

## 1. Izbor zastakljenja

Projektant se odlučio za dvostruko zastakljenje na južnoj strani objekta u Podgorici. Dilema je: da li da koristi obično termo-pan zastakljenje ( $U=3.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\perp}=0.8$ ) ili low E ( $U=1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\perp}=0.6$ ). Obije varijante su sa žaluzinama.

Projektant je u dilemi zbog sledećeg rezona:

- kod termo-pan varijante zimi su veći gubici ali su veći toplotni solarni dobiti;
- u low E varijanti manji su gubici ali i solarni dobiti.
- uzima da su žaluzine u oba slučaja dovoljna zaštita od Sunca u smislu hladjenja.

Mjesto	Zona I - Podgorica											
Grejna sezona	Start: 15 Oct						Stop: 15 Apr					
Mjesec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Broj Grej. Dana=	181											
Broj Rashl. Dana=	138											
Projektna spoljna temperatura	-6 °C											
Grejni dani	31	28	31	15	0	0	0	0	0	15	30	31
Srednja temp [C]	5.5	6.5	10	13.8	19.8	24.5	26.7	26.5	20.7	16	10.8	6.5
Rashladni dani	0	0	0	0	15	31	31	31	30	0	0	0
N_Sol Flux [W/m2]	24	32	44	58	75	86	84	64	51	37	26	21
E_Solar_Flux	52	70	98	123	156	169	178	165	127	92	67	40
S_Solar_Flux	137	133	152	143	130	120	132	157	179	169	171	126
W_Solar_Flux	56	66	96	133	150	165	179	158	132	92	71	55
Hor_Solar_Flux	76	102	156	210	267	293	305	272	206	139	95	65
Relativna vlažn. %	72	68	65	66	63	60	52	52	62	68	75	74
ΔTd [°C]	5.8	7.6	7.5	5.6	6.8	4.4	4.8	7.9	7.2	6	6.4	4.3
Aps. Vlaž. X [grikg]	4	4.1	5.3	6.5	9.5	12	11.5	11.5	9.75	7.75	6.5	4.5

Grejna sezona traje od 15. Okt. do 15. Apr., pa uzimajući srednju spoljnu temperaturu i odgovarajući broj dana po mjesecima imamo gubitke:

$Q_L = \sum U \cdot (t_i - t_e) \cdot \tau = U \cdot \sum (t_i - t_e) \cdot N_{dan} \cdot 24/1000 = U \cdot HDD \cdot 0.024 \text{ [kWh]}$ , gdje je *HDD* broj grejnih stepen dana. Tako je

$$Q_L = U \cdot 0.024 \cdot [16 \cdot (20 - 16) + 30 \cdot (20 - 10.8) + 31 \cdot (20 - 6.5) + 31 \cdot (20 - 5.5) + 28 \cdot (20 - 6.5) + 31 \cdot (20 - 10) + 15 \cdot (20 - 13.8)] = 0.024 \cdot U \cdot 1989 = 48 \cdot U \text{ [kWh/m}^2\text{]}.$$

Prema tome, toplotni gubici su:

$$\text{Termo-pan} \quad Q_{L1} = 48 \cdot 3.5 = 168 \text{ kWh/m}^2,$$

$$\text{Low E} \quad Q_{L2} = 48 \cdot 1.2 = 58 \text{ kWh/m}^2.$$

$$\text{Razlika } \Delta Q_L = 168 - 58 = 110 \text{ kWh}$$

Toplotni solarni dobiti su:

$Q_{Sol} \text{ [kWh]} = \sum g_{tot} \cdot I_{Sol} \cdot \tau = g_{tot} \cdot \sum I_{Sol} \cdot N_{dan} \cdot 24/1000 = 0.024 \cdot g_{tot} \cdot \sum I_{Sol} \cdot N_{dan}$ , gdje se solarni fluks iz tabele množi sa 24 h jer je u tabeli osrednjen kao srednje zračenje tokom 24 h (dan i noć). Prema tome imamo:

$$Q_{Sol} = 0.024 \cdot g_{tot} \cdot (16 \cdot 169 + 30 \cdot 171 + 31 \cdot 126 + 31 \cdot 137 + 28 \cdot 133 + 31 \cdot 152 + 15 \cdot 143)$$

$$Q_{Sol} = 0.024 \cdot g_{tot} \cdot 26568 = g_{tot} \cdot 638 = F_W \cdot F_C \cdot g_{\perp} \cdot 638 = 0.9 \cdot 1 \cdot 638 \cdot g_{\perp} = 573 \cdot g_{\perp},$$

gdje je faktor ugla  $F_W=0.9$ , a faktor zasjenčenja  $F_C=1$  jer su žaluzine zimi podignute.

Prema tome solarni dobitci su:

$$\begin{aligned} \text{Termo-pan} & \quad Q_{Sol1}=573 \cdot 0.8=458 \text{ kWh/m}^2, \\ \text{Low E} & \quad Q_{Sol2}=573 \cdot 0.6=344 \text{ kWh/m}^2. \end{aligned}$$

Razlika  $\Delta Q_{Sol}=458-344=114 \text{ kWh}$  je u korist termo-pan zastakljenja.

Dakle, dodatna energija za grijanje iznosi za

$$\text{termo-pan staklo} \quad Q_{H1}=168-458= -290 \text{ kWh}$$

$$\text{low E staklo} \quad Q_{H2}= 58-344= -286 \text{ kWh}.$$

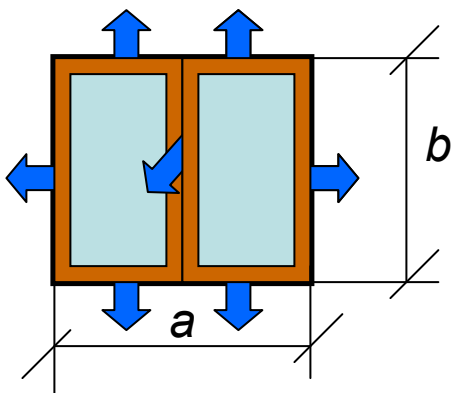
Vidimo da sa energetske tačke gledišta, obje varijante

- imaju veće dobitke nego gubitke toplote,
- su približno istog kvaliteta.

Medjutim ovo je samo jedan orijentacioni rezultat jer nije uzet u obzir koeficijent iskorišćenja toplotnih dobitaka. Za to je potrebno poznavanje integralnog ponašanja objekta kako u grejnom, tako i rashladnom periodu.

## 2. Blower Door test – klasa prozora

U laboratoriji se Blower Door testom ispituje prozor, odnosno određuje se njegova klasa propustljivosti. U tvrdjeno je sledeće: dužina fuga prozora je  $L=6 \text{ m}$ . Protok vazduha pri kome je postignuta razlika pritiska od  $50 \text{ Pa}$  je  $V_h= 300 \text{ m}^3/\text{h}$ . Kojoj klasi pripada prozor?



Po definiciji koeficijent propusnosti ( $k$ ) je količina vazduha koja po  $1 \text{ m}$  fuge prodje za  $1 \text{ h}$  pri razlici pritiska od  $1 \text{ Pa}$ .

$$\dot{V}_h = Lk \Delta p^{2/3}$$

$$k \left[ (\text{m}^3 / \text{h}) / (\text{mPa}^{2/3}) \right] = \dot{V}_h / (L \Delta p^{2/3})$$

$$k = 150 / (6 \cdot 50^{0.66}) = 1.9 (\text{m}^3 / \text{h}) / (\text{mPa}^{2/3}).$$

Prozor pripada **klasi 2**, jer je za **klasu 2** je  $k_2=2 \text{ m}^3 / (\text{mhPa}^{2/3})$ .

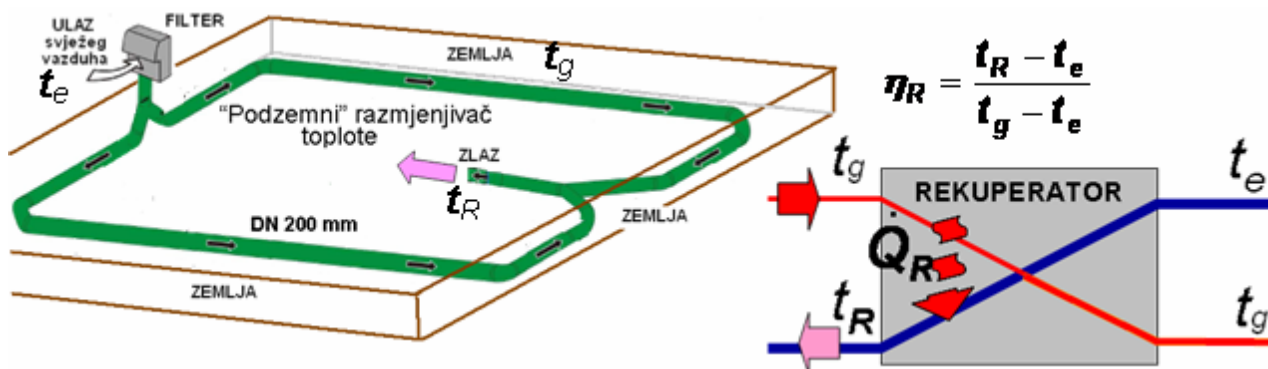
## 3. Rekuperacija – izlazna temperatura

Nekada se kao razmjenjivač toplote (rekuperator) koriste cijevi zakopane u zemlji na dubinu  $2 \text{ m}$  kroz koje prolazi vazduh i uzima toplotu od zemlje (neka vrsta rekuperacije). Efikasnost ovoga svojevrsnog zemljanog rekuperatora je

oko  $\eta_R = 20\%$ . Kolika je temperatura vazduha na izlazu iz cijevi ako je na ulazu  $t_e = 0\text{ C}$  i ako je temperatura zemlje na dubini na kojoj su cijevi  $t_g = 10\text{ C}$ ?

Ovaj slučaj tretiramo kao rekuperator kod koga je zemlja drugi „fluid“ koji od ulaza do izlaza ne mijenja temperaturu ( $t_g$ ). Jasno je da u slučaju maksimalne efikasnosti rekuperatora od  $100\%$ , vazduh bi na izlazu imao temperaturu zemlje.

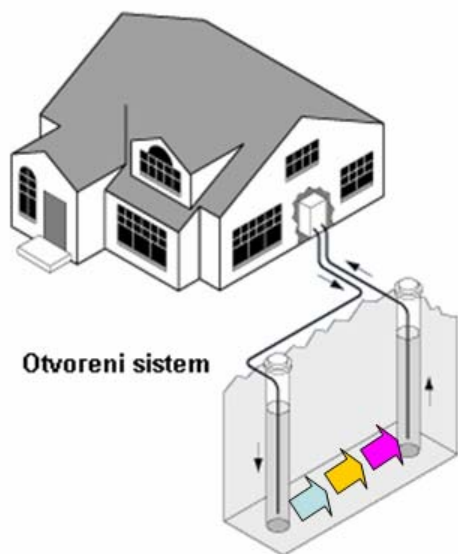
Dakle iz izraza za efikasnost rekuperatora može se odrediti temperatura



izlaznog vazduha  $t_R = t_e + \eta_R(t_g - t_e) = 0 + 0.2(10 - 0) = 2\text{ C}$ .

#### 4. Toplotna pumša – otvoreni sistem

Kao geotermalni izvor toplote za toplotne pumpe nekada se koristi „otvorena“ cirkulaciona petlja: iz jedne bušotine se uzima voda, vodi se u isparivač topl. pumpe, oduzima joj se toplota, a onda se vraća u drugu bušotinu. Bušotine nisu povezane već voda struji kroz tlo između bušotina i uzima toplotu zemlji. Smatra se ekološki prihvatljivo da se voda pri prolazu kroz isparivač ohladi za  $2\text{ C}$  do  $5\text{ C}$  i takva se vraća u bušotinu. Računajmo sa promjenom od  $2\text{ C}$ .



Odrediti protok vode koju treba ispumpavati/upumpavati iz/u bušotine ako toplotna pumpa ima  $COP=3$ , a potrebna grejna snaga instalacije je  $Q_H = 250\text{ kW}$ .

Po definiciji koeficijent efikasnosti toplotne pumpe je jednak količniku

između grejnog fluksa koji daje TP ( $\dot{Q}_H$ ) i električne snage potrebne za njen pogon ( $P_{el}$ ), tj.

$$COP = \frac{\dot{Q}_H}{P_{el}}$$

Sa druge strane iz uslova da je dovedeni toplotni fluks (el. energija- $P_{el}$  i toplota uzeta zemlji  $\dot{Q}_g$ ) jednaka grejnom fluksu  $\dot{Q}_H$ ), odnosno

$$\dot{Q}_H = P_{el} + \dot{Q}_g, \dot{Q}_H = \frac{\dot{Q}_H}{COP} + \dot{Q}_g$$

imamo da je

$$\dot{Q}_g = \dot{Q}_H \left(1 - \frac{1}{COP}\right) = 250 \left(1 - \frac{1}{3}\right) = 167 \text{ kW}$$

Dakle ovo je toplota koju voda „donosi“ iz zemlje. Pri tome treba da se temperatura vode poveća samo za  $\Delta t_w = 2$  C. Prema tome protok vode se određuje iz izraza za toplotni fluks koji voda prima/odaje:

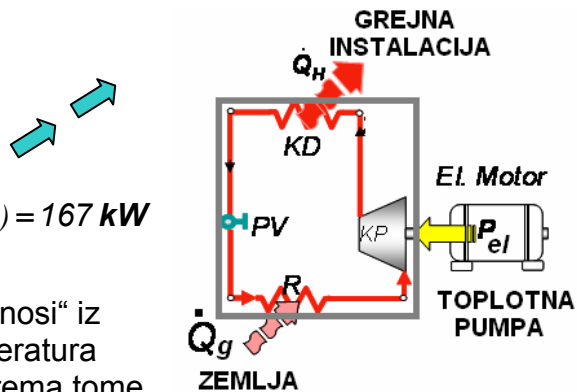
$$\dot{Q}_g = \dot{m}_w c_w \Delta t_w, \dot{m}_w = \frac{\dot{Q}_g}{c_w \Delta t_w} = \frac{167 \cdot 10^3}{4187 \cdot 2} = 20 \text{ kg/s}$$

5. Rashladni uređaj – efikasnost EER

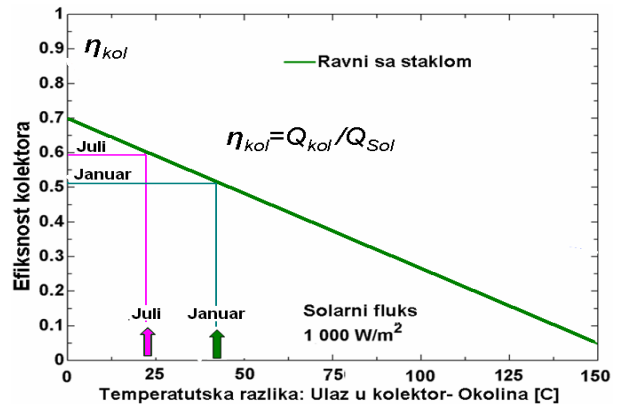
Kolika je potrošnja električne energije za hlađenje ako je efikasnost rashladnog uređaja  $EER = 2.5$  i ako je izračunata potrebna količina „rashladne“ energije tokom sezone  $Q_C = 150\,000 \text{ kWh}$ .

Po definiciji je efikasnost rashladnog uređaja definisana sa  $EER = \frac{\dot{Q}_C}{P_{el}} = \frac{Q_C}{E_{el}}$ .

Prema tome  $E_{el} = \frac{Q_C}{EER} = \frac{150\,000}{2.5} = 60\,000 \text{ kWh}$ .



6. Solarni kolektor - efikasnost  
 Odrediti efikasnost ravnog pločastog kolektora u Podgorici u Julu i Januaru. Temperatura vode u bojleru iz koga voda ulazi u kolektor je 50 C. Za procjenu efikasnosti može poslužiti dati dijagram. Iako je dat za slučaj kada je maksimalni intezitet solarnog fluksa  $1000 \text{ W/m}^2$ , on može poslužiti jer se ovaj fluks tokom godine ne mijenja drastično.



Na apcisi je razlika temperatura ulazne vode u kolektor i spoljne temperature vazduha. U kllimatskoj zoni I (Podgorica) u Julu je  $t_e=26.7 \text{ C}$  a u Januaru  $t_e=5.5 \text{ C}$ . U skladu sa tim razlike temperatura na apcisi su:

Januar  $50-5.5=44.5 \text{ C}$ ,  $\eta_{kol}=0.6$

Jul  $50-26.7=23.3 \text{ C}$ ,  $\eta_{kol}=0.51$ .

## 7. Rasvjeta

U kancelarijama je potrebno ostvariti  $J= 400 \text{ lx}$ . Koju nominalnu el. snagu fluo osvetljenja ( $q_{it}^N [W/m^2]$ ) treba instalirati? Kolika je godišnja potrošnja el. energije ( $E_{it} [kWh/g]$ ) ako je rasvjeta aktivirana radnim danima  $T_{ON}^{dan} = 4 \text{ h/dan}$ ?

Podaci:  $CU=0.6$ ,  $\eta_l=60 \text{ lm/W}$ ,  $BF=0.8$ .

Jačina osvetljenja je po definiciji

$$J [lx]=q_{it}^N * \eta_l * BF * CU, q_{it}^N = J / (\eta_l * BF * CU) = 400 / (60 * 0.8 * 0.6) = 14 \text{ W/m}^2.$$

Stvarna instalisana snaga ( $q_{it}$ ) je manja od nominalne ( $q_{it}^N$ ) za 20 % jer je balast faktor  $BF=0.8$ , tj.  $q_{it} = BF * q_{it}^N$ .

Uzmimo da su neradni dani dani samo dani vikenda (zanemarimo praznike). Broj neradnih dana tokom godine je dakle broj nedelja pomnoženih sa dva, tj.  $52*2=104$  dana. Prema tome, broj radnih dana je

$$N_{Rd}=365-104=261 \text{ dan}.$$

Utrošena energija tokom godine je:

$$E_{it}^* [kWh/m^2] = (q_{it} / 1000) * T_{ON} = (BF * q_{it}^N / 1000) * T_{ON}^{dan} * N_{Rd}$$

$$E_{it}^* [kWh/m^2] = (0.8 * 14 / 1000) * 4 * 261 = 11.7.$$

### 8. Primarna energija

Godišnja potrošnja tople vode temperature 60 C je 50 l/dan/osobi. Voda se zagrijava od početne temperature 10 C . Odrediti utrošenu primarnu energiju na nivou godine za slučaj da se voda zagrijava pomoću električne energije (efikasnost sistema 0.9) i sagorijevanjem biomase (efikasnost sistema 0.65).

Potrebna količina toplote

$$Q_{W,n} = m_W c_W \Delta t_W = 50 \cdot 365 \cdot 4180 \cdot (60 - 10) / 3.610^6 = 1060 \text{ kWh/g/osobi.}$$

Isporučena količina energije

$$E_{W,Del} = Q_{W,n} / \eta_H ,$$

Primarna energija

$E_{W,Prim} = f_p E_{W,De} = f_p Q_{W,n} / \eta_H$  , gdje  $f_p$  predstavlja faktor primarne energije dat u tabeli..

FAKTORI KONVERZIJE  
u Primarnu energiju ( $f_p$ )

Gorivo	$f_{Pob}$	$f_P$
	Obnovljivo	Ukupno
Lož ulje	0	1.15
Gas	0	1.15
Lignit	0	1.15
Drrvo-cjepanice	1	1.15
Biomasa	1	1.1
Hidro-elektrane	1	1.5
Termo-elektrane	0	4.0
Električna energija /Termo (35%)&Hidro(65%)/	0.65	2.4

Iz tabele vidimo da je  $f_p$  za el. energiju 2.4 a za biomasu 1.1. Prema tome, utrošena primarna energija je za

Električnu struju  $E_{W,Prim} = 2.4 \cdot 1060 / 0.9 = 2827 \text{ kWh/g/osobi}$

Biomasu  $E_{W,Prim} = 1.1 \cdot 1060 / 0.65 = 1794 \text{ kWh/g/osobi.}$