W/mK}$	$R_4 = (\delta / \lambda)_4 = 0.025 \text{ m}^2\text{K/W}$

Toplotni fluks kroz neku površinu  $A$  je:

$$q [\text{W} / \text{m}^2] = \frac{\Delta T}{R}, \quad \dot{Q} [\text{W}] = Aq = \frac{\Delta T}{\frac{R}{A}} = \frac{\Delta T}{R^*}$$

Izdvojeni dio konstrukcije se može predstaviti električnom shemom u kojoj su otpori 2 i 3 paralelni.



$$\dot{Q} [\text{W}] = \frac{\Delta T}{R^*} = \frac{\Delta T}{\sum R^*}$$

$$R^* = R_1^* + R_{23}^* + R_4^*$$

$$\Delta T \quad \frac{1}{R_{23}^*} = \frac{1}{R_2^*} + \frac{1}{R_3^*}, \quad R_{23}^* = \frac{R_2^* \cdot R_3^*}{R_2^* + R_3^*}$$

$$R_1^* = 0.05 / 0.35 = 0.14 \text{ K/W}, \quad R_2^* = 0.1 / 0.1 = 1 \text{ K/W}$$

$$R_3^* = 0.2 / 0.25 = 0.8 \text{ K/W}, \quad R_4^* = 0.025 / 0.35 = 0.07 \text{ K/W}$$

$$R_{23}^* = 1 \cdot 0.8 / (1 + 0.8) = 0.8 / 1.8 = 0.44 \text{ K/W}$$

$$R^* = 0.14 + 0.44 + 0.07 = 0.65 \text{ K/W}$$

Ovaj otpor se može svesti na  $1 \text{ m}^2$  površine  $A_1$ : (vidi izraz za fluks)

$$R = AR^* = 0.35 \cdot 0.65 = 0.23 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Pogledajmo sada šta bi dobili da smo računali srednji otpor proporcionalno površinama:

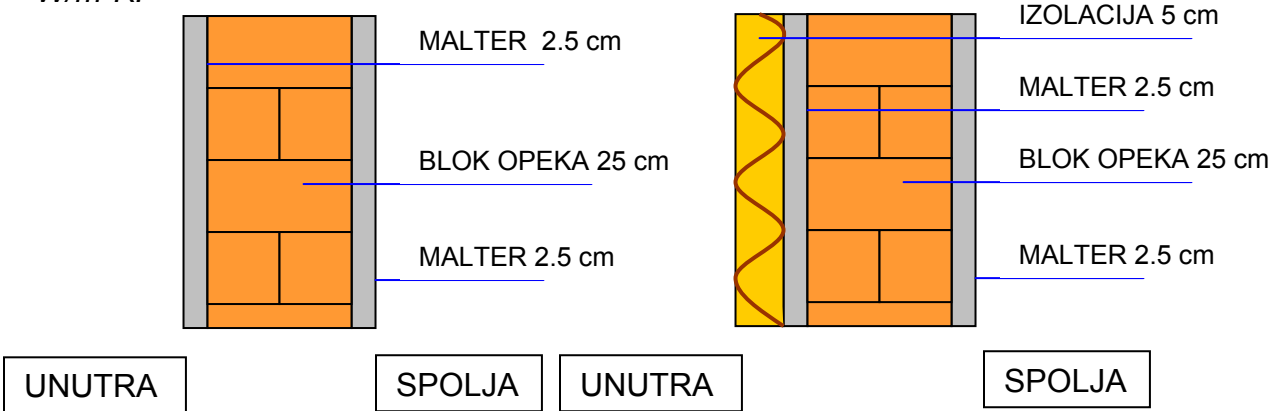
$$R_{23} = (A_2 R_2 + A_3 R_3) / (A_2 + A_3) = (0.1 \cdot 0.1 + 0.25 \cdot 0.2) / (0.1 + 0.25) = 0.17 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R = R_1 + R_{23} + R_4 = 0.05 + 0.17 + 0.025 = 0.245 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Vidimo da razlika nije velika.

## 18. Gdje postaviti toplotnu izolaciju

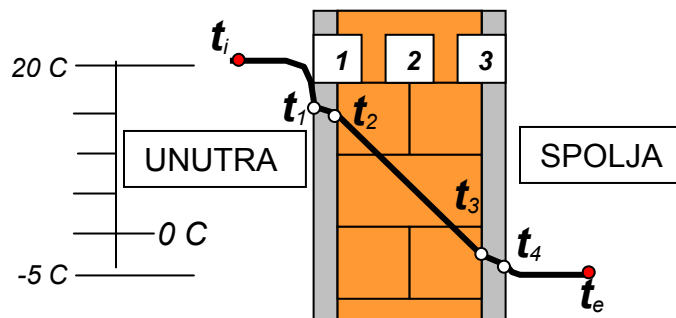
Zid od blok opeke (25 cm), omalterisan sa obje strane. Želimo da sa jedne njegove strane dodamo toplotnu izolaciju debljine 5 cm. Odrediti gustinu toplotnog fluksa i temperaturno polje u zidu za slučaj zida sa i bez izolacije. Unutrašnja temperatura je 20 C, dok je spoljna temperatura -5 C. Koeficijent prelaza toplote na unutrašnjoj strani zida je  $\alpha_i=7.5 \text{ W/m}^2\text{K}$  a na spoljašnjoj  $\alpha_e=25 \text{ W/m}^2\text{K}$ .



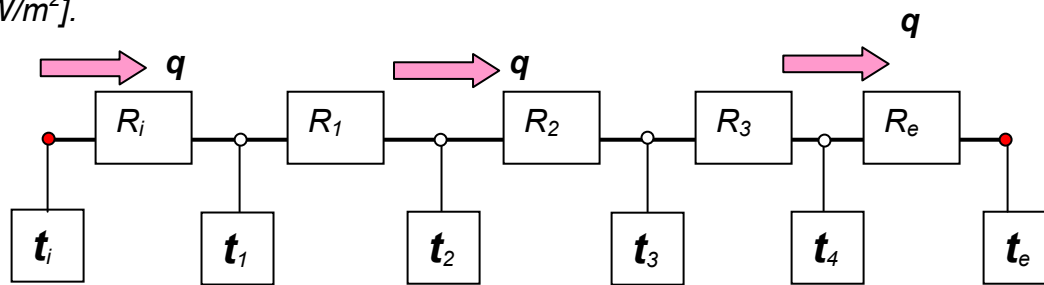
Sloj	$\delta$ [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$R$ [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]
Malter	2.5	0.8	$\delta/\lambda=0.03$
Blok_opeka	25	0.6	$\delta/\lambda=0.42$
Izolacija	5	0.04	$\delta/\lambda=1.25$
Konvekcija_int	Unutraš. strana $\alpha_i=7.5$		$1/\alpha_i=0.125$
Konvekcija_ext	Spoljaš. strana $\alpha_e=25$		$1/\alpha_e=0.04$

### a. Neizolovani zid

Ukupni toplotni otpor neizolovanog zida sastoji se iz 5 otpora: Otpor unutrašnje konvekcije, otpor maltera, otpor blok-opeke, otpor maltera, otpor spoljašnje konvekcije (slika dolje).



Koristeći električnu analogiju može se odrediti gustina toplotnog protoka-fluksa  $q$  [ $W/m^2$ ].



$$q_a = \frac{t_i - t_e}{\sum R} = \frac{20 - (-5)}{0.125 + 0.03 + 0.42 + 0.03 + 0.04} = \frac{25}{0.645} = 38.8 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Sa druge strane ako ovaj izraz uporedimo sa ekvivalentnim ali u kome figuriše koeficijent prolaza toplote ( $U$  ili  $k$ ):

$$q_a = U(t_i - t_e) = \frac{t_i - t_e}{\frac{1}{U}} \text{ [W/m}^2\text{]} \text{ o} \text{čigledno je da je } \frac{1}{U} = \sum R.$$

Prema tome u ovom primjeru koeficijent prolaza toplote zida je:

$$U(k) = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{0.645} = 1.55 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

Imajući na umu da je toplotni fluks isti kroz bilo koji sloj zida, mogu se odrediti temperature u zidu:

$$q_a \text{ [W/m}^2\text{]} = \frac{t_i - t_x}{\sum R_x} \Rightarrow t_x = t_i - q_a \sum R_x$$

$$t_1 = t_i - q_a R_i = 20 - 38.8 \cdot 0.125 = 15.2 \text{ C}$$

$$t_2 = t_i - q_a (R_i + R_1) = 20 - 38.8 \cdot (0.125 + 0.03) = 14.0 \text{ C}$$

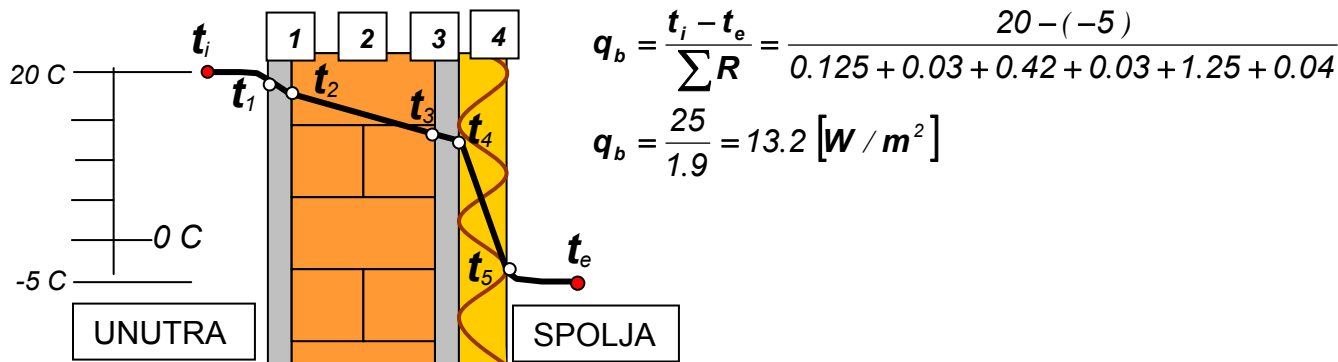
$$t_3 = t_i - q_a (R_i + R_1 + R_2) = 20 - 38.8 \cdot (0.125 + 0.03 + 0.42) = -2.3 \text{ C}$$

$$t_4 = t_i - q_a (R_i + R_1 + R_2 + R_3) = 20 - 38.8 \cdot (0.125 + 0.03 + 0.42 + 0.03) = -3.5 \text{ C}$$

Na osnovu ovako dobijenih temperatura nacrtano je temperaturno polje u zidu (slika gore).

### b. Izolovani zid-spolja

Na analogan način je tretiran i zid kome je na spoljnoj strani dodata toplotna izolacija.



$$t_1 = t_i - q_b R_i = 20 - 13.2 \cdot 0.125 = 18.4 \text{ C}$$

$$t_2 = t_i - q_b (R_i + R_1) = 20 - 13.2 \cdot (0.125 + 0.03) = 18.0 \text{ C}$$

$$t_3 = t_i - q_b (R_i + R_1 + R_2) = 20 - 13.2 \cdot (0.125 + 0.03 + 0.42) = 12.4 \text{ C}$$

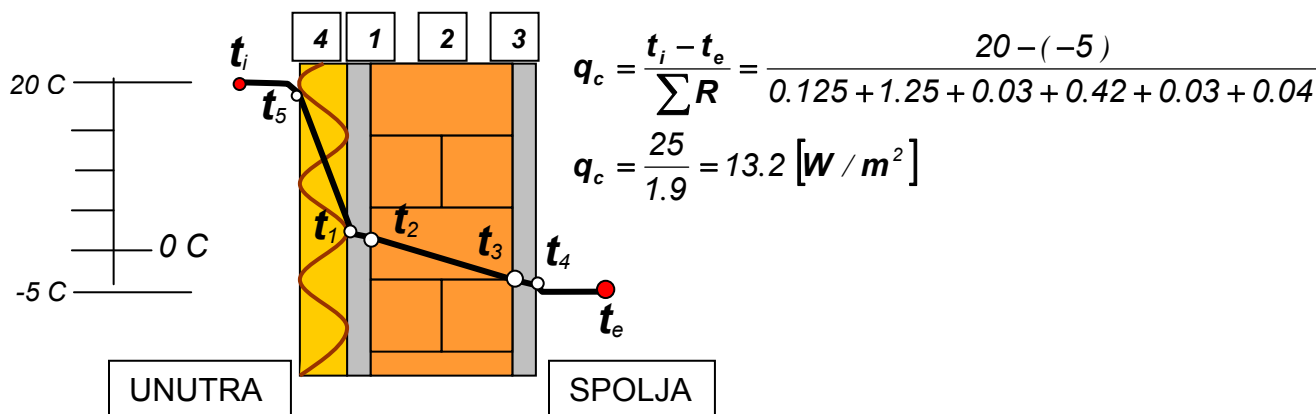
$$t_4 = t_i - q_b (R_i + R_1 + R_2 + R_3) = 20 - 13.2 \cdot (0.125 + 0.03 + 0.42 + 0.03) = 12.0 \text{ C}$$

$$t_5 = t_i - q_b (R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4) = 20 - 13.2 \cdot (0.125 + 0.03 + 0.42 + 0.03 + 1.25) = -4.5 \text{ C}$$

Vidimo da je čitav zid „zagrijan“, odnosno akumulacione mase su zagrijane i takav zid amortizuje promjene u spoljnoj temperaturi. Drugim riječima unutrašnjost ovakvog objekta se sporije zagrijava ali i sporije hladi, dakle „drži“ temperaturu.

### c. Izolovani zid-iznutra

U ovom slučaju toplotni gubici su isti kao u prethodnom slučaju, ali je temperatura akumulacionih masa niska. Posledica je da se unutrašnjost ovakvog objekta brzo zagrijava ali i brzo hladi.



$$t_5 = t_i - q_c R_i = 20 - 13.2 \cdot 0.125 = 18.4 \text{ C}$$

$$t_1 = t_i - q_c (R_i + R_4) = 20 - 13.2 \cdot (0.125 + 1.25) = 1.85 \text{ C}$$

$$t_2 = t_i - q_c (R_i + R_4 + R_1) = 20 - 13.2 \cdot (0.125 + 1.25 + 0.03)$$

$$t_2 = 1.45 \text{ C}$$

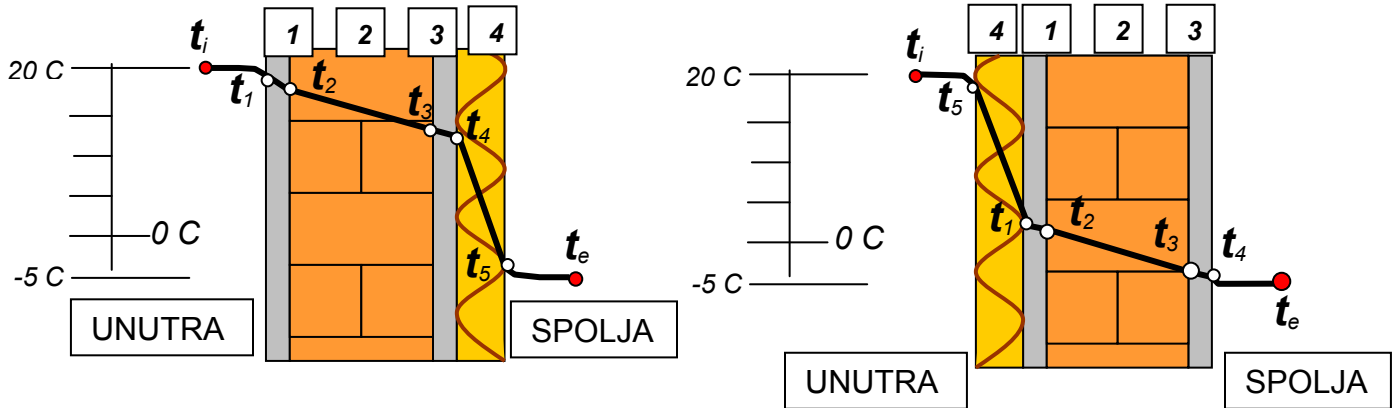


$$t_3 = t_i - q_c (R_i + R_4 + R_1 + R_2)$$

$$t_3 = 20 - 13.2 \cdot (0.125 + 1.25 + 0.03 + 0.42) = -4.1 \text{ C}$$

$$t_4 = t_i - q_c (R_i + R_4 + R_1 + R_2 + R_3)$$

$$t_4 = 20 - 13.2 \cdot (0.125 + 1.25 + 0.03 + 0.42 + .03) = -4.5 \text{ C}$$



## 19. Gdje postaviti parnu branu?

Za slučajeve iz prethodnog primjera odrediti difuziju vodene pare i polje parcijalnog pritiska u zidu. Relativna vlažnost unutar prostorije je  $\varphi_i=60\%$  a spolja  $\varphi_e=80\%$ .

Sloj	$\delta$ [cm]	$\mu$ [-]	$r$ [m]
Malter	2.5	20	0.5
Blok_opeka	25	10	2.5
Izolacija	5	50	2.5
Parna brana	0.3	10000	30

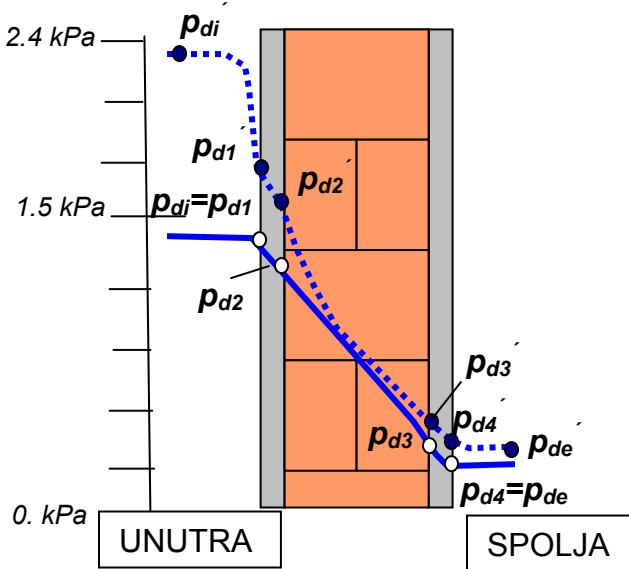
Stanje vazduha	Unutra	Spolja
$t, \text{ C}$	20	-5
$\varphi, \%$	60	80
$p_d' = p_d'(t), \text{ Pa}$	2335	401
$p_d = \varphi p_d', \text{ Pa}$	1401	320

$r$  [m] =  $\delta \mu$  – relativni otpor sloja difuziji

$\mu$  [-] – relativni otpor difuziji

$\delta$  [cm]- debljina sloja

a. Neizolovani zid



Slično prostiranju toplote, difuzija je također proces koji se može analizirati uz pomoć električne analogije. Da bismo odredilo polje parcijalnog pritiska vodene pare u zidu, prvo odredimo gustinu fluxa difuzije kroz zid ( $q_m$ ):

$$q_m = D_0 \frac{p_{di} - p_{de}}{\sum r} = 0.67 \cdot 10^{-6} \frac{1401 - 320}{0.5 + 2.5 + 0.5}$$

$$q_m = 0.67 \cdot 10^{-6} \frac{1081}{3.5} = 207 \cdot 10^{-6} \text{ [ (kg/h) / m}^2 \text{ ]}$$

Parcijalni pritisci u zidu se određuju iz uslova koji je analogan onome u prostiranju toplote, odnosno koristi se uslov da je difuzioni flux pare isti kroz sve slojeve zida. Na taj način se određuje polje pritiska pare u zidu:

$$q_m \text{ [ (kg/h) / m}^2 \text{ ]} = D_0 \frac{p_i - p_x}{\sum r_x} \Rightarrow p_x = p_i - \frac{q_m}{D_0} \sum r_x$$

$$p_{d1} = 1401 \text{ Pa}$$

$$p_{d2} = p_{d1} - (q_m / D_0) r_1 = 1401 - (207 \cdot 10^{-6} / 0.67 \cdot 10^{-6}) \cdot 0.5$$

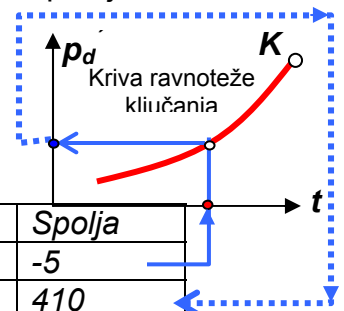
$$p_{d2} = 1246 \text{ Pa}$$

$$p_{d3} = p_{d1} - (q_m / D_0) (r_1 + r_2)$$

$$p_{d3} = 1401 - (207 \cdot 10^{-6} / 0.67 \cdot 10^{-6}) \cdot (0.5 + 2.5) = 474 \text{ Pa}$$

$$p_{d4} = 320 \text{ Pa}$$

U donjoj tabeli su date temperature u zidu dobijene u prethodnom primjeru, parcijalni pritisci zasićene pare ( $p_d$ ) koji odgovaraju tim temperaturama (iz tabela za zasićenu vodenu paru ili iz krive ravnoteže koja daje vezu između pritiska i temperature ključanja) i izračunati parcijalni pritisci ( $p_d$ ).



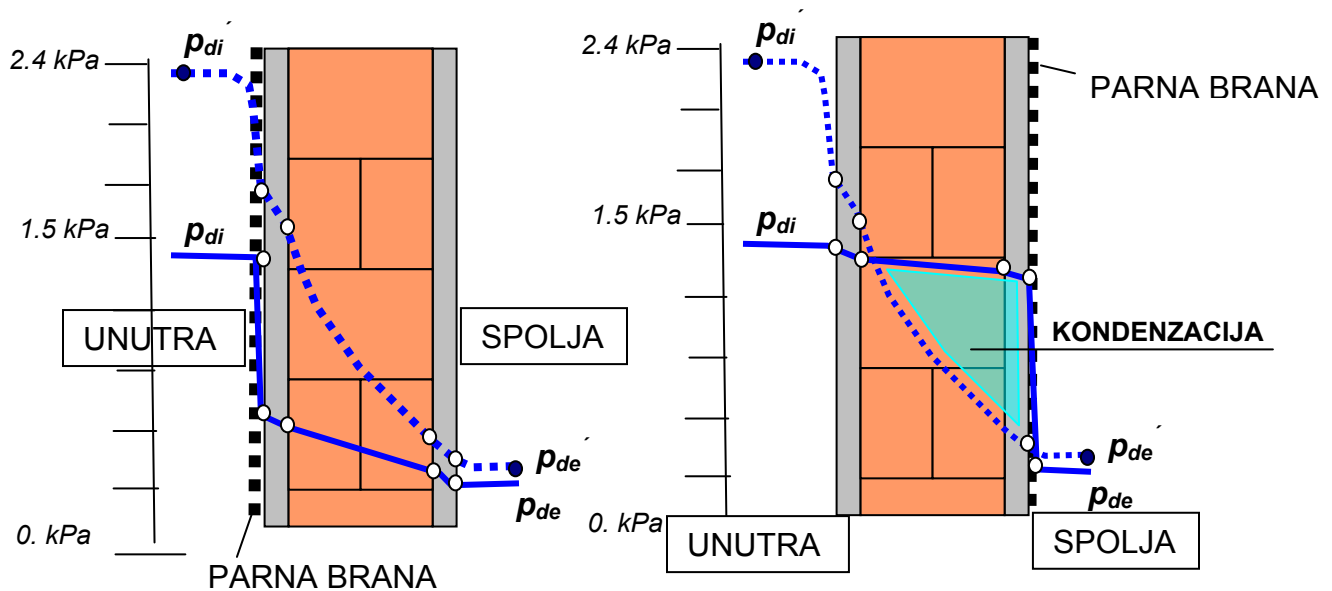
Pozicija	Unutra	1	2	3	4	Spolja
$t$ [C]	20	15.2	14	-2.3	-3.5	-5
$p_d$ [Pa]	2335	1720	1600	495	455	410
$p_d$ [Pa]	1401	1401	1246	474	320	320

Na gornjoj slici (lijevo) je dat profil dobijenih parcijalnih pritiska i pritiska zasićenja koji odgovaraju temperaturama u zidu. Temperaturno polje u zidu je

prava izlomljena linija. Međutim zbog svoje nelinearne prirode pritisak zasićenja koji odgovara toj pravoj liniji nije prava linija, odnosno ima „trbuh“. Sa druge strane polje parcijalnog pritiska u zidu je linearno (prava linija), pa postoji opasnost da „trbuh“ zasićenja presiječe pravu liniju. Tada to znači da je parcijalni pritisak pare u zidu veći od pritiska zasićenja, pa u tom slučaju dolazi do kondenzacije.

### b. Neizolovani zid-parna brana

Da bi izbjegli problem kondenzacije, postavlja se parna brana, odnosno sloj koji slabo propušta vodenu paru. Kako parna brana predstavlja veliki otpor difuziji to u njoj dolazi do snažnog pada parcijalnog pritiska. Posmatrajmo 2 slučaja: parna brana na unutrašnjoj (toploj) površini zida (slika lijevo) i parna brana na spoljašnjoj (hladnoj) površini zida (slika desno).



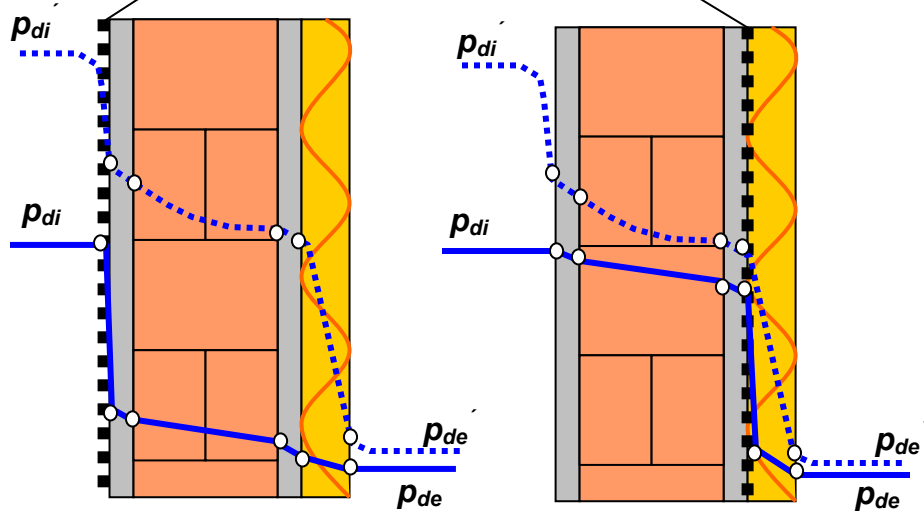
Očigledno je da je „desni“ slučaj (parna brana na hladnoj površini) nepovoljniji jer će doći do kondenzacije u zidu.

### c. Izolovani zid-parna brana

Posmatrajmo sada isti zid kod koga je toplotna izolacija postavljena na spoljašnjoj „hladnoj“ strani. Polje pritiska pare u zidu i polje zasićenog pritiska koji je dobijen na osnovu temperaturskog polja u zidu, imaju kvalitativno izgled kao na slikama-dolje.

Očigledno je da parna brana na unutrašnjoj strani rešava u potpunosti problem kondenzacije (slika lijevo), mada se slično dobija i kada je brana postavljena kao na slici desno.

PARNA BRANA



## Zasićena Voda-Para

Temperat Pritisak  
C zasićenja  
kPa

### KRIVA NAPONA

## Tabela termodinamičkih veličina

		Spec. zapremina		Unutraš. energija		Enthalpija		Entropija	
		$m^3/kg$		$kJ/kg$		$kJ/kg$		$kJ/kg \cdot K$	
		Zasićena tečnost	Zasićena para	Zasićena tečnost	Zasićena para	Zasićena tečnost	Zasićena para	Zasićena tečnost	Zasićena para
$t$	$p$	$v'$	$v''$	$u'$	$u''$	$h'$	$h''$	$s'$	$s''$
0.01	0.6113	0.001000	206.14	0.00	2375.3	0.00	2501.4	0.0000	9.1562
5	0.8721	0.001000	147.12	20.97	2382.3	20.98	2510.6	0.0761	9.0257
10	1.2276	0.001000	106.38	42.00	2389.2	42.01	2519.8	0.1510	8.9008
15	1.7051	0.001001	77.93	62.99	2396.1	62.99	2528.9	0.2245	8.7814
20	2.339	0.001002	57.79	83.95	2402.9	83.96	2538.1	0.2966	8.6672
25	3.169	0.001003	43.36	104.88	2409.8	104.89	2547.2	0.3674	8.5580
30	4.246	0.001004	32.89	125.78	2416.6	125.79	2556.3	0.4369	8.4533
35	5.628	0.001006	25.22	146.67	2423.4	146.68	2565.3	0.5053	8.3531
40	7.384	0.001008	19.52	167.56	2430.1	167.57	2574.3	0.5725	8.2570
45	9.593	0.001010	15.26	188.44	2436.8	188.45	2583.2	0.6387	8.1648
50	12.349	0.001012	12.03	209.32	2443.5	209.33	2592.1	0.7038	8.0763
55	15.758	0.001015	9.568	230.21	2450.1	230.23	2600.9	0.7679	7.9913
60	19.940	0.001017	7.671	251.11	2456.6	251.13	2609.6	0.8312	7.9096
65	25.03	0.001020	6.197	272.02	2463.1	272.06	2618.3	0.8935	7.8310
70	31.19	0.001023	5.042	292.95	2469.6	292.98	2626.8	0.9549	7.7553
75	38.58	0.001026	4.131	313.90	2475.9	313.93	2643.7	1.0155	7.6824
80	47.39	0.001029	3.407	334.86	2482.2	334.91	2635.3	1.0753	7.6122
85	57.83	0.001033	2.828	355.84	2488.4	355.90	2651.9	1.1343	7.5445
90	70.14	0.001036	2.361	376.85	2494.5	376.92	2660.1	1.1925	7.4791
95	84.55	0.001040	1.982	397.88	2500.6	397.96	2668.1	1.2500	7.4159
100	101.35	0.001044	1.6729	418.94	2506.5	419.04	2676.1	1.3069	7.3549
105	120.82	0.001048	1.4194	440.02	2512.4	440.15	2683.8	1.3630	7.2958
110	143.27	0.001052	1.2102	461.14	2518.1	461.30	2691.5	1.4185	7.2387
115	169.06	0.001056	1.0366	482.30	2523.7	482.48	2699.0	1.4734	7.1833
120	198.53	0.001060	0.8919	503.50	2529.3	503.71	2706.3	1.5276	7.1296
125	232.1	0.001065	0.7706	524.74	2534.6	524.99	2713.5	1.5813	7.0775
130	270.1	0.001070	0.6685	546.02	2539.9	546.31	2720.5	1.6344	7.0269
135	313.0	0.001075	0.5822	567.35	2545.0	567.69	2727.3	1.6870	6.9777
140	361.3	0.001080	0.5089	588.74	2550.0	589.13	2733.9	1.7391	6.9299
145	415.4	0.001085	0.4463	610.18	2554.9	610.63	2740.3	1.7907	6.8833
150	475.8	0.001091	0.3928	631.68	2559.5	632.20	2746.5	1.8418	6.8379
155	543.1	0.001096	0.3468	653.24	2564.1	653.84	2752.4	1.8925	6.7935
160	617.8	0.001102	0.3071	674.87	2568.4	675.55	2758.1	1.9427	6.7502
165	700.5	0.001108	0.2727	696.56	2572.5	697.34	2763.5	1.9925	6.7078
170	791.7	0.001114	0.2428	718.33	2576.5	719.21	2768.7	2.0419	6.6663
175	892.0	0.001121	0.2168	740.17	2580.2	741.17	2773.6	2.0909	6.6256

Temperat C	Pritisak kPa	Spec. zapremina m <sup>3</sup> /kg		Unutraš. energija kJ/kg		Enthalpija kJ/kg		Entropija kJ/kg*K	
<i>t</i>	<i>p</i>	<i>v'</i>	<i>v''</i>	<i>u'</i>	<i>u''</i>	<i>h'</i>	<i>h''</i>	<i>s'</i>	<i>s''</i>
180	1002.1	0.001127	0.19405	762.09	2583.7	763.22	2778.2	2.1396	6.5857
185	1122.7	0.001134	0.17409	784.10	2587.0	785.37	2782.4	2.1879	6.5465
190	1254.4	0.001141	0.15654	806.19	2590.0	807.62	2786.4	2.2359	6.5079
195	1397.8	0.001149	0.14105	828.37	2592.8	829.98	2790.0	2.2835	6.4698
200	1553.8	0.001157	0.12736	850.65	2595.3	852.45	2793.2	2.3309	6.4323
205	1723.0	0.001164	0.11521	873.04	2597.5	875.04	2796.0	2.3780	6.3952
210	1906.2	0.001173	0.10441	895.53	2599.5	897.76	2798.5	2.4248	6.3585
215	2104.	0.001181	0.09479	918.14	2601.1	920.62	2800.5	2.4714	6.3221
220	2318.	0.001190	0.08619	940.87	2602.4	943.62	2802.1	2.5178	6.2861
225	2548.	0.001199	0.07849	963.73	2603.3	966.78	2803.3	2.5639	6.2503
230	2795.	0.001209	0.07158	986.74	2603.9	990.12	2804.0	2.6099	6.2146
235	3060.	0.001219	0.06537	1009.89	2604.1	1013.62	2804.2	2.6558	6.1791
240	3344.	0.001229	0.05976	1033.21	2604.0	1037.32	2803.8	2.7015	6.1437
245	3648.	0.001240	0.05471	1056.71	2603.4	1061.23	2803.0	2.7472	6.1083
250	3973.	0.001251	0.05013	1080.39	2602.4	1085.36	2801.5	2.7927	6.0730
255	4319.	0.001263	0.04598	1104.28	2600.9	1109.73	2799.5	2.8383	6.0375
260	4688.	0.001276	0.04221	1128.39	2599.0	1134.37	2796.9	2.8838	6.0019
265	5081.	0.001289	0.03877	1152.74	2596.6	1159.28	2793.6	2.9294	5.9662
270	5499.	0.001302	0.03564	1177.36	2593.7	1184.51	2789.7	2.9751	5.9301
275	5942.	0.001317	0.03279	1202.25	2590.2	1210.07	2785.0	3.0208	5.8938
280	6412.	0.001332	0.03017	1227.46	2586.1	1235.99	2779.6	3.0668	5.8571
285	6909.	0.001348	0.02777	1253.00	2581.4	1262.31	2773.3	3.1130	5.8199
290	7436.	0.001366	0.02557	1278.92	2576.0	1289.07	2766.2	3.1594	5.7821
295	7993.	0.001384	0.02354	1305.20	2569.9	1316.30	2758.1	3.2062	5.7437
300	8581.	0.001404	0.02167	1332.00	2563.0	1344.00	2749.0	3.2534	5.7045
305	9202.	0.001425	0.019948	1359.30	2555.2	1372.40	2738.7	3.3010	5.6643
310	9856.	0.001447	0.018350	1387.10	2546.4	1401.30	2727.3	3.3493	5.6230
315	10547.	0.001472	0.016867	1415.50	2536.6	1431.00	2714.5	3.3982	5.5804
320	11274.	0.001499	0.015488	1444.60	2525.5	1461.50	2700.1	3.4480	5.5362
330	12845.	0.001561	0.012996	1505.30	2498.9	1525.30	2665.9	3.5507	5.4417
340	14586.	0.001638	0.010797	1570.30	2464.6	1594.20	2622.0	3.6594	5.3357
350	16513.	0.001740	0.008813	1641.90	2418.4	1670.60	2563.9	3.7777	5.2112
360	18651.	0.001893	0.006945	1725.20	2351.5	1760.50	2481.0	3.9147	5.0526
370	21030.	0.002213	0.004925	1844.00	2228.5	1890.50	2332.1	4.1106	4.7971
374.14	22090.	0.003155	0.003155	2029.60	2029.6	2099.30	2099.3	4.4298	4.4298

**KRIVA NAPONA**

**Koeficijenta toplotne provodljivosti,  $\lambda$  [ $W/(m \cdot K)$ ], i približne vrijednosti faktora otpora difuziji vodene pare,  $\mu$  (-)**

Redni broj	Građevinski materijal	Gustina $\rho$ $kg/m^3$	Koeficijent toplotne provodljivosti $\lambda$ $W/(m \cdot K)$	Specifična toplota $c_p$ $J/(kg \cdot K)$	Faktor otpora difuziji vodene pare $\mu$
<b>1.</b>	<b>ZIDOVI</b>				
1.01	puna opeka od gline	1800	0.81	900	5/10
1.02	puna opeka od gline	1600	0.68	900	5/10
1.03	klinker opeka	1900	0.85	800	50/100
1.04	klinker opeka	1700	0.80	800	50/100
1.05	puna fasadna opeka od gline	1800	0.83	900	5/10
1.06	puna fasadna opeka od gline	1600	0.70	900	5/10
1.07	šuplja fasadna opeka od gline	1200	0.55	900	5/10
1.08	šuplji blokovi od gline	1100	0.48	900	5/10
1.09	šuplji blokovi od gline	1000	0.45	900	5/10
1.10	šuplji blokovi od gline	900	0.42	900	5/10
1.11	šuplji blokovi od gline	800	0.39	900	5/10
1.12	puna krečno silikatna opeka	1800	0.99	900	15/25
1.13	puna krečno silikatna opeka	1600	0.79	900	15/25
1.14	krečno silikatni šuplji blokovi	1200	0.56	900	15/25
1.15	prirodni kamen	2000	1.40	1000	50
1.16	šuplji blokovi od betona	1000	0.70	1000	5/15
1.17	šuplji blokovi od betona	1200	0.80	1000	5/15
1.18	šuplji blokovi od betona	1400	0.90	1000	20/30
1.19	šuplji blokovi od betona	1600	1.10	1000	20/30
1.20	šuplji blokovi od betona	1800	1.20	1000	20/30
1.21	šuplji blokovi od betona	2000	1.40	1000	20/30
1.22	šuplji blokovi od laganog betona	500	0.30	1000	5/10
1.23	šuplji blokovi od laganog betona	700	0.37	1000	5/10
1.24	šuplji blokovi od laganog betona	900	0.46	1000	5/10
1.25	šuplji blokovi od laganog betona	1000	0.52	1000	5/10
1.26	šuplji blokovi od laganog	1200	0.60	1000	5/10

	betona				
1.27	šuplji blokovi od laganog betona	1400	0.72	1000	5/10
<b>2.</b>	<b>BETON I ARMIRANI BETON</b>				
2.01	armirani beton	2500	2.60	1000	80/130
2.02	teški beton	3200	2.60	1000	80/130
2.03	beton	2400	2.00	1000	80/130
2.04	beton	2200	1.65	1000	70/120
2.05	beton	2000	1.35	1000	60/100
2.06	beton sa lakim agregatom	2000	1.35	1000	60/100
2.07	beton sa lakim agregatom	1800	1.30	1000	60/100
2.08	beton sa lakim agregatom	1600	1.00	1000	60/100
2.09	beton sa lakim agregatom	1500	0.89	1000	60/100
2.10	beton sa lakim agregatom	1400	0.79	1000	60/100
2.11	beton sa lakim agregatom	1300	0.70	1000	60/100
2.12	beton sa lakim agregatom	1200	0.62	1000	60/100
2.13	beton sa lakim agregatom	1100	0.55	1000	60/100
2.14	beton sa lakim agregatom	1000	0.49	1000	60/100
2.15	beton sa lakim agregatom	900	0.44	1000	60/100
2.16	beton sa lakim agregatom	800	0.39	1000	60/100
2.17	gasbeton	1000	0.31	1000	6/10
2.18	gasbeton	900	0.29	1000	6/10
2.19	gasbeton	800	0.25	1000	6/10
2.20	gasbeton	750	0.24	1000	6/10
2.21	gasbeton	700	0.22	1000	6/10
2.22	gasbeton	650	0.21	1000	6/10
2.23	gasbeton	600	0.19	1000	6/10
2.24	gasbeton	550	0.18	1000	6/10
2.25	gasbeton	500	0.16	1000	6/10
2.26	gasbeton	450	0.15	1000	6/10
2.27	gasbeton	400	0.13	1000	6/10
2.28	gasbeton	350	0.11	1000	6/10
2.29	gasbeton	300	0.10	1000	6/10
2.30	beton s jednozrnim šljunkom	2000	1.40	1000	60/100
2.31	beton s jednozrnim šljunkom	1800	1.10	1000	60/100
2.32	beton s jednozrnim šljunkom	1600	0.81	1000	60/100
<b>3.</b>	<b>MALTERI, ESTRISI</b>				
3.01	cementni malter	2000	1.60	1000	15/35
3.02	Krečni malter	1600	0.80	1000	6/10



3.03	krečno-cementni malter	1800	1.00	1000	15/35
3.04	Krečno-gipsani malter	1400	0.70	1000	6/10
3.05	gipsani malter	1500	0.54	1000	6/10
3.06	gipsani malter	1400	0.51	1000	6/10
3.07	gipsani malter	1300	0.47	1000	6/10
3.08	gipsani malter	1200	0.43	1000	6/10
3.09	laki malter	1300	0.56	1000	15/20
3.10	laki malter	1000	0.38	1000	15/20
3.11	laki malter	700	0.25	1000	15/20
3.12	termo-izolacioni malter	400	0.11	1000	5/20
3.13	termo-izolacioni malter	250	0.08	1000	5/20
3.14	sanacioni malter	1400	0.65	1000	6/15
3.15	polimerni malter	1100	0.70	1000	50/200
3.16	silikatni malter	1800	0.90	1000	50/70
3.17	malter na bazi akrilata	1700	0.90	1000	100/150
3.18	Cementni malter	2000	1.60	1000	15/35
3.19	cementni estrih	2000	1.60	1100	50
3.20	anhidrit estrih	2100	1.20	1000	15/35
3.22	magnezitni estrih	2300	0.70	1000	15/35
<b>4.</b>	<b>PODNE, ZIDNE I PLAFONSKE OBLOGE</b>				
4.01	gipskartonske ploče	900	0.25	900	8
4.02	gipsane ploče sa dodatkom celuloznih vlakana	1300	0.38	1000	10/15
4.03	keramičke pločice	2300	1.30	840	200
4.04	kamene ploče	2500	2.80	1000	40/200
4.05	drvo	550	0.15	2000	50/70
<b>5.</b>	<b>HIDROIZOLACIONI MATERIJALI, PARNE BRANE</b>				
5.01	bitumenska traka sa uloškom staklenog voala	1100	0.23	1000	50000
5.02	bitumenska traka sa uloškom staklene tkanine	1100	0.23	1000	50000
5.03	bitumenska traka sa uloškom poliesterskog filca	1100	0.23	1000	50000
5.04	bitumenska traka sa uloškom krovnog kartona	1100	0.23	1000	50000
5.05	polimerna hidroizolaciona traka na bazi PVC-P	1200	0.14	1000	100000
5.06	polimerna hidroizolaciona traka na bazi PIB	1600	0.26	960	300000

5.07	polimerna hidroizolaciona traka na bazi CR	1300	0.23	1000	100000
5.08	polimerna hidroizolaciona traka na bazi VAE	1300	0.14	1000	20000
<b>6.</b>	<b>RASTRESITI MATERIJALI ZA NASIPANJE</b>				
6.01	ekspandirani perlit	≤ 100	0.060	1000	3
6.02	lomljena ekspandirana pluta	≤ 200	0.055	1300	3
6.03	lomljena opeke od gline	≤ 800	0.41	900	3
6.04	pijesak, šljunak, tucanik (drobljeni)	≤ 1700	0.81	1000	3
<b>7.</b>	<b>TOPLOTNO – IZOLACIONI MATERIJALI</b>				
7.01	mineralna vuna (MW) prema EN 13162	10 do 200	0.035 do 0.050	1030	1
7.02	ekspandirani polistiren (EPS) prema EN 13163	15 do 30	0.035 do 0.040	1450	60
7.03	ekstrudirana polistirenska pjena (XPS) prema EN 13164	≥ 25	0.030 do 0.040	1450	150
7.04	tvrda poliuretanska pjena (PUR) prema EN 13165	≥ 30	0.020 do 0.040	1400	60
7.05	fenolna pjena (PF) prema EN 13166	≥ 30	0.030 do 0.045	1400	50
7.06	penasto staklo (CG) prema EN 13167	100 do 150	0.045 do 0.060	1000	∞
7.07	drvena vuna (WW) prema EN 13168	360 do 460	0.065 do 0.09	1470	3/5
7.08	drvena vuna (WW) prema EN 13168, debljina ploča 15 mm ≤ d ≤ 25 mm	550	0.150	1470	4/8
7.09	ekspandirait (EPB) prema EN 13169	140 do 240	0.040 do 0.065	900	5
7.10	ekspandirana pluta (ICB) prema EN 13170	80 do 500	0.045 do 0.055	1560	5/10
7.11	drvena vlakna (WF) prema EN 13171	110 do 450	0.035 do 0.070	1400	5/10

**Faktor propustljivosti**  
 ukupne energije kroz zastakljenje  
 $g_{\perp}$  (-), za slučaj normalnog upada solarnog zračenja

Redni broj	Tip zastakljenja	$g_{\perp}$
1.	Jednostruko staklo (bezbojno, ravno float staklo)	0.87
2.	Dvostruko izolirajuće staklo (sa jednim međuslojem vazduha)	0.80
3.	Trostruko izolirajuće staklo (sa dva međusloja vazduha)	0.70
4.	Dvostruko izolirajuće staklo sa jednim staklom niske emisije (Low-E obloga)	0.60
5.	Trostruko izolirajuće staklo sa dva stakla niske emisije (dvije Low-E obloge)	0.50
6.	Dvostruko izolirajuće staklo sa staklom za zaštitu od solarnog zračenja	0.50
7.	Staklena opeka	0.60

**Faktor umanjenja uređaja za zaštitu od solarnog zračenja,  $F_c$  (-)**

Redni broj	Uređaj za zaštitu od sol. zračenja	$F_c$ (-)
1.	<b>Bez uređaja za zaštitu od sol. zračenja</b>	1.0
2	<b>Uređaj sa unutrašnje strane ili između stakala</b>	
2.1	– bijele ili reflektirajuće površine i male transparentnosti <sup>a)</sup>	0.75
2.2	– svijetle boje ili male transparentnosti	0.80
2.3	– tamne boje ili povećane transparentnosti	0.90
3	<b>Uređaj sa spoljne strane</b>	
3.1	žaluzine, lamele koje se mogu okretati, otpozadi provjetravano	0.25
3.2	– žaluzine, roletne, kapci (škure, grile)	0.30
4.	<b>Strehe, lođe<sup>b)</sup></b>	0.50
5.	<b>Markize, gore i bočno provjetravane<sup>b)</sup></b>	0.40

<sup>a)</sup> Transparentnost uređaja za zaštitu od solarnog zračenja manja od 15% smatra se malom, a transparentnost u iznosu 15% ili većem smatra se povećanom.  
<sup>b)</sup> Navedena vrijednost primjenjuje se za slučaj kad je spriječeno direktno osunčanje prozora.