

Проф. д-р Ѓорѓи Тромбев

ГРАДЕЖНА ФИЗИКА

Преглед - МКС EN ISO 6946 – Компоненти и елементи од згради – Топлински отпори и коефициенти на премин на топлина – Метод на пресметка -
(Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method)

Област на примена

Во стандардот МКС EN ISO 6946:2007 се наведува метод за пресметка на топлински отпори и коефициенти на премин на топлина за градежни компоненти и градежни елементи, без да бидат земани во разгледување отвори (врати, прозорци и други стаклени елементи), делови од згради во непосредна близина на земја и елементи за вентилација.

Се базира врз соодветни вредности за коефициентите на спроведување на топлина, или вредности на топлинските отпори за материјалите и производите опфатени со пресметките.

Се применува за градежни компоненти кои се составени од термички хомогени слоеви (кои може да вклучуваат и слоеви на воздух) .

Се наведува и приближен метод, со кој може да се користи за пресметки и на нехомогени слоеви.

Нормативни референци

Поврзаност на Стандардот со други нормативни референци:

- ISO 7345, *Thermal insulation — Physical quantities and definitions*
- ISO 10456, *Building materials and products — Hygrothermal properties — Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values*
- ISO 13789, *Thermal performance of buildings — Transmission and ventilation heat transfer coefficients — Calculation method*

Термини и дефиниции

Термини и дефиниции кои се наведуваат во Стандардот:

- **Градежен елемент**, како најголем дел од зграда, како што е ѕид, под, или покрив.
- **Градежна компонента**, како градежен елемент или дел од него

ЗАБЕЛЕШКА: Во Стандардот, "компонента" се користи да укаже на елемент и компонента.

- **Термички хомоген слој**, како слој со постојана дебелина, кој има термички својства кои може да се сметаат како единствени.

Ознаки и единици:

- A - Површина, m^2
- d - Дебелина (на слој), m
- h - Коефициент на пренос на топлина, $W/(m^2 \cdot K)$
- R - Проектен топлински отпор со кондукција (од една до друга површина), $m^2 \cdot K/W$
- R_g - Топлински отпор на воздушен слој, $m^2 \cdot K/W$
- R_{Se} - Топлински отпор на површина од надворешна страна, $m^2 \cdot K/W$
- R_{Si} - Топлински отпор на површина од внатрешна страна, $m^2 \cdot K/W$
- R_T - Вкупен топлински отпор (од една до друга флуидна средина), $m^2 \cdot K/W$
- R'_T - Горна граница на вкупен топлински отпор, $m^2 \cdot K/W$
- R''_T - Долна граница на вкупен топлински отпор, $m^2 \cdot K/W$
- R_u - Топлински отпор на незагреан простор, $m^2 \cdot K/W$
- U - Коефициент на премин на топлина, $W/(m^2 \cdot K)$
- λ - Проектен коефициент на спроведување на топлина, $W/(m \cdot K)$

Принципи

Пресметка на коефициенти на премин на топлина U за архитектонско-градежни конструкции од објекти, вообичаено се реализира за **стационарна состојба и при линеарен премин на топлина.**

Генерално, за пресметка на коефициенти на премин на топлина кај архитектонско-градежни елементи и конструкции :

- Се дефинираат топлинските отпори за хомогените слоеви од поодделните делови од архитектонско-градежните елементи и конструкции,
- Со комбинирање на топлинските отпори за хомогените делови од конструкцијата, со земање во обзир и на конвективните коефициенти на пренос на топлина за граничните површини, се пресметнуваат вкупните топлински отпори за конструкцијата.

Принципи

На начин кој се наведува во Стандардот, можат да се дефонираат и пресметнуваат коефициентите на премин на топлина за различни **хомогени, нехомогени и сложени конструкции**.

Особености кај поодделни случаи кои отстапуваат од вообичаените се наведуваат во Стандардот.

ЗАБЕЛЕШКА: За пресметки на вредности за топлински протоци, обично се користи внатрешна оперативна температура и температура на надворешниот воздух, соодветни за намената на пресметките.

Топлинска отпори

Топлински отпори кај хомогени слоеви

Топлински отпор на слој, се пресметнува, спрема :

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

каде :

d - е дебелината на слој од материјалот во компонентата, m
 λ - проектен коефициент на спроведување на топлина за материјалот, пресметан спрема ISO 10456, или добиен како табеларна вредност .

Коефициенти на пренос на топлина

(Површински топлински отпори)

- Вредностите од Табелата, се користат за рамни паралелни површини, кога нема конкретни информации за граничните услови .
- Вредностите под " хоризонтално" се однесуваат за правец на топлински протоци со отклон од $\pm 30^\circ$ од хоризонталната рамнина.
- Во Стандардот се наведени и процедури кои може да се користат за непаралелни рамни површини, или за специфични гранични услови.

Вообичаени вредности на топлински отпори за гранични површини (ISO 6946)

Топлински отпор на површина	Смер на топлински поток		
	Кон горе	Хоризонтално	Кон долу
$m^2 K / W$			
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Топлински отпори кај воздушни слоеви

Применливост (Ограничувања)

Вредностите за топлински отпори кај воздушни слоеви, кои се наведуваат како табеларни вредности, се применуваат за воздушен слој, кој се граничи со две паралелни страни, нормални на правецот на топлинскиот проток и кои имаат коефициент на емисија не помал од 0,8, има дебелина (во насока на топлински проток) помала од 0,1 пати од секоја од другите две димензии, и не поголема од 0,3 m, . Воздухот нема размена со внатрешната средина.

- Ако претходните услови не се применливи, се користат процедури наведени во Анекс.
ЗАБЕЛЕШКА: Повеќето градежни материјали имаат коефициент на емисија поголем од 0,8.
- За компоненти кои содржат воздушни слоеви со дебелина поголема од 0,3 m , не се пресметнуваат топлински отпори.
 - Во такви случаи, се врши пресметка на топлинските протоци, со поставување на топлински биланс (да се види ISO 13789).

Невентилирани воздушни слоеви

Невентилиран воздушен слој е таков слој, каде нема проток на воздух низ него.

Проектни вредности за топлински отпори кај воздушни слоеви, дадени се табеларно.

Вредностите под " хоризонтално" се однесуваат за правец на топлински протоци со отклон од $\pm 30^\circ$ од хоризонталната рамнина

Воздушен слој без изолација помеѓу него и опкружувањето, но со мали отвори за надворешната средина, исто така се смета како непроветрен воздушен слој ако овие отвори не се наредени за да се овозможи проток на воздух низ слојот и не надминуваат :

- 500 mm^2 по метар должина (во хоризонтална насока) за вертикални воздушни слоеви,
- 500 mm^2 по квадратен метар површина за хоризонтални воздушни слоеви.

Дебелина на слој, mm	Топлински отпори од конвекција, $\text{m}^2\text{K/W}$		
	Смер на пренос на топлина		
	Кон горе	Хоризонтално	Кон долу
0	0	0	0
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

Напомена: Меѓувредности се добиваат со линеарна интереполација

Слабо вентилирани воздушни слоеви

Слабо вентилиран воздушен слој, е таков слој, во кој низ него постои ограничен проток на воздух од надворешната средина, низ отворите со површина A_v , во рамки на следните граници:

- $A_v > 500 \text{ mm}^2$ но $< 1\,500 \text{ mm}^2$ по метар должина (во хоризонтална насока) за вертикални воздушни слоеви,
- $A_v > 500 \text{ mm}^2$, но $< 1\,500 \text{ mm}^2$ по квадратен метар површина за хоризонтални воздушни слоеви.

Ефектот на вентилација зависи од големината и дистрибуцијата на отворите за вентилација. Како апроксимација, вкупниот топлински отпор на компонента со слабо вентилиран воздушен слој, може да се пресмета, како :

$$R_T = \frac{1500 - A_v}{1000} \cdot R_{T,u} + \frac{A_v - 500}{1000} \cdot R_{T,v}$$

каде

$R_{T,u}$ - Вкупен топлински отпор на невентилиран слој од воздух,

$R_{T,v}$ - Вкупен топлински отпор на добро вентилиран слој од воздухот,

A_v – Површина на отвор

Добро вентилирани воздушни слоеви

Добро вентилирани воздушен слој е оној слој за кој плоштината на отворот A_v помеѓу воздушниот слој и надворешниот простор е:

- $A_v > 500 \text{ m}^2$ по метар должина (во хоризонтален смер) за вертикални воздушни слоеви,
- $A_v > 500 \text{ m}^2$ по m^2 од плоштината, за хоризонтални воздушни слоеви.

За пресметка на вкупен топлински отпор на градежниот дел кој содржи добро вентилиран воздушен слој, се занемарува топлинскиот отпор за самиот воздушен слој и сите останати слоеви кон надвор, а коефициентите за пренос на топлина се земаат како за мирен воздух. За поедноставување, може да се земе вредноста на коефициентите за пренос на топлина од внатрешна страна (спрема вредности наведени во Табела).

Топлински отпори кај негреани простори

Ако надворешната обвивка на негреан простор не е топлински изолирана, можат да се применат упростени методи, каде негреаниот простор се третира као топлински отпор

Тавански простори

За покривна конструкција која се состои од рамен, изолиран таван и кос покрив, може да се претпостави дека таванскиот простор е термички хомоген слој, со топлински отпор наведен во Табела.

Карактеристики на покрив		R_u $m^2 \cdot K/W$
1	Покрив од герамиди, без кровна лепенка, плочи за оплата и сл.	0.06
2	Покрив од плочи, или покрив од герамиди, со секундарен покрив од паропропусна водонепропусна фолија, или сл.	0.2
3	Како 2 (погоре), но со алуминиумска облога, или друга облога мала емисивност на долната страна од покривот	0.3
4	Кров поставен со плочи за оплата, во комбинација со паропропусна фолија, кровна лепенка и сл.	0.3
ЗАБЕЛЕШКА Вредностите во Табелата, вклучуваат топлински отпор на вентилиран простор и топлински отпор на кос кров. Не се вклучени топлински отпори на пренос на топлина од надворешна страна (R_{Se}).		

Податоците во Табелата се однесуваат за природно вентилирани тавански простори над греани простори. За механички вентилирани, се користи детална постапката (спрема ISO 13789), земајќи го таванскиот простор како негреан простор, со одреден обем на вентилација .

Вкупни топлински отпори

Вкупен топлински отпор на компонента од зграда составена од хомогена слоеви

Вкупен топлински отпор на компонента од зграда составена од хомогени слоеви, поставени нормално на протокот на топлина се пресметува спрема :

$$R_T = R_{Si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{Se}$$

каде :

R_{Si} - Коэффициент на пренос на топлина од внатрешна страна, m^2K/W

R_1, R_2, \dots, R_n - Проектни коефициенти на спроведување на топлина за поодделните слоеви, m^2K/W

R_{Se} - Коэффициент на пренос на топлина од надворешна страна, m^2K/W

Резултатите од пресметките се заокружуваат на втора децимала.

Вкупни топлински отпори на компонента од зграда составена од хомогени и нехомогени слоеви

Во Стандардот се наведува упростен начин за пресметка на топлински отпори кај градежни елементи кои се составени од хомогени и нехомогени слоеви.

- Методот не може да се примени кога односот на горната и долната гранична вредност на топлинскиот отпор ја преминува вредноста од 1.5.
- Методот не е применлив во случаи кај топлински мостови од метал, кои преминуваат низ слој од топлинска изолација.
- Кај примена на метални елементи за прицврстување или анкери, методот може да се примени како да нема метални спојни средства, а резултатите се корегираат.

Вкупен топлински отпор на градежна компонента

- Вкупниот топлински отпор R_T на градежна компонента, составена од термички хомогени и термички нехомогени слоеви, поставени паралелно на површината, се пресметува како аритметичка средина од горната и долната граница на топлинските отпори :

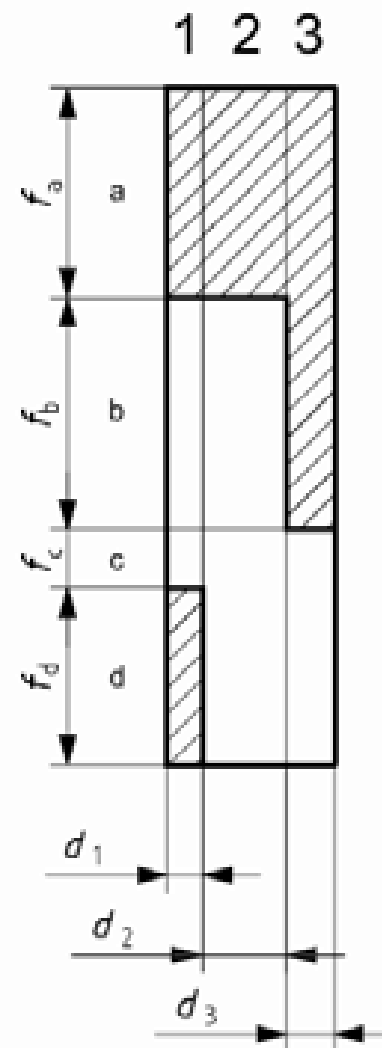
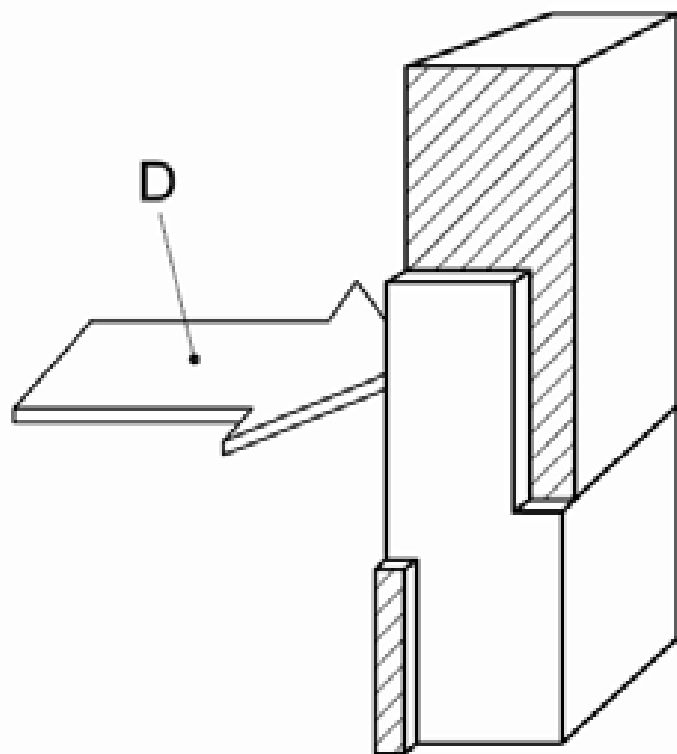
$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2}$$

каде :

R_T' - е горната граница на вкупниот топлински отпор,

R_T'' - е долната граница на вкупниот топлински отпор.

Вкупен топлински отпор на градежна компонента



Горна граница на вкупниот топлински отпор

- Горната граница на вкупниот топлински отпор R'_T , се утврдува со претпоставка за едно-димензионален топлински проток нормално на површината на компонентата. Се пресметнува, спрема :

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_q}{R_{Tq}}$$

каде :

- $R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Tq}$ - Вкупен топлински отпор од површина до површина (внатре-надвор)
- f_a, f_b, \dots, f_q - Удели на секоја секција поодделно.

Долна граница на вкупниот топлински отпор

Долната граница на вкупниот топлински отпор, R''_T се утврдува со претпоставка дека сите рамнини, паралелни со површините на компонентата, се *изотермни површини*.

Еквивалентен топлински отпор R_j , за секој термички нехомоген слој, се пресметнува, спрема :

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{a,j}} + \frac{f_b}{R_{b,j}} + \dots + \frac{f_q}{R_{q,j}}$$

Долна граница, се пресметнува, спрема :

$$R''_T = R_{Si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{Se}$$

Проценка на грешка

Максимална релативна грешка (во %), кога се користи ваква претпоставка :

$$e = \frac{R_T' - R_T''}{2 \cdot R_T} \cdot 100$$

Вистинската грешка е обично многу помала од максималната

Пресметки на топлински отпори за други услови

Ако површина која не е рамна се граничи со воздух, пресметката треба да се спроведе како да е рамна, со претпоставка дека потесните отсечоци се продолжени (без промена на топлинскиот отпор),



или деловите кои стрчат дека се отстранети (со смалување на топлинскиот отпор).



Коефициент на премин на топлина

- Коефициент на премин на топлина, се пресметнува, спрема :

$$U = \frac{1}{R_T}$$

- Корекции, услови и критериуми за корекции, се наведуваат во Анекс.
- Ако вкупната вредност за корекција е помала од 3% од вредноста на **U**, корекции не се вршат.
- Резултатот се заокружува на две децимали. Воедно и влезните податоци, кои се користат во пресметките, се наведуваат со две децимали.

Анекс

Коефициенти на пренос на топлина – Рамни површини

Вкупен коефициент на пренос на топлина (комбиниран од конвекција и зрачење) :

$$R_s = \frac{1}{h_c + h_r}$$

Каде :

h_c – коефициент на пренос на топлина со конвекција (W/m^2K);
 h_r - коефициент на пренос на топлина со зрачење (W/m^2K).

$$h_r = \varepsilon \cdot h_{r0} \quad [W/(m^2K)]$$

$$h_{r0} = 4 \cdot \sigma \cdot T_m^3 \quad [W/(m^2K)]$$

Ознаки:

- ε – коефициент на емисија на површината, (-),
- h_{r0} - коефициент на пренос на топлина со зрачење на црно тело
- σ - Stefan-Boltzmann-ова константа ($5,67 \times 10^{-8} W/(m^2K)$),
- T_m - средна температура на површината и околината (K)

Анекс

Коефициенти на пренос на топлина – Рамни површини

*Вредности на коефициенти на зрачење
за апсолутно црно-тело, h_{r0}*

Температура °C	h_{r0} $W/(m^2 \cdot K)$
-10	4,1
0	4,6
10	5,1
20	5,7
30	6,3

За внатрешни површини, или за надворешни површини во непосредна близина на добро проветрени воздушни слоеви :

$$h_c = h_{ci}$$

каде :

- $h_{ci} = 5,0 W/(m^2 \cdot K)$ за топлински поток кон горе,
- $h_{ci} = 2,5 W/(m^2 \cdot K)$ за топлински поток - хоризонтално,
- $h_{ci} = 0,7 W/(m^2 \cdot K)$ за топлински поток кон долу.

Анекс

Коефициенти на пренос на топлина – Рамни површини

За надворешни површини :

$$h_c = h_{ce}$$

$$h_{ce} = 4 + 4 \cdot v$$

каде :

- v - брзина на ветерот во непосредна близина на површината, во m/s.

Вредности на надворешен површински отпор, R_{se} , за различни брзини на ветер

Брзина на ветер, m/s	R_{se} $m^2 \cdot K / W$
1	0,08
2	0,06
3	0,05
4	0,04
5	0,04
7	0,03
10	0,02

Забелешка :

Вредностите за внатрешен површински отпор се пресметуваат за $\varepsilon = 0,9$ ($t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$)

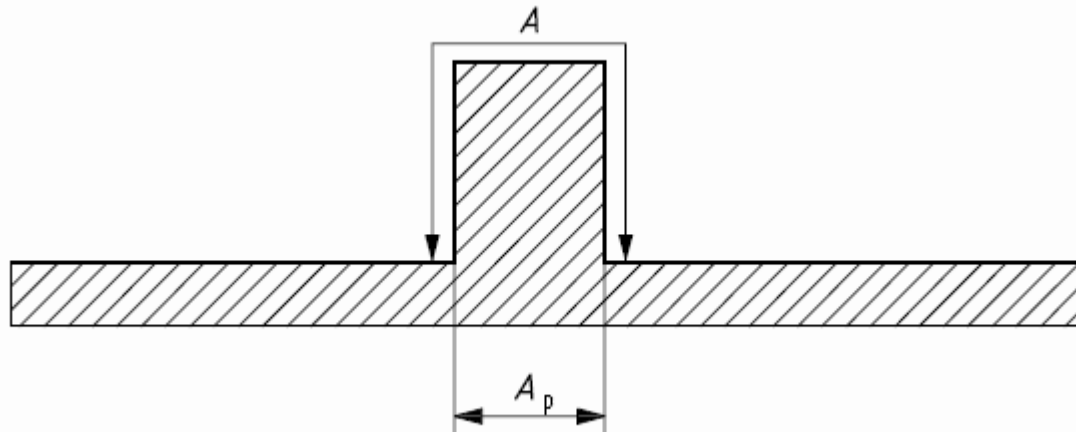
Вредностите за надворешен површински отпор се пресметуваат за $\varepsilon = 0,9$ ($t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $v = 4 \text{ m/s}$)

Анекс

Градежни елементи со површини кои не лежат во една рамнина

$$R_{sp} = R_s \cdot \frac{A_p}{A}$$

- R_{sp} – Коефициент на пренос на топлина на рамен градежен дел, m^2K/W ;
- R_s - Коефициент на пренос на топлина на проектирана површина на испакнатиот дел, m^2K/W ;
- A_p, A – Површини (спрема слика), m^2 .



Анекс

Невентилирани воздушни простори со должина и ширина со повеќе од 10 дебелени

Топлински отпор на пренос на топлина (комбиниран од конвекција и зрачење) :

$$R_s = \frac{1}{h_a + h_r}$$

$$h_r = E \cdot h_{r0}$$

каде :

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

Ознаки:

- h_a - коефициент на пренос на топлина со кондукција/конвекција, (W/m^2K);
 - h_{r0} - коефициент на пренос на топлина со зрачење за апсолутно црно тело, (W/m^2K).
 - $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – коефициенти на емисија за оградувачките површини, -
- *** Вредностите во Табелата се пресметани со $\varepsilon_1 = 0,9$; $\varepsilon_2 = 0,9$ (за $t = 10$ °C).

Анекс

Невентилирани воздушни простори со должина и ширина со повеќе од 10 дебелени

Конвективни коефициенти на пренос на топлина за температурна разлика $\Delta T < 5K$

Конвективни коефициенти на пренос на топлина за температурна разлика $\Delta T > 5K$

Правец на топлински поток	h_a $W/(m^2 \cdot K)$
Хоризонтално	1,25
Кон горе	1,95
Кон долу	$0,12 \times d^{-0,44}$

Правец на топлински поток	h_a $W/(m^2 \cdot K)$
Хоризонтално	$0.73 \times (\Delta T)^{1/3}$
Кон горе	$1.14 \times (\Delta T)^{1/3}$
Кон долу	$0.09 \times (\Delta T)^{0.187} \times d^{-0,44}$

Анекс

Вентилирани воздушни простори со должина и ширина со повеќе од 10 дебелени

За малку вентилирани воздушни слоеви, се користи постапката наведена претходно за **слабо вентилирани воздушни слоеви.**

За добро вентилирани воздушни слоеви , се користи постапката наведена претходно за **добро вентилирани воздушни слоеви.**

Анекс

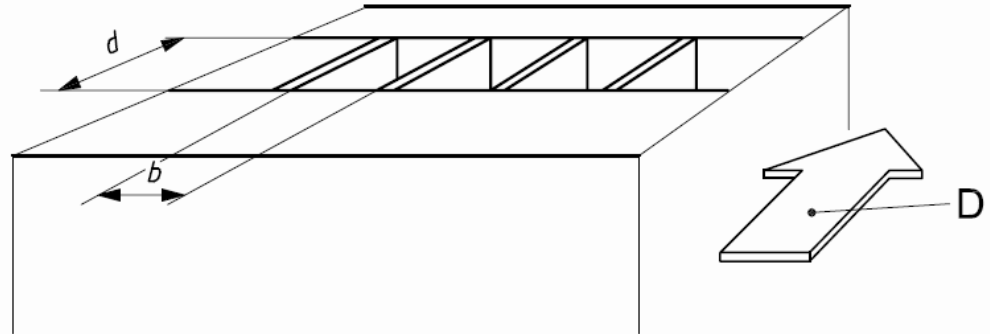
Мали и разделени невентилирани воздушни слоеви (воздушни пори)

Ознаки :

b - Ширина на воздушен простор

d - Дебелина на воздушен простор

D – Смер на топлински проток



Мал воздушен простор со ширина 10 пати помала од нејзината дебелина.

Топлински отпор на воздушен простор, R_g :

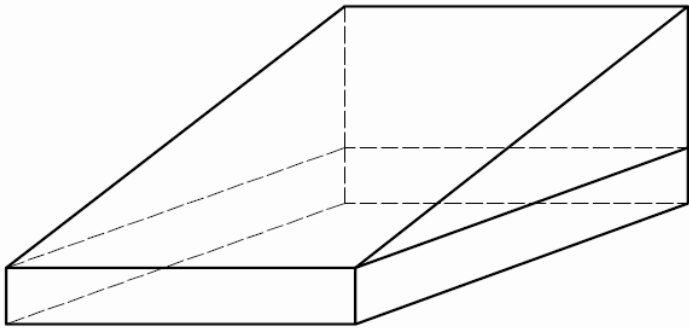
$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r}$$

каде :

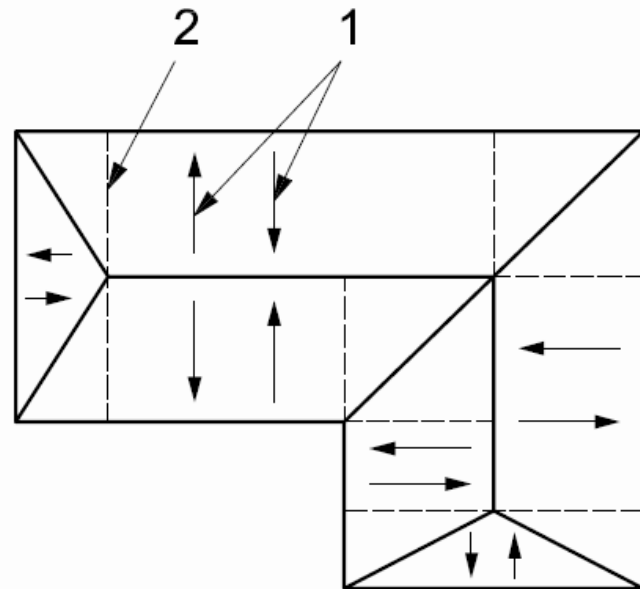
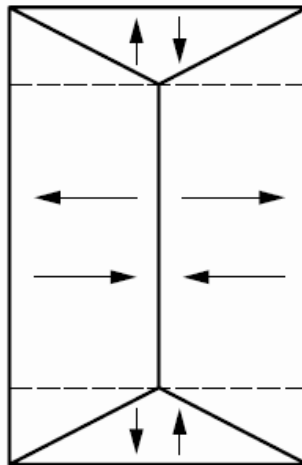
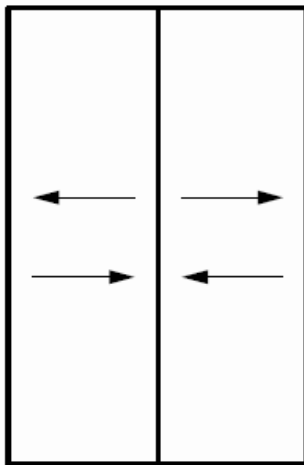
$$h_r = \frac{h_{r0}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 2 + \frac{2}{\left(1 + \sqrt{1 + \frac{d^2}{b^2}} - \frac{d}{b}\right)}}$$

Анекс

Коефициенти на премин на топлина за градежни елементи со слоеви кои се стеснуваат (слоеве со наклон)



Кај градежни елементи кои се стеснуваат, заради промена на геометријата, во различни точки, се менува и топлинскиот отпор на елементот.



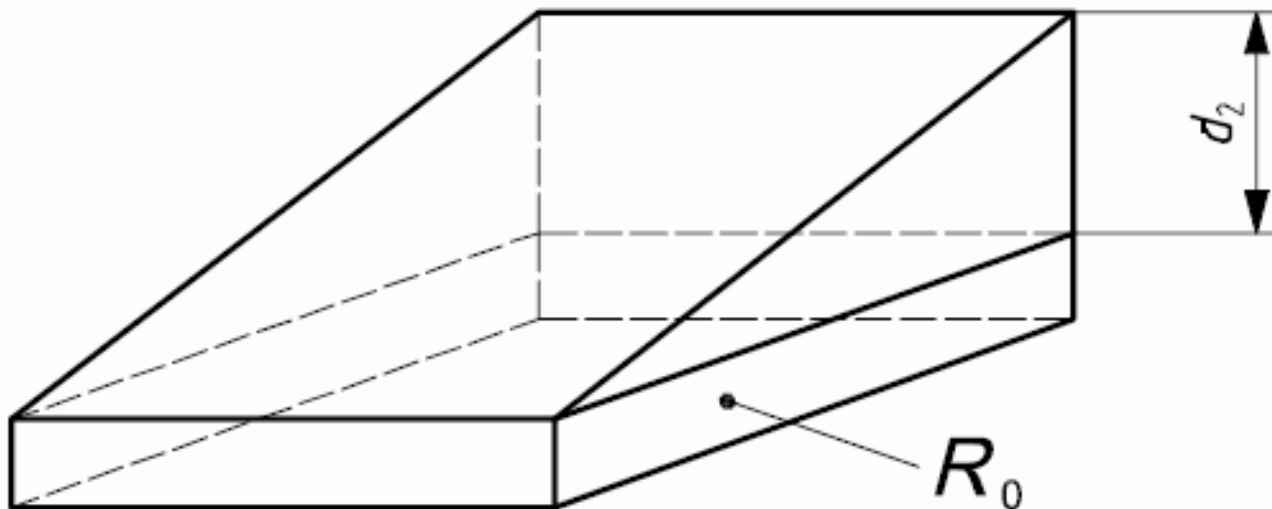
Анекс

Коефициенти на премин на топлина за градежни елементи со слоеви кои се стеснуваат

Ознака	Големина	Единица мерка
d_1	Средна дебелина на слојот кој се стеснува	m
d_2	Најголема дебелина на слојот кој се стеснува	m
R_0	Проектна вредност на топлински отпор од преостанати слоеви, вклучувајќи го и преносот на топлина од двете страни	m^2K/W
R_1	Просечна вредност на топлински отпор на слојот кој се стеснува	m^2K/W
R_2	Најголема вредност на топлински отпор на слојот кој се стеснува	m^2K/W
λ	Проектна вредност на коефициентот на спроведување на топлина на слојот кој се стеснува (со дебелина нула на крајот)	$W/(mK)$

Анекс

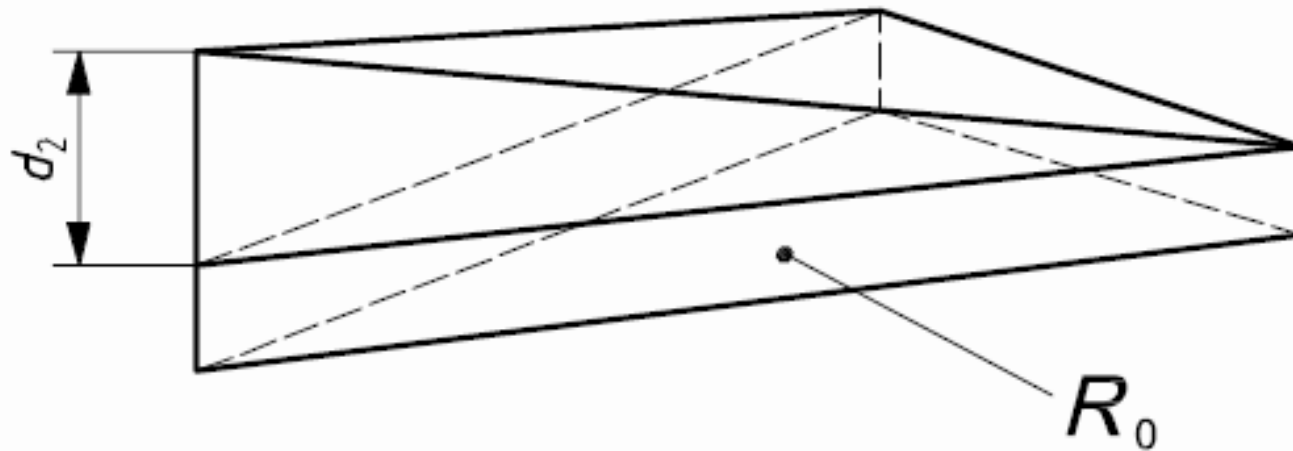
Коефициенти на премин на топлина за правоаголна површина



$$U = \frac{1}{R_2} \cdot \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right)$$

Анекс

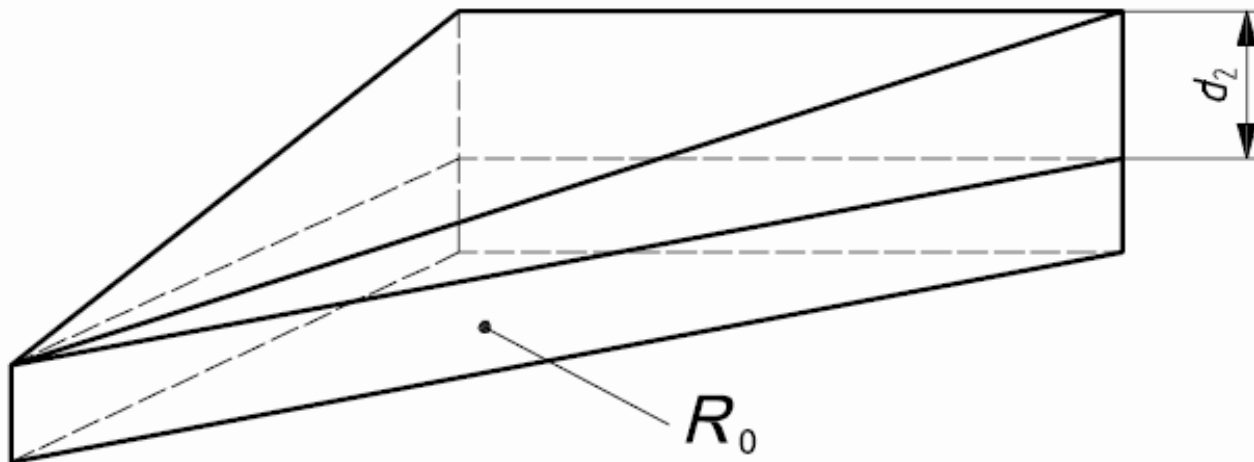
Коефициенти на премин на топлина за триаголна површина најдебела на врвот



$$U = \frac{2}{R_2} \cdot \left[\left(1 + \frac{R_0}{R_2} \right) \cdot \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) - 1 \right]$$

Анекс

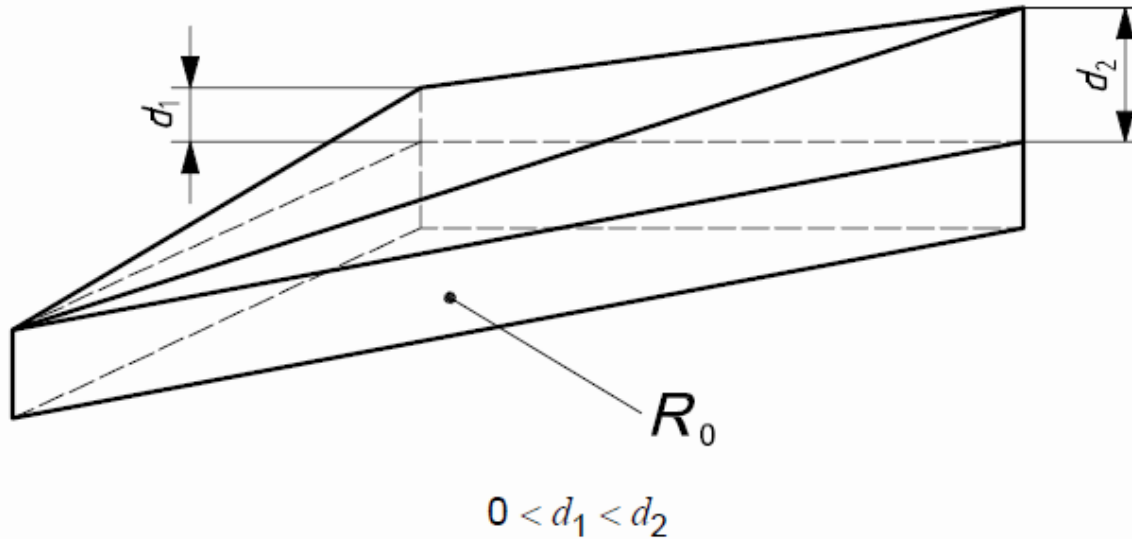
Коефициенти на премин на топлина за триаголна површина најтенка на врвот



$$U = \frac{2}{R_2} \cdot \left[1 - \frac{R_0}{R_2} \cdot \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) \right]$$

Анекс

Коефициенти на премин на топлина за триаголна површина со различна дебелина во секое теме



$$U = 2 \cdot \left[\frac{R_0 \cdot R_1 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_0}\right) - R_0 \cdot R_2 \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_0}\right) + R_1 \cdot R_2 \cdot \left(\frac{R_0 + R_2}{R_0 + R_1}\right)}{R_1 \cdot R_2 \cdot (R_2 - R_1)} \right]$$

Коефициенти на премин на топлина

СТУДИЈА

“U-VALUES FOR BETTER ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS”, (www.eurima.org)

Врз основа на пресметки и анализи, во Студијата се наведуваат препораки за вредности на **U** за **ѕидови, тавани и подови**, за 100 различни градови во Европа. Во анализите се вклучени и **Скопје** и **Битола**.

Figure 34: Recommended U-values cost efficiency for walls, WEO reference

Коефициенти на премин на топлина

Препораки -Сидови-

Препораки за вредности на **U** за **сидови** за различни градови во Европа

(EURIMA - Студија)

Скопје - $U=0.25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Битола - $U=0.25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

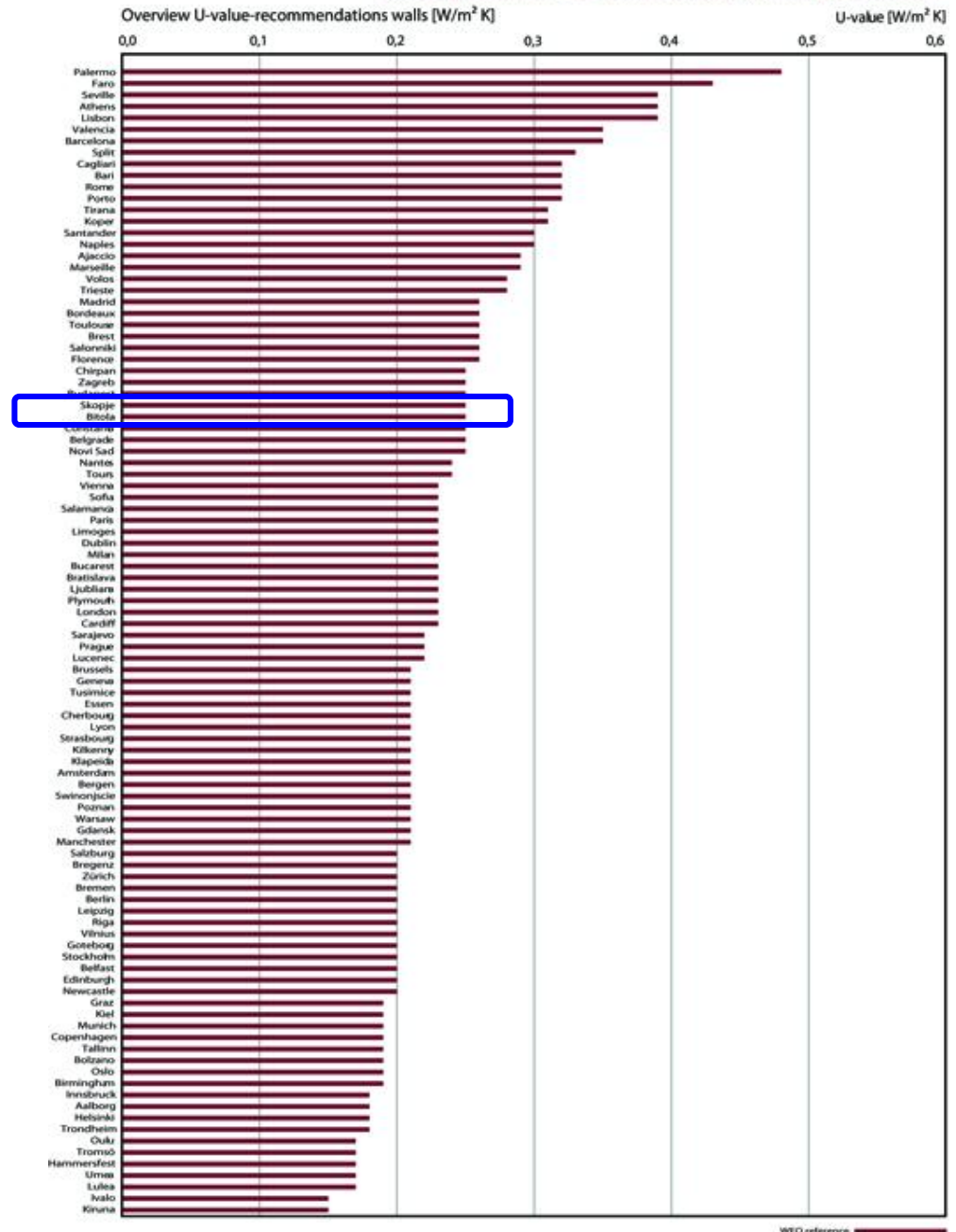


Figure 35: Recommended U-values cost efficiency for roofs, WEO reference

Коефициенти на премин на топлина

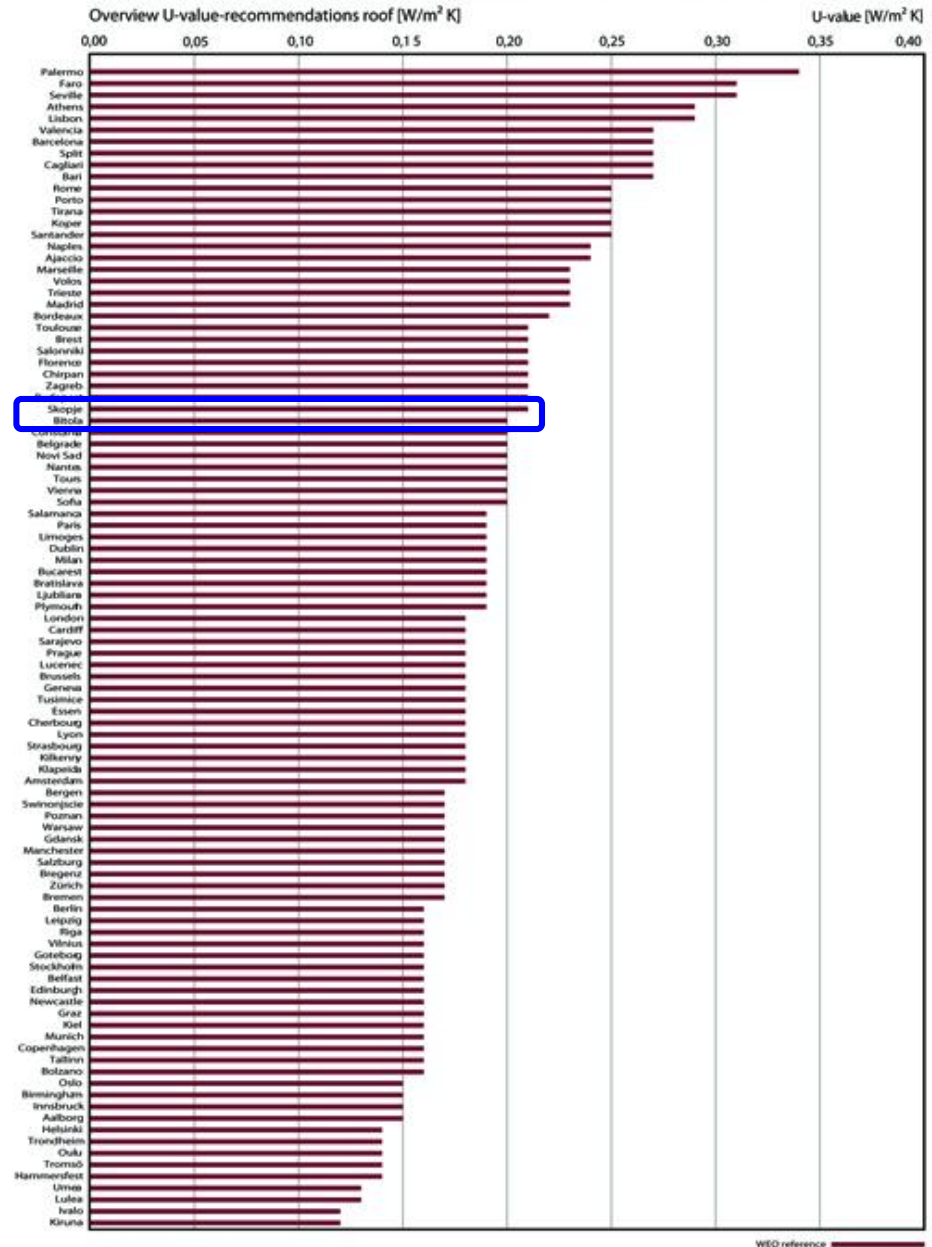
Препораки -Тавани-

Препораки за вредности на **U** за **тавани** за различни градови во Европа

(EURIMA - Студија)

Скопје - $U=0.22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Битола - $U=0.20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



Коефициенти на премин на топлина

Препораки -Подови-

Препораки за вредности на **U** за **подови** за различни градови во Европа

(EURIMA - Студија)

Скопје - $U=0.33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Битола - $U=0.33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Figure 36: Recommended U-values cost efficiency for floors, WEO reference

