

ENERGETSKE KARAKTERISTIKE ZGRADA PREMA EN ISO 13790

PREDAVANJE 5

Prof.dr Radmila Sinđić-Grebović

PRENOS TOPLOTE IZMEĐU GRIJANOG PROSTORA I TLA

EN ISO 13370

Proračun razmjene toplote transmisijom između grijanog prostora i tla

Proračun stacionarnog koeficijenta protoka toplote H_g

Proračun koeficijenta H_g za podove na tlu sa ivičnom izolacijom

Proračun koeficijenta U za podnu konstrukciju izdignutu od tla

Klimatski podaci za proračun transfera toplote prema tlu

Prema EN ISO 13370 za proračun transfera toplote transmisijom prema tlu koriste se sljedeći klimatski podaci:

- a) **Prosječna godišnja spoljašnja temperatura**
- b) **Ukoliko su uključene varijacije spoljašnje temperature, potrebna je amplituda varijacije srednje godišnje spoljašnje temperature; ova amplituda se definiše kao polovina razlike između maksimalne i minimalne vrijednosti prosječne temperature za svaki mjesec.**
- c) **Za uzdignute podove koji se prirodno ventilišu potrebna je brzina vjetra na visini 10 m iznad nivoa spoljašnjeg tla.**

Proračun razmjene toplote transmisijom između grijanog prostora i tla

Koeficijent transfera toplote preko tla, H_g , se proračunava prema EN ISO 13370.

Toplotni transfer preko tla može biti proračunat na godišnjem nivou koristeći samo stacionarni koeficijent transfera za tlo ili na sezonskom ili mjesečnom nivou koristeći dodatno periodične koeficijente kojima se uzima u račun toplotna inercija tla.

Ako se gubici toplote preko tla računaju samo aproksimativno, može se uzeti konstantna vrijednost protoka toplote preko tla na godišnjem nivou, jednaka stacionarnoj komponenti.

$$\bar{\Phi} = H_g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e)$$

$$H_g = \frac{\bar{\Phi}}{(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e)}$$

$\bar{\theta}_i$ – srednja godišnja unutrašnja temperatura

$\bar{\theta}_e$ – srednja godišnja vanjska temperatura

H_g – stacionarni koeficijent razmjene toplote prema tlu (W/K)

Mjesečni protok toplote kad se koriste mjesečne srednje temperature

Kad se proračun sprovodi na mjesečnom nivou koeficijent transmisijske razmjene toplote prema tlu $H_{g,m}$ (W/K) za proračunski mjesec iznosi:

$$H_{g,m} = \frac{\Phi_m}{\theta_{i,m} - \theta_{e,m}} \quad [1]$$

Φ_m – toplotni protok razmjene toplote sa tlu za proračunski mjesec (W)

$\theta_{i,m}$ – unutrašnja temperatura za proračunski mjesec

$\theta_{e,m}$ – srednja vanjska temperatura za proračunski mjesec

EN ISO 13370 predviđa metod za proračun transfera toplote na mjesečnom nivou, $H_{g,m}$, uzimajući u obzir toplotnu inerciju tla. Ovaj koeficijent može biti prikazan mjesečno u odnosu na prosječni godišnji koeficijent, H_g , koristeći korekcionni faktor b_m .

$$b_m = \frac{H_{g,m}}{H_g}$$

Za primjenu ove metode potrebno je poznavati srednje mjesečne temperature $\theta_{i,m}$ i $\theta_{e,m}$, a pri proračunu Φ_m uzeti u obzir i periodične promjene toplotnog transfera preko koeficijenata H_{pi} i H_{pe} .

Kad su poznate prosječne mjesečne unutrašnje i vanjske temperature mjesečni toplotni protok Φ_m se računa pomoću izraza:

$$\Phi_m = H_g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) - H_{pi} (\bar{\theta}_i - \theta_{i,m}) + H_{pe} (\bar{\theta}_e - \theta_{e,m}) \quad [2]$$

Gdje su:

H_g – stacionarni koeficijent razmjene toplote prema tlu (W/K)

H_{pi} – unutrašnji periodični koeficijent transmisijske razmjene toplote (W/K)

H_{pe} – vanjski periodični koeficijent transmisijske razmjene toplote (W/K)

$\bar{\theta}_i$ – srednja godišnja unutrašnja temperatura

$\bar{\theta}_e$ – srednja godišnja vanjska temperatura

$\theta_{i,m}$ – unutrašnja temperatura za proračunski mjesec m

$\theta_{e,m}$ – vanjska temperatura za proračunski mjesec m

m – mjesec od $m=1$ za januar do $m=12$ za decembar

Temperature $\theta_{i,m}$ i $\theta_{e,m}$ variraju sinusoidalno oko srednje godišnje vrijednosti na sljedeći način:

$$\theta_{i,m} = \bar{\theta}_i - \hat{\theta}_i \cos\left(2\pi \frac{m - \tau}{12}\right)$$

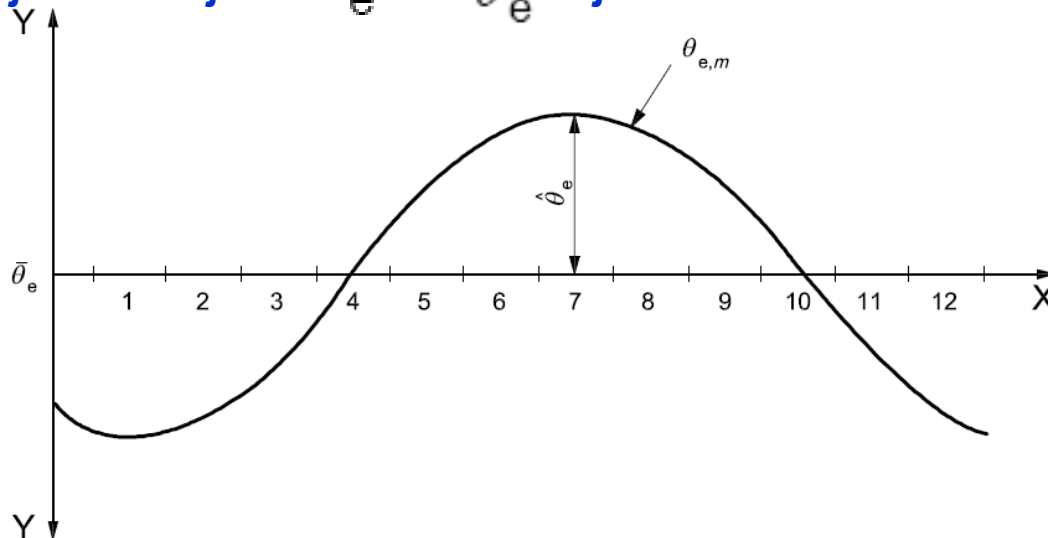
$\hat{\theta}_i$ – amplituda varijacije prosječne unutrašnje mjesečne temperature u K

$\hat{\theta}_e$ – amplituda varijacije spoljašnje prosječne mjesečne temperature u K

$$\theta_{e,m} = \bar{\theta}_e - \hat{\theta}_e \cos\left(2\pi \frac{m - \tau}{12}\right)$$

τ – je broj mjeseca u kome se javlja minimalna spoljašnja temperatura

Ilustracija definicije za $\bar{\theta}_e$ i $\hat{\theta}_e$ je data na slici. Isto važi i za $\bar{\theta}_i$ i $\hat{\theta}_i$



Prosječni protok toplote za mjesec m se može računati pomoću izraza (3)

$$\Phi_m = H_g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) - H_{pi} \hat{\theta}_i \cos\left(2\pi \frac{m - \tau + \alpha}{12}\right) + H_{pe} \hat{\theta}_e \cos\left(2\pi \frac{m - \tau - \beta}{12}\right) \quad [3]$$

Gdje je α vrijeme prednjačenja ciklusa protoka toplote u odnosu na cikluse unutrašnje temperature, a β vrijeme zaostajanja ciklusa protoka toplote u odnosu na cikluse spoljašnje temperature, u mjesecima.

Sezonski protok toplote

$$\bar{\Phi} = H_g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) - \gamma H_{pi} \hat{\theta}_i + \gamma H_{pe} \hat{\theta}_e \quad [4]$$

gdje γ zavisi od dužine trajanja sezone grijanja i računa se pomoću formule:

$$\gamma = \frac{12}{n\pi} \sin\left(\frac{n\pi}{12}\right)$$

gdje je n broj mjeseci u sezoni grijanja.

Periodični koeficijenti toplotnog transfera

Unutrašnji periodični koeficijent transmisijske razmjene toplote za pod na tlu

$$H_{pi} = A \frac{\lambda}{d_t} \sqrt{\frac{2}{(1 + \delta / d_t)^2 + 1}}$$

Vanjski periodični koeficijent transmisijske razmjene toplote za pod na tlu

$$H_{pe} = 0,37 \times P \lambda \ln \left(\frac{\delta}{d_t} + 1 \right)$$

Gdje su:

A – površina poda

δ – periodična dubina prodiranja, zavisi od tipa tla, a uzima se prema tabeli

d_t – ekvivalentna debljina poda

P – izloženi obim poda (m)

λ – koeficijent toplotne provodljivosti tla

Kategorija	Vrsta tla	δ (m)
1	glinasto ili muljevito tlo	2,2
2	pijesak ili šljunak	3,2
3	homogena stijena	4,2

Srednji godišnji protok toplote

Ako amplitude temperaturnih oscilacija $\hat{\theta}_i$ i $\hat{\theta}_e$ nijesu poznate, ili ako se gubici toplote preko tla računaju samo aproksimativno, može se uzeti konstantna vrijednost protoka toplote preko tla na godišnjem nivou, jednaka stacionarnoj komponenti.

$$\bar{\Phi} = H_g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e)$$

[5]

Maksimalni mjesečni protok toplote

Maksimalni mjesečni protok toplote se računa prema izrazu:

$$\Phi_{\max} = H_g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) + H_{pe} \hat{\theta}_e$$

[6]

Ukupni godišnji prenos toplote

Ukupni prenos toplote preko tla predstavlja integralni toplotni protok i može se predstaviti sumom mjesečnih vrijednosti.

$$Q = \sum_{m=m_1}^{m_2} Q_m \quad Q_m = 86\,400 \times N_m \Phi_m$$

[7]

Gdje su:

- Q ukupan toplotni prenos u J
- Q_m mjesečni toplotni prenos za mjesec m , u J
- N_m broj dana mjeseca m
- Φ_m stepen toplotnog prenosa za mjesec m u W
- m_1 prvi mjesec tokom sezone grijanja ili hlađenja
- m_2 posljednji mjesec tokom sezone grijanja ili hlađenja
- 86400 broj sekundi u jednom danu

U slučaju da se računa pomoću prosječnog toplotnog protoka koristi se izraz:

$$Q = 86\,400 \times N \bar{\Phi}$$

[8]

gdje je N ukupan broj dana u sezoni grijanja.

Proračun stacionarnog koeficijenta protoka toplote preko tla H_g

Stacionarni koeficijent transmisije toplote preko tla računa se prema izrazu:

$$H_g = AU + P\psi_g$$

[W/K]

[9]

gdje je :

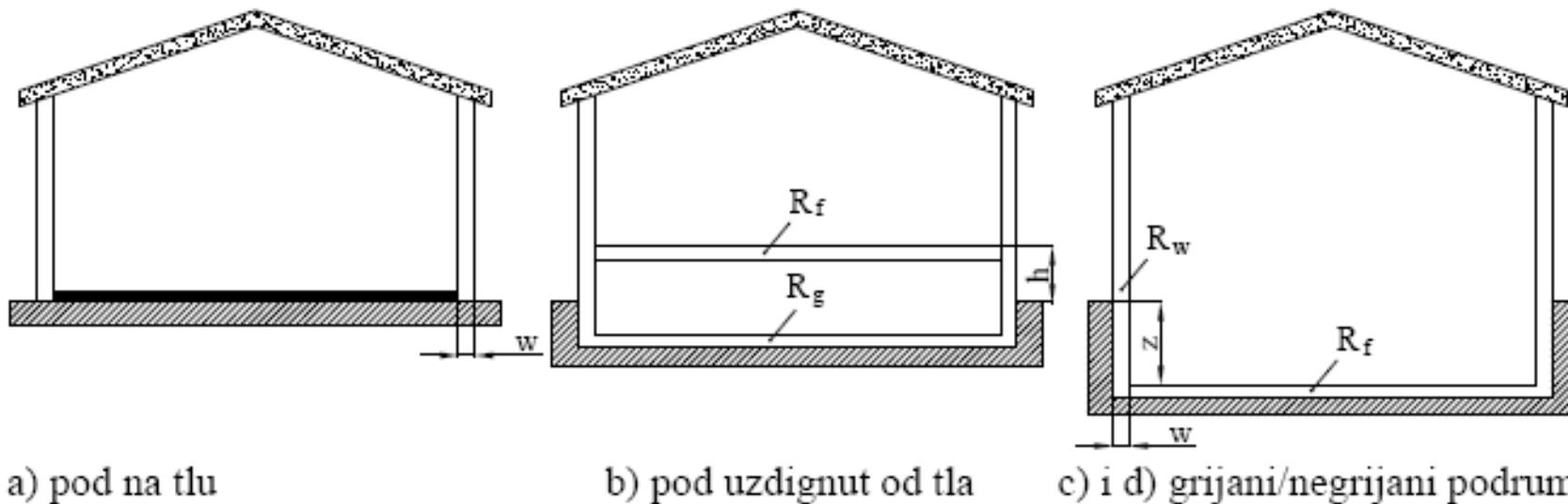
A – površina poda (m^2)

U – koeficijent prolaza toplote između unutrašnjeg i vanjskog prostora

P – izloženi obim poda (m)

ψ_g – linijski koeficijent prolaza toplote za spoj zida i poda (W/(mK))

Koeficijent U se različito proračunava u zavisnosti od načina izrade poda. Razlikuju se 4 slučaja prikazana na slici:

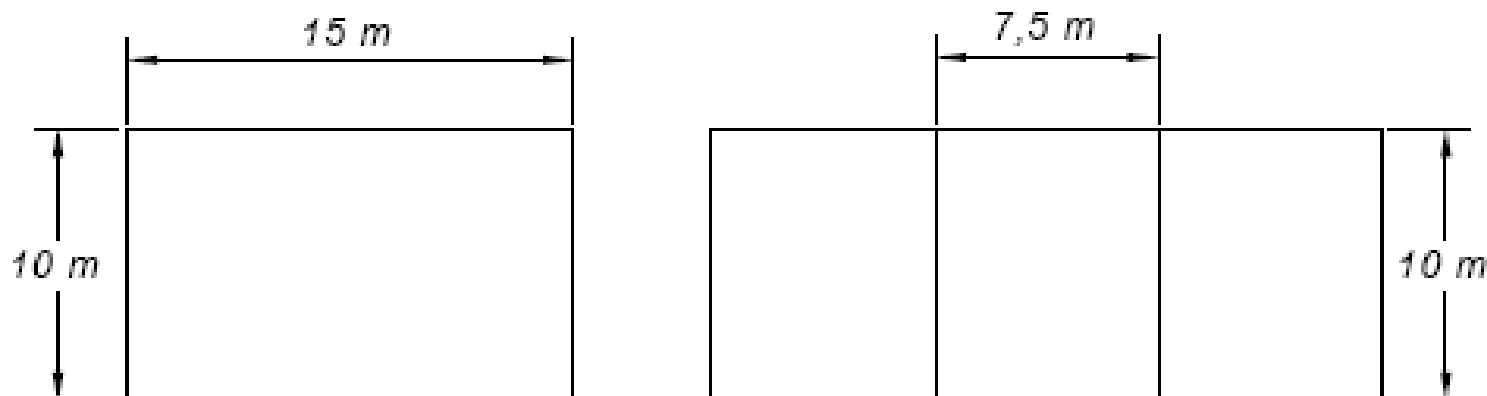


Opšti parametri za proračun (važe za sve slučajeve)

Karakteristična dimenzija poda B', definiše se kao površina poda A podijeljena polovinom obima P (perimetra) koji ograničava grijani i spoljašnji prostor, kao i grijani prostor od negrijanog prostora izvan izolovanih površina.

$$B' = \frac{A}{0,5P}$$

Primjer proračuna karakteristične dimenzije B' prikazan je na slici:



a) $A_g = 150 \text{ m}^2$, $P = 50 \text{ m}$, $B' = 6 \text{ m}$, $A_g = 75 \text{ m}^2$, $P = 15 \text{ m}$, $B' = 10 \text{ m}$

Ekvivalentna debljina se definiše kao debljina tla koja ima ekvivalentnu toplotnu otpornost. Prema EN ISO 13370 definišu se:

d_t – ekvivalentna debljina poda

d_w – ekvivalentna debljina zidova podruma koji su ispod nivoa tla

Proračun prolaza toplote za slučaj "pod na tlu"

Ekvivalentna debljina poda je:

$$d_t = w + \lambda (R_{Si} + R_f + R_{Se})$$

w – puna debljina zida sa svim slojevima

R_f – toplotna otpornost podne ploče

R_{Si} – unutrašnji površinski otpor $R_{Si}=0.17$ (m²K/W)

R_{Se} – spoljašnji površinski otpor $R_{Se}=0.04$ (m²K/W)

λ - koeficijent toplotne provodljivosti tla – zavisi od vrste tla ($\lambda=1,5$ W/(mK) za ilovaču ili mulj; $\lambda=2$ W/(mK) za pijesak ili šljunak; $\lambda=3,5$ W/(mK) za homogenu stijenu)

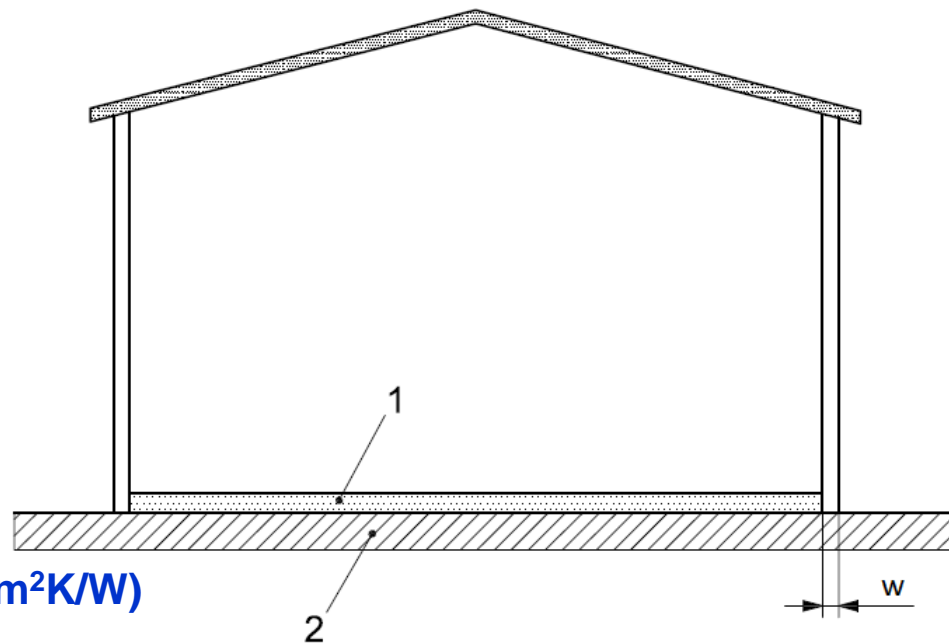


Tabela 1: Toplotne karakteristike tla

Kategorija	Opis	λ W/(mK)	Toplotni kapacitet po zapremini ρc J/m ³ K
1	Ilovača ili mulj	1,5	3,0x10 ⁶
2	Pijesak ili šljunak	2,0	2,0x10 ⁶
3	Homogena stijena	3,5	2,0x10 ⁶

Toplotna otpornost betonskih ploča velike gustine i tankih podnih slojeva se mogu zanemariti. Za zbijeni sloj ispod ploče se pretpostavlja da ima istu toplotnu provodljivost kao tlo i njegova toplotna otpornost se ne uključuje.

Ako je $d_t < B'$ što važi za neizolovane i srednje izolovane podove koristi se izraz:

$$U = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1 \right) \quad [10]$$

Ako je $d_t \geq B'$ (dobro izolovani podovi) za proračun se koristi izraz:

$$U = \frac{\lambda}{0,457 \times B' + d_t} \quad [11]$$

Za dobro izolovane podove može se alternativno uzeti formula:

$$U_g = \frac{1}{(R_f + R_{si} + R_{se} + w/\lambda) + R_g} \quad [12]$$

gdje je R_g efektivna toplotna otpornost tla data izrazom:

$$R_g = \frac{0,457 \times B'}{\lambda}$$

Proračun koeficijenta H_g za podove na tlu sa ivičnom izolacijom

Jednačine za proračun koeficijenta H_g u ovom slučaju uključuju ekvivalentnu debljinu podne konstrukcije d' preko koeficijenta $\Psi_{g,e}$.

$$d' = R' \cdot \lambda \qquad R' = R_n - \frac{d_n}{\lambda} \qquad [13]$$

gdje je:

R' dodatna toplotna otpornost proizvedena ivičnom izolacijom

R_n toplotna otpornost horizontalne ili vertikalne ivične izolacije [m^2K/W]

d_n debljina ivične izolacije u m

Umjesto jednačine (9) sad se koristi jednačina (14)

$$H_g = (A \cdot U) + P \cdot (\Psi_g + \Psi_{g,e}) \qquad [14]$$

Za stacionarni proračun uticaj ivične izolacije se uvodi preko izraza (15)

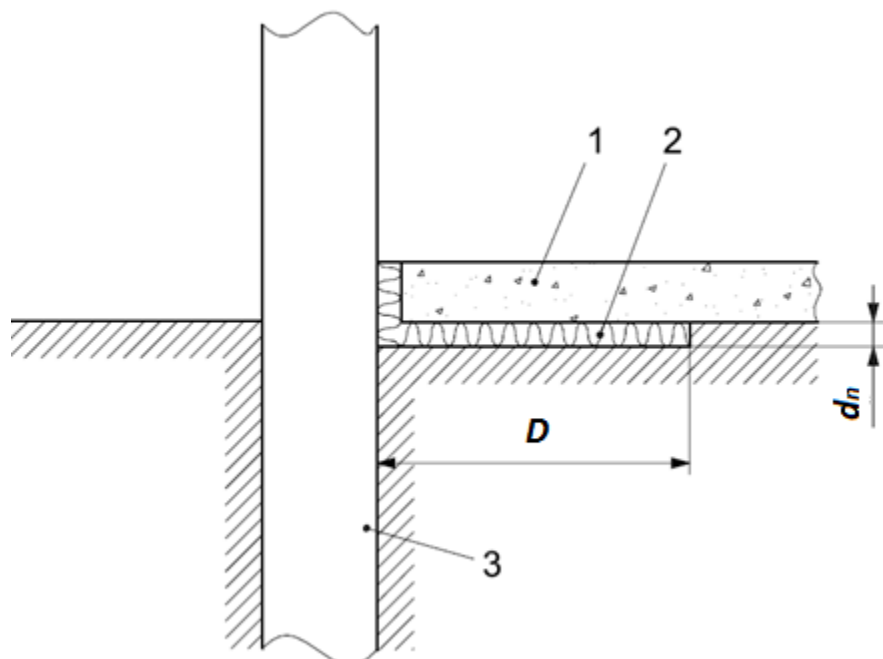
$$U = U_0 + \frac{2\Psi_{g,e}}{B'} \quad [15]$$

gdje je U_0 koeficijent prolaza toplote kroz pod bez ivične izolacije

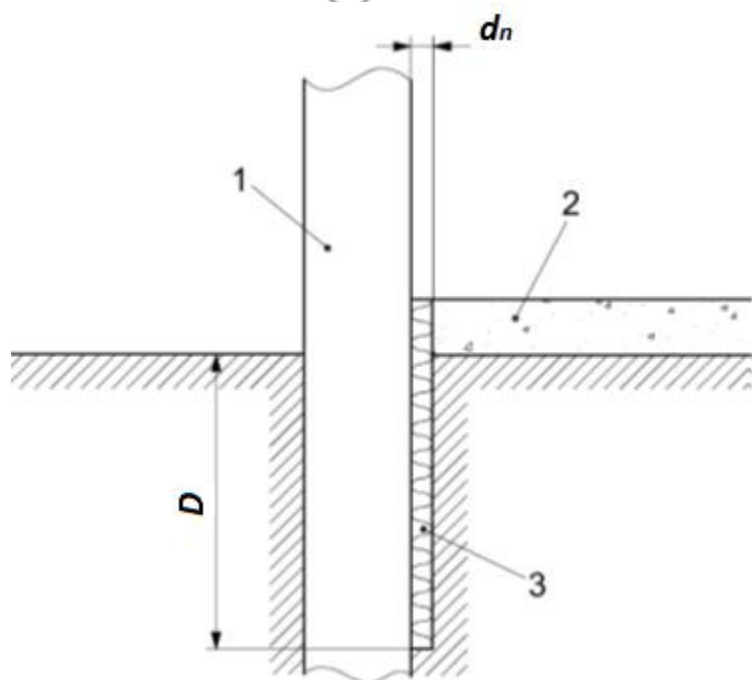
Izraz (16) se koristi u slučaju ivične izolacije postavljene horizontalno, a izraz (17) za vertikalno postavljenu ivičnu izolaciju.

$$\Psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi} \left[\ln \left(\frac{D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left(\frac{D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \quad [16]$$

$$\Psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi} \left[\ln \left(\frac{2D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left(\frac{2D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \quad [17]$$

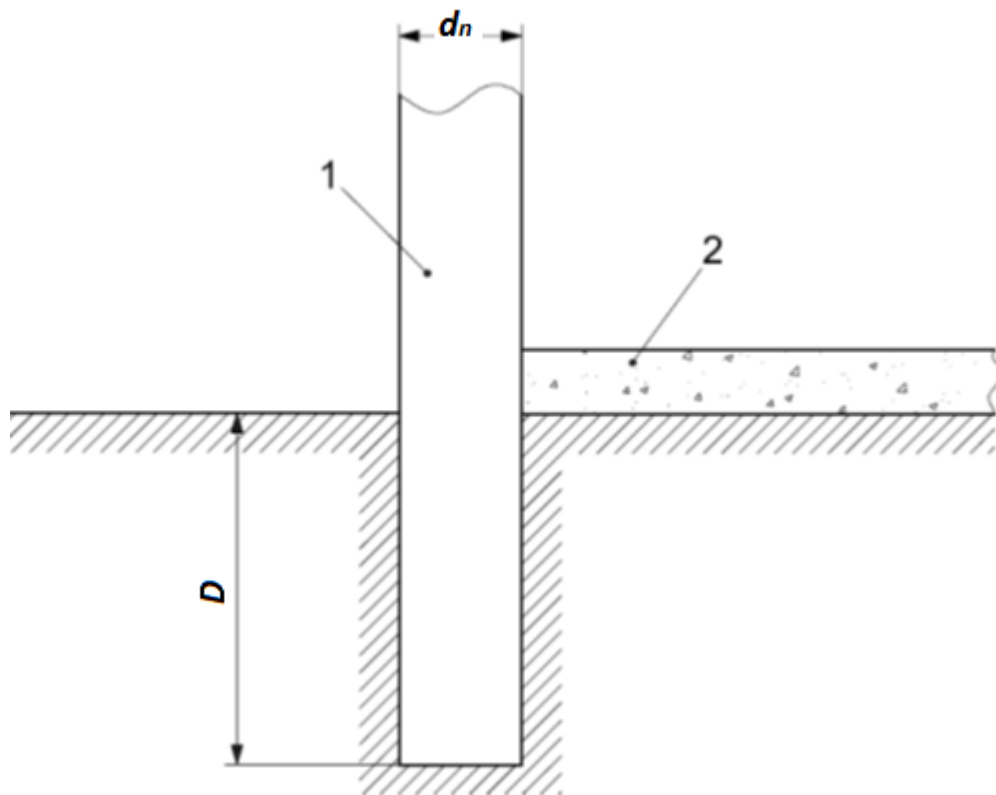


- 1 – podna ploča
- 2 – horizontalna ivična izolacija
- 3 – temeljni zid
- d_n – debljina ivične izolacije (ili temelja)



- 1 – temeljni zid
- 2 - podna ploča
- 3 – vertikalna ivična izolacija
- d_n – debljina ivične izolacije (ili temelja)
- D – dubina vertikalne ivične izolacije (ili temelja) ispod nivoa tla

Ako se radi o lakom temelju ($\lambda_n < \lambda$) onda se kao d_n uzima debljina temelja.



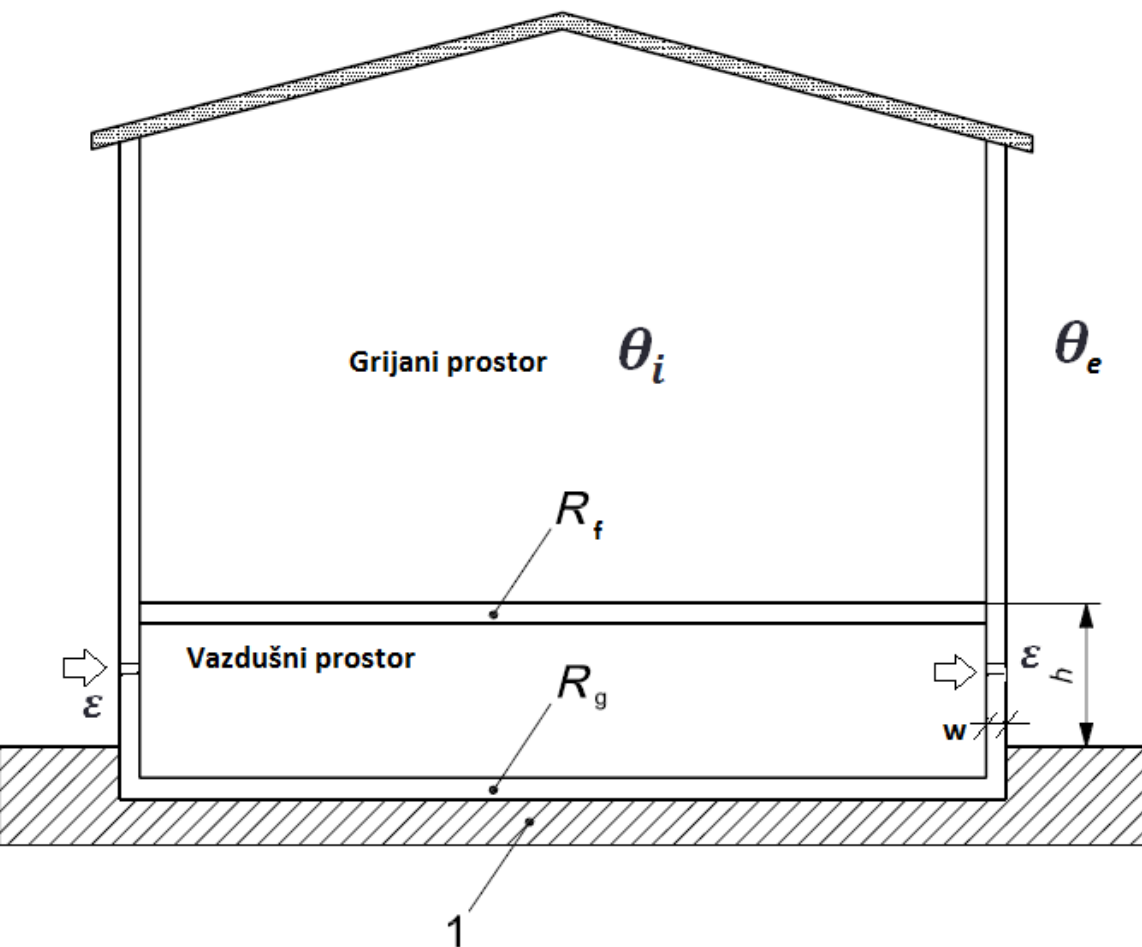
1 – temeljni zid male gustine sa $\lambda_n < \lambda$

2 - podna ploča

d_n – debljina ivične izolacije (ili temelja)

D – dubina vertikalne ivične izolacije (ili temelja) ispod nivoa tla

Podna konstrukcija izdignuta od tla



Koeficijent prolaza toplote U se određuje iz jednačine (18):

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad [18]$$

U_f – koeficijent prolaza toplote izdignutog poda, W/m^2K

U_g – koeficijent prolaza toplote za toplotni protok kroz tlo, W/m^2K

U_x – ekvivalentni koeficijent prolaza toplote između prostora ispod poda i okoline, koji uzima u obzir toplotni protok kroz zidove prostora ispod poda i ventilaciju ovog prostora, W/m^2K

1 – tlo; R_g – toplotni otpor ploče na tlu; h – visina gornje površine poda iznad površine tla;

Proračun koeficijenta prolaza toplote kroz tlo vrši se pomoću izraza [19], [20]

$$d_g = w + \lambda(R_{si} + R_g + R_{se}) \quad [19]$$

$$U_g = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_g} \ln \left(\frac{\pi B' + d_g}{d_g} + 1 \right) \quad [20]$$

d_g ukupna ekvivalentna debljina tla, m

R_g toplotni otpor eventualne izolacije na temeljnoj ploči

Proračun ekvivalentnog koeficijenta prolaza toplote U_x

$$U_x = 2 \times \frac{hU_w}{B'} + 1450 \times \frac{\varepsilon v f_w}{B'} \quad [21]$$

h rastojanje gornje površine poda

U_w koeficijent prolaza toplote temeljnih zidova iznad nivoa tla

ε površina ventilacionih otvora po dužini obima vent.vazdušnog prostora m^2/m

v prosječna brzina vjetra na visini 10 m, m/s

f_w faktor zaštićenosti od vjetra (dato u tabeli 2)

Tabela 2: Vrijednosti koeficijenta zaštićenosti od vjetra

Položaj	Primjer	Faktor zaštićenosti od vjetra f_w
Zaklonjen	Centar grada	0,02
Normalan	Predgrađe	0,05
Otvoren	Ruralni predio	0,10

U slučaju kad vazdušni prostor dopire do dubine više od 0,5 m ispod nivoa tla, koeficijent prolaza toplote U_g se računa prema izrazu (22)

$$U_g = U_{bf} + zPU_{bw}/A$$

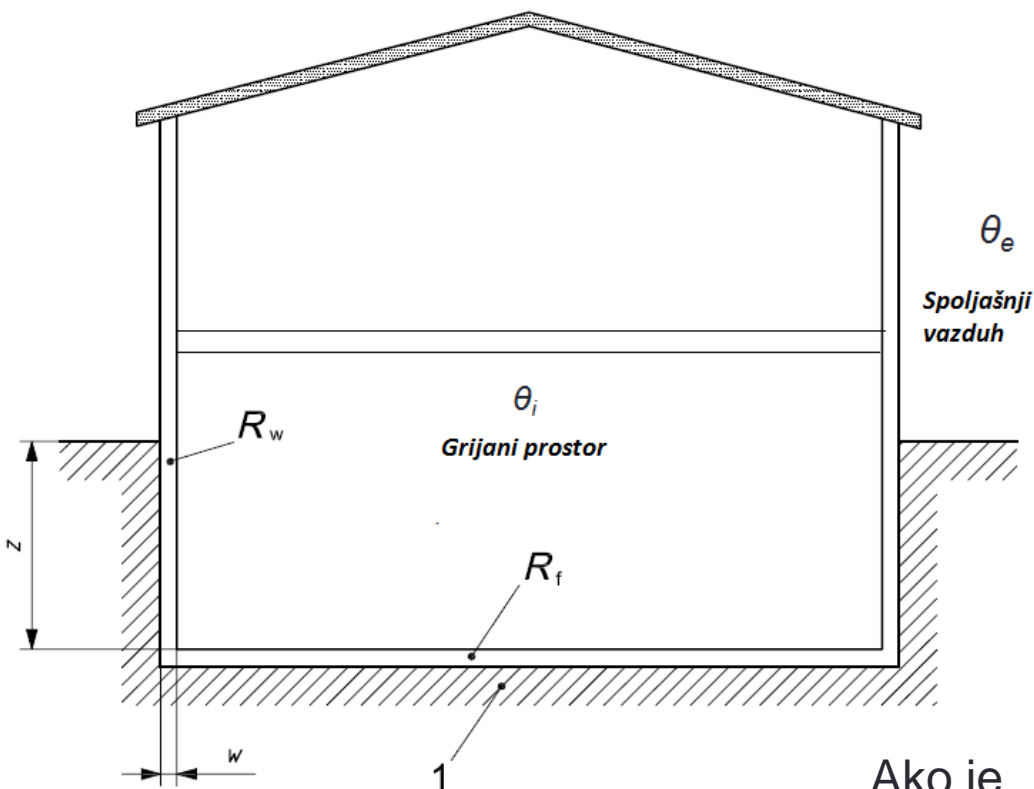
[22]

U_{bf} koeficijent prolaza toplote temeljne ploče, W/m²K

z visina podzemnog dijela temeljnog zida, m

U_{bw} koeficijent prolaza toplote temeljnih zidova, W/m²K

Grijani podrum



Ako je $(d_t + 0,5z) \geq B'$

(dobro izolovani podovi)

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457B' + d_t + 0,5z}$$

[23]

1) Koeficijent prolaza toplote za pod podruma U_{bf}

Ekvivalentna debljina podrumskog poda:

$$d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se})$$

w puna debljina zidova zgrade na nivou tla, u m

U_{bf} koeficijent prolaza toplote za pod podruma, W/m^2K

Ako je $(d_t + 0,5z) < B'$

(neizolovani ili srednje izolovani podrumski podovi)

$$U_{bf} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t + 0,5z} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t + 0,5z} + 1 \right)$$

[24]

2) Koeficijent prolaza toplote za zidove podruma U_{bw}

U_{bw} zavisi od ukupne ekvivalentne debljine podrumskih zidova d_w

$$d_w = \lambda (R_{si} + R_w + R_{se})$$

gdje je R_w toplotna otpornost zidova podruma uključujući sve slojeve.

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_t + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right)$$

[25]

U formuli (25) figurišu d_w i d_t . Formula važi ako je $d_w \geq d_t$.

Ako je $d_w < d_t$, tada d_t treba zamijeniti sa d_w .

Efektivni koeficijent prolaza toplote za podrumске prostorije u cjelini, računa se prema (26):

$$U' = \frac{(AU_{bf}) + (zPU_{bw})}{A + (zP)}$$

[26]

Koeficijent toplotnog transfera preko tla, između unutrašnje i spoljašnje sredine, za kvazi-stacionarno stanje, dat je izrazom (27):

$$H_g = (AU_{bf}) + (zPU_{bw}) + (P\Psi_g) \quad [27]$$

Negrijani podrum

Formula (28) se primjenjuje za proračun koeficijenta prolaza toplote za negrijani podrum ventilisan spolja.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{(AU_{bf}) + (zPU_{bw}) + (hPU_w) + (0,33 \times nV)} \quad [28]$$

U_f je koeficijent prolaza toplote za pod (između unutrašnjeg prostora i podruma)

U_w je koeficijent prolaza toplote za zidove podruma, za dio iznad nivoa tla

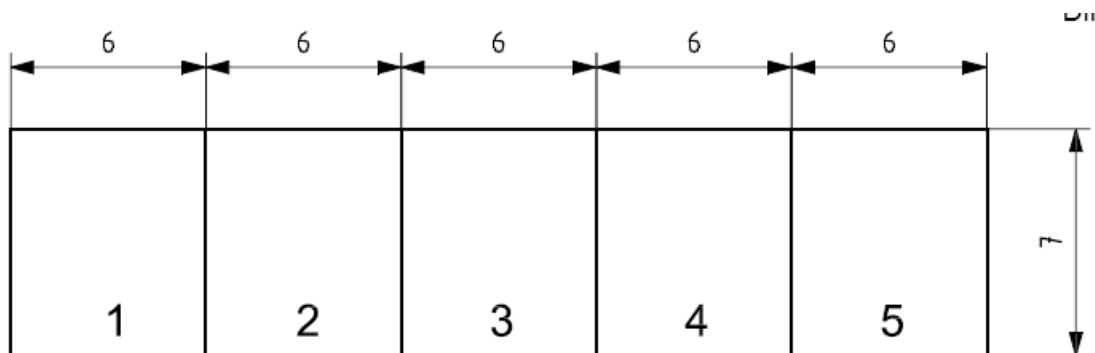
n je stepen ventilacije podruma.

V zapremina vazduha podruma.

U nedostatku preciznijih informacija, usvaja se da je broj izmjena vazduha po času $n=0,3$.

Primjer: Mjesečni proračun protoka toplote preko tla

Na slici je prikazana osnova poda za 5 kuća u nizu, označenih brojevima od 1 do 5, koje su postavljene tako da podne ploče leže na glinovitom tlu; debljina zida je $w=0.3$ m; izolacija na podnoj ploči je otpora $R_f=1,25$ m²K/W.



Dimenzije su u *m*.

Za kuće 1, 5

P ne uključuje dužinu zidova koji odvajaju ostale grijane djelove zgrade, pa je

$$P=6+7+6=19 \text{ m}$$

$$A = 6 \cdot 7 = 42 \text{ m}^2, \text{ pa je } B' = 42 / (0.5 \cdot 19) = 4,421 \text{ m}$$

$d_t = 0,3 + 1,5(0,17 + 1,25 + 0,04) = 2,49 \text{ m}$, pa važi $d_t < B'$, odnosno koristi se izraz

$$U = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1 \right) \quad U = \frac{2 \cdot 1,5}{\pi \cdot 4,421 + 2,49} \ln \left(\frac{\pi \cdot 4,421}{2,49} + 1 \right) = 0,345 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$H_g = U \cdot A = 14,49 \text{ W/K}$$

Poznati su podaci o prosječnim mjesečnim spoljašnjim temperaturama $\theta_{e,m}$

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Temperature °C	1,3	1,8	3,7	7,6	10,3	13,5	15,4	14,2	10,4	7,3	5,9	4,3

Unutrašnja temperatura je pretpostavljena: Januar 15°C; Jul 19°C

Godišnje prosječne temperature

$$\bar{\theta}_i \approx (15 + 19)/2 = 17,0 \text{ °C}; \quad \bar{\theta}_e = 7,98 \text{ °C}.$$

Spoljašnja prosječna temperatura je izračunata kao srednja vrijednost zadatih mjesečnih temperatura.

Temperaturne amplitude su:

$$\text{Unutrašnja} \quad \hat{\theta}_i \approx (19 - 15)/2 = 2,0 \text{ K};$$

$$\text{Spoljašnja} \quad \hat{\theta}_e = (15,4 - 1,3)/2 = 7,05 \text{ K}.$$

Unutrašnji periodični koeficijent transmisijske razmjene toplote za pod na tlu

$$H_{pi} = A \frac{\lambda}{d_t} \sqrt{\frac{2}{(1 + \delta/d_t)^2 + 1}} \quad H_{pi} = 42 \times \frac{1,5}{2,49} \sqrt{\frac{2}{(1 + 2,2/2,49)^2 + 1}} = 16,78 \text{ W/K}$$

Koeficijent δ za glinovito tlo je 2,2 m.

Spoljašnji periodični koeficijent transmisijske razmjene toplote za pod na tlu

$$H_{pe} = 0,37 \times P \lambda \ln \left(\frac{\delta}{d_t} + 1 \right) \quad H_{pe} = 0,37 \times 19 \times 1,5 \times \ln \left(\frac{2,2}{2,49} + 1 \right) = 6,68 \text{ W/K}$$

Prosječni protok toplote za mjesec m je:

$$\Phi_m = H_g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) - H_{pi} \hat{\theta}_i \cos \left(2\pi \frac{m - \tau + \alpha}{12} \right) + H_{pe} \hat{\theta}_e \cos \left(2\pi \frac{m - \tau - \beta}{12} \right)$$

Uzima se $\tau=1$ (broj mjeseca sa min.spolj.temp.); $\alpha=0$; $\beta=1$

$$\begin{aligned} \Phi_m &= 14,49(17,0 - 7,98) - 16,78 \times 2,0 \times \cos \left(6,284 \times \frac{m-1}{12} \right) + 6,68 \times 7,05 \times \cos \left(6,284 \times \frac{m-2}{12} \right) \\ &= 131 - 33,6 \cos \left(6,284 \times \frac{m-1}{12} \right) + 47,1 \cos \left(6,284 \times \frac{m-2}{12} \right) \end{aligned}$$

Proračunate vrijednosti toplotnog protoka po mjesecima su date u tabeli:

Mjesec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Topl.protok W	138	149	155	154	148	136	124	113	107	107	114	125

Za sezonu grijanja od septembra do maja (9 mjeseci) srednja vrijednost toplotnog protoka za vrijednosti iz tabele je 133W.

Prosječni protok toplote tokom sezone grijanja

$$\bar{\Phi} = H_g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) - \gamma H_{pi} \hat{\theta}_i + \gamma H_{pe} \hat{\theta}_e \quad \gamma = \frac{12}{n\pi} \sin\left(\frac{n\pi}{12}\right)$$

Za sezonu grijanja od 9 mjeseci, $n=9$, dobija se prosječni toplotni protok

$$\bar{\Phi} = 14,49 (17,0 - 7,98) - 0,3 \times 16,78 \times 2,0 + 0,3 \times 6,68 \times 7,05 = 131 - 10 + 14 = 135 \text{ W.}$$

Ako se prosječna unutrašnja temperatura usvoji kao konstantna vrijednost, na 20°C, mjesečni toplotni protok je dat izrazom:

$$\Phi_m = 174 + 47,1 \cos\left(6,284 \frac{m-2}{12}\right)$$

Dobijaju se mjesečne vrijednosti toplotnog protoka, date u tabeli:

Mjesec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Topl.protok W	215	221	215	198	174	151	133	127	133	151	174	198

Prosječni toplotni protok u sezoni septembar – maj je 187W.

Ako se vrijednosti izračunaju koristeći jednačinu (2), na osnovu prosječnih mjesečnih vrijednosti temperatura, dobija se prosječni protok 188 W. Razlike u fazama ne utiču značajno na prosječni toplotni protok tokom sezone.

PRENOS TOPLOTE TRANSMISIJOM KROZ PROZORE I VRATA EN ISO 10077-1

**PROZORI I VRATA – FAKTORI ENERGETSKE EFIKASNOSTI
PRORAČUN UKUPNOG PROLAZA TOPLOTE ZA PROZORE I VRATA**

Uticaj prozora i vrata na ukupnu neto energiju za grijanje i hlađenje

1) Ukupna površina

Potrebna neto energija za grijanje će porasti kada se koristi više staklenih površina, ako su drugi parametri isti. Isto se može očekivati i kod potrebne energije za hlađenje.

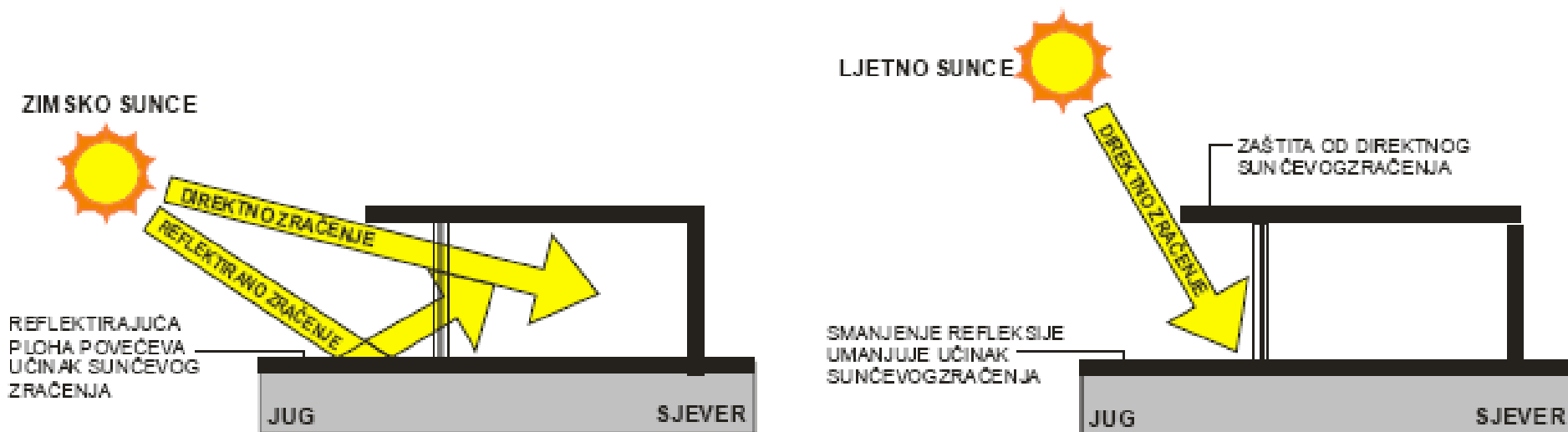
2) Orientacija i ugao nagiba

Površine orjentisane ka jugu utiču da se smanji energija potrebna za grijanje. Vertikalno postavljene zastakljene površine koriste većem dobitku toplote od sunčevog zračenja u zimskom periodu.

3) Toplotna provodljivost

Zastakljenja velike toplotne provodljivosti utiče na povećanje potrebne energije za grijanje, kao i za hlađenje.

- Radi većeg dobitka toplote potrebno je obezbijediti da zimi što više zračenja prodire kroz prozirne djelove omotača, dok je ljeti potrebno postići efikasnu zaštitu od sunčevih zraka radi sprečavanja dotoka suviše toplote.



Efekti Sunčevog zračenja u zimskim i ljetnjim uslovima

Za stambene zgrade u umjerenom klimatu preporučuju se sljedeća tri pravila koja se odnose na zastakljene površine:

1) Ograničiti staklenu površinu po sobi na 1/5 površine poda.

2) Orjentisati veliki dio staklenih površina jugoistočno, južno do jugozapadno.

3) Postaviti staklene površine vertikalno.

Pored toga što je najlakše održavanje, dobitak od Sunčevog zračenja je veći u slučaju kad je staklena površina veće širine.

Široke zastakljene površine orjentisane istočno ili zapadno mogu stvoriti uslove za pregrijavanje u proljeće, ljeto ili jesen.

Iz ovoga proizilazi četvrto pravilo:

4) Široke zastakljene površine orjentisane ka istoku, prema jugu ili od juga prema zapadu predvidjeti sa zasjenčenjem.

Prozori poboljšanih termičkih karakteristika

Postoji nekoliko tipova stakla koja imaju posebna svojstva vezana za apsorpciju, refleksiju, propuštanje sunčevog zračenja i provođenje toplote.

Termoizolaciona stakla - dva ili tri sloja stakla između kojih je međuprostor popunjen slojem suvog vazduha ili nekim plemenitim gasom (argon, ksenon, radon).

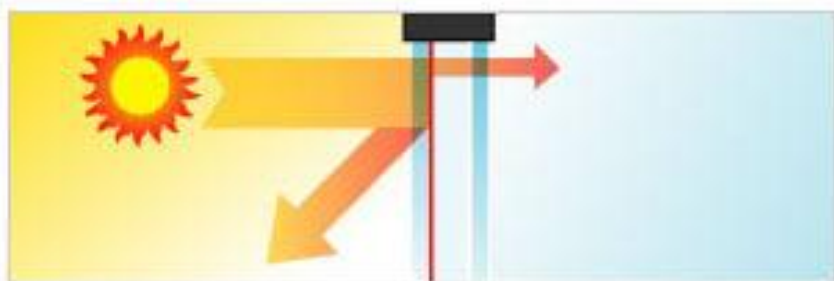
Termoapsorbujuća stakla - dodavanjem metalnih oksida u staklenu masu povećava se sposobnost apsorpcije toplotnog zračenja, dolazi do promjene percepcije boja u unutrašnjem prostoru.

Reflektujuća stakla se dobijaju nanošenjem jedne ili više tankih neorganskih reflektujućih prevlaka na površinu stakla (metali: srebro, zlato, hrom i hrom-oksidi, titanijum). Primjenom reflektujućeg stakla sprečava se prolaz toplotnog zračenja, dok je transmisija svjetlosnog zračenja dobra.

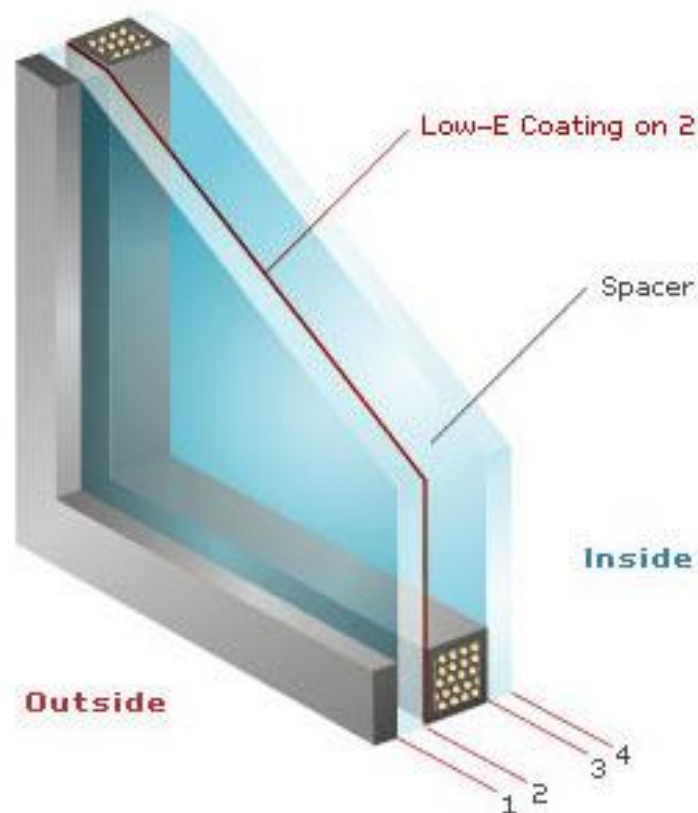
Niskoemisiona stakla (LOW-E) – sadrže niskoemisione mikroskopski tanke prevlake od metala ili metal oksida. Ova stakla imaju bolju solarnu i toplotnu kontrolu i poboljšanu transmisiju vidljive dnevne svjetlosti.

Utiču na redukciju toplotnih dobitaka ljeti i gubitaka unutrašnje toplote zimi.

Summer / Leto



Winter / Zima



PVC windows, low-E, argon filling
 $U = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ / $R = 0,83 \text{ m}^2\text{K/W}$

U tabeli su prikazani različiti tipovi zastakljenja na prozorima.

Toplotna provodljivost se između najboljeg i najgoreg razlikuje 8.5 puta, dok je razlika u propuštanju sunčevog zračenja i propuštanju svjetlosti mnogo manja.

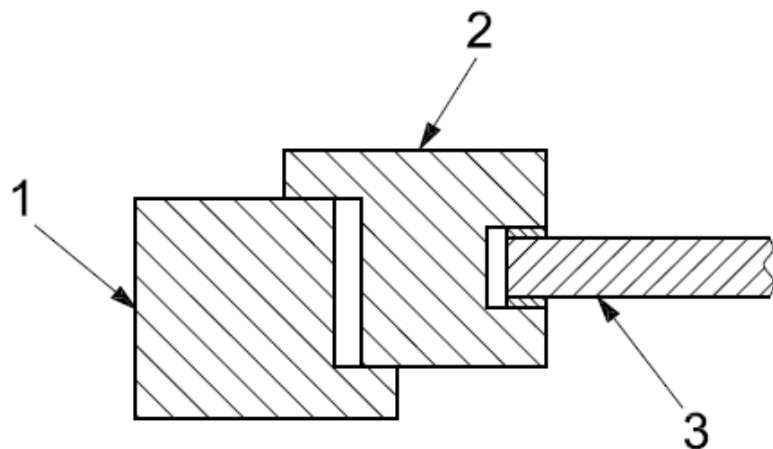
Types	U -value $W/(m^2 \cdot K)$	g -value –	τ_{visible} –
Single glass	5.9	0.81	0.90
Double glass	3.0	0.72	0.80
Low-e double glass	1.8	0.63	0.70
Argon filled low-e double glass	1.3	0.58	0.75
Krypton filled low-e double glass	1.0–1.1	0.58	0.75
Xenon filled low-e double glass	0.9–1.0	0.58	0.75
Krypton filled low-e triple glass	0.7	0.50	0.65
Xenon filled low-e triple glass	0.6	0.50	0.65

PRORAČUN UKUPNOG PROLAZA TOPLOTE ZA PROZORE I VRATA

Prema EN ISO 10077-1

Algoritam za proračun – jednostruki prozor sa jednim ili više zastakljenja

1) Za jednostruki prozor



- 1 Okvir (fiksiran)
- 2 Krilo (pokretno)
- 3 Zastakljenje (jednostruko ili višestruko)

$$U_W = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f} \quad (1)$$

U_g – prolaz toplote kroz staklo
 U_f – prolaz toplote kroz okvir
 Ψ_g – linearni prolaz toplote usljed kombinacije toplotnih efekata zastakljenja, distancera i okvira.

Ukupan prolaz toplote za prozor U_W se može računati iz izraza (1).

U tom slučaju treba definisati površine A_g , A_f i dužinu l_g , prema EN ISO 10077-1.

a) Sa jednostrukim zastakljenjem**b) Sa višestrukim zastakljenjem**

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{si}}$$

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum_j R_{sj} + R_{si}}$$

gdje su:

R_{se} – otpor prelaza spoljašnje površine

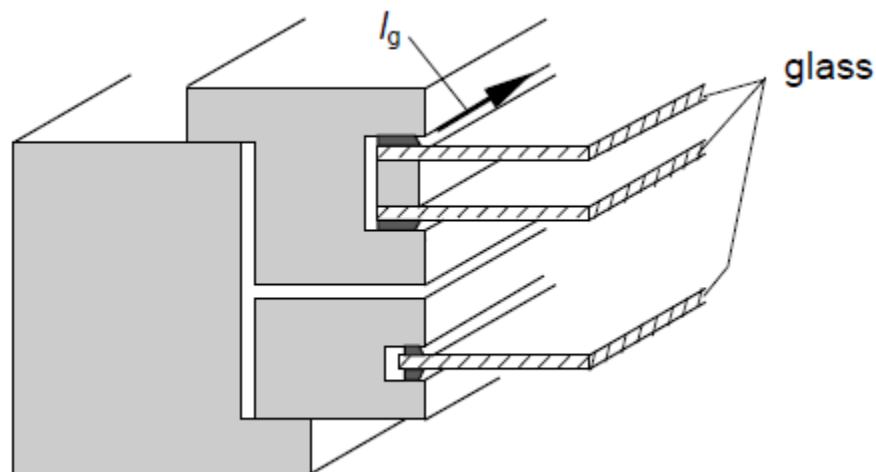
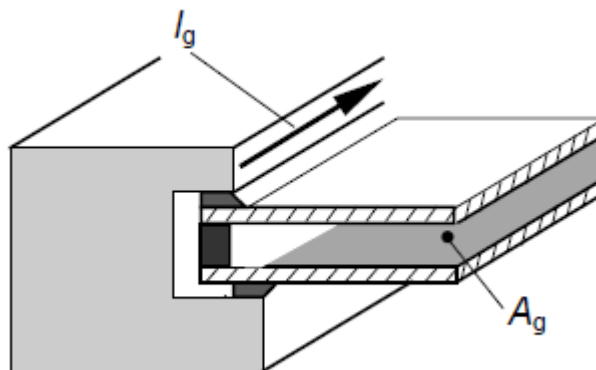
R_{si} – otpor prelaza unutrašnje površine

λ_j – toplotna provodljivost stakla ili materijala u sloju j

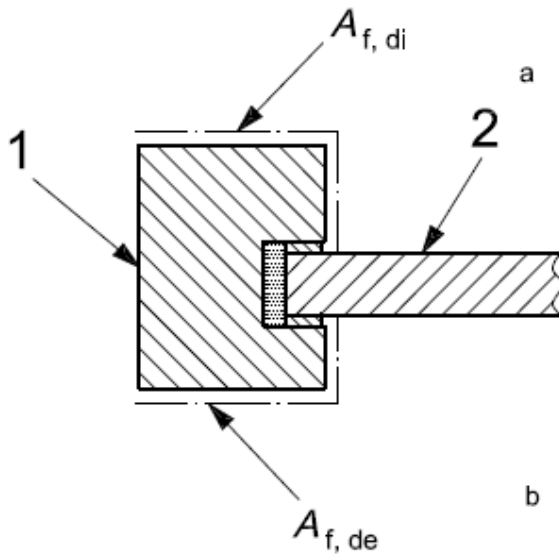
R_{sj} – toplotni otpor vazdušnog sloja

Za staklo se usvaja $\lambda=1$ W/(mK)

Površina zastakljenja A_g i dužina l_g



Površina okvira A_f , površina prozora A_w , površina zastakljenja A_g



$A_{f,i}$ – unutrašnja projektovana površina okvira – projekcija unutrašnjeg okvira na ravan paralelnu zastakljenju

$A_{f,e}$ – unutrašnja projektovana površina okvira – projekcija unutrašnjeg okvira na ravan paralelnu zastakljenju

$A_{f,di}$ – unutrašnja razvijena površina

$A_{f,de}$ – spoljašnja razvijena površina

- 1 okvir
- 2 zastakljenje
- a unutra
- b spolja

$$A_f = \max(A_{f,i}; A_{f,e})$$

$$A_w = A_f + A_g$$

Površina prozora jednaka je zbiru površine okvira i površine zastakljenja ili panela.

Površinski toplotni otpori za prozore i za neventilisani vazdušni sloj.

Površinski toplotni otpor

Položaj prozora	Unutrašnji R_{si} (m ² K/W)	Spoljašnji R_{se} (m ² K/W)
Vertikalni ili sa zastakljenjem pod nagibom α , na horizontalu $90^\circ \geq \alpha \geq 60^\circ$ (toplotni protok u pravcu $\pm 30^\circ$ u odnosu na horizontalnu ravan)	0,13	0,04
Horizontalni ili sa zastakljenjem pod nagibom α na horizontalu $60^\circ > \alpha \geq 0^\circ$ (toplotni protok pod uglom većim od $\pm 30^\circ$ u odnosu na horizontalnu ravan)	0,10	0,04

Toplotna otpornost neventilisanog vazdušnog sloja za spojene i duple prozore

Debljina vazdušnog prostora mm	Toplotna otpornost R_s m ² ·K/W				
	Jedna strana prekrivena za isključenje normalne emisivnosti				Neprekrivene obje strane
	0,1	0,2	0,4	0,8	
6	0,211	0,191	0,163	0,132	0,127
9	0,299	0,259	0,211	0,162	0,154
12	0,377	0,316	0,247	0,182	0,173
15	0,447	0,364	0,276	0,197	0,186
50	0,406	0,336	0,260	0,189	0,179

Iz tabele C.2 se mogu očitati prolazi toplote za prozore sa jednostrukim ili dvostrukim zastakljenjem (U_g) i različitim vrstama gasa kojima su napunjeni međuprostori (prikazan je samo dio tabele)

Table C.2 - Thermal transmittance U_g of double and triple glazing filled with different gases

Glazing				Type of gas space (gas concentration $\geq 90\%$)			
Type	Glass	Normal emissivity	Dimensions mm	Air	Argon	Krypton	SF6
	Uncoated glass (normal glass)	0,89	4-6-4	3,3	3,0	2,8	3,0
			4-9-4	3,0	2,8	2,6	3,1
			4-12-4	2,9	2,7	2,6	3,1
			4-15-4	2,7	2,6	2,6	3,1
			4-20-4	2,7	2,6	2,6	3,1

Prozori sa zatvorenim roletnama

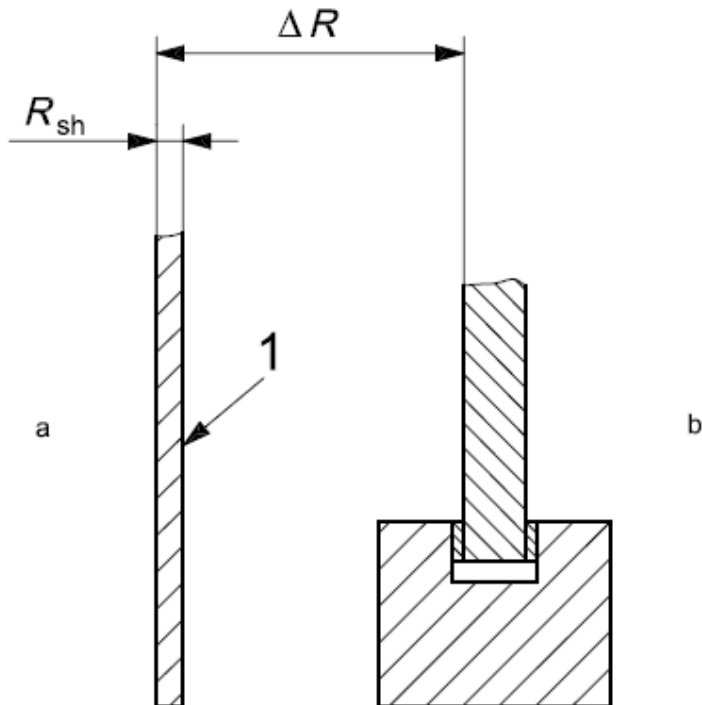
$$U_{WS} = \frac{1}{1/U_W + \Delta R}$$

U_{WS} – prolaz toplote za prozor sa roletnom

U_W – prolaz toplote za prozor


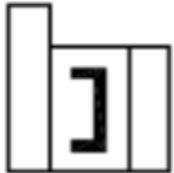
ΔR – dodatna otpornost propuštanja toplote zbog vazdušnog sloja između prozora i roletne i otpora same roletne

Podaci o toplotnoj otpornosti prozora sa zatvorenim roletnama su dati u Aneksu A standarda EN ISO 10077-1



Prolaz toplote kroz okvir prozora U_f se može odrediti iz Annex-a D, EN ISO 10077-1 i to: Iz tabele D1 za plastificirane okvire, prema slici D2 (dijagram) za drvene okvire i slici D4 za metalne okvire.

Tabela D1: Koeficijent prolaza toplote za plastične okvire sa metalnom armaturom

Materijal okvira	Tip okvira	U_f W/(m ² ·K)
Poliuretan	sa metalnim jezgrom debljina PUR ≥ 5 mm	2,8
PVC-šuplji profili ^a	dvije šuplje komore <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-right: 10px;">spoljašnji</div>  <div style="margin-left: 10px;">unutrašnji</div> </div>	2,2
	tri šuplje komore <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-right: 10px;">spoljašnji</div>  <div style="margin-left: 10px;">unutrašnji</div> </div>	2,0
^a Sa rastojanjem između površina zidova svake šuplje komore najmanje 5 mm		

Linearno propuštanje toplote na spoju okvir/zastakljenje

Linearno propuštanje toplote, ψ_g , opisuje dodatno provođenje toplote nastalo interakcijom između okvira, zastakljenja i distancera i uslovljeno je toplotnim karakteristikama svake od komponenti.

Za određivanje linearnog propuštanja toplote definisan je numerički metod prema ISO 10077-2. Ukoliko takvi rezultati nijesu na raspolaganju mogu se koristiti podaci dati u Aneksu E EN ISO 10077-1.

U tabeli E.1 date su vrijednosti za ψ_g ako su distanceri za staklo od aluminijuma ili nerđajućeg čelika za specificirane vrste okvira i zastakljenja.

U tabeli E.2 su date vrijednosti koeficijenta ψ_g u slučaju distancera za staklo sa unaprijeđenim toplotnim karakteristikama.

U Aneksu F su date tabele iz kojih se može očitati vrijednost prolaza toplote za prozor U_w ukoliko su poznate vrijednosti prolaza toplote za zastakljenje U_g i za okvir U_f .

Literatura

- ISO 13370, 2007
- Energetska efikasnost zgrada – Metodologija energetskog pregleda i proračun indikatora, Univerzitet Crne Gore, ENSI, Podgorica 2011
- EN ISO 10077-1