

# ГРАДЕЖНА ФИЗИКА

## Размена на топлина



Обука за енергетски контролори



# Енергетска ефикасност

Зошто се воведува???

Загадување на животната средина  
Климатски промени  
Исцрпување на фосилните резерви

Голема енергетска побарувачка и потрошувачка



Што се постигнува???

Намалена енергетска интензивност  
Намалена емисија на стакленички гасови

Зголемено учество на обновливите извори на енергија

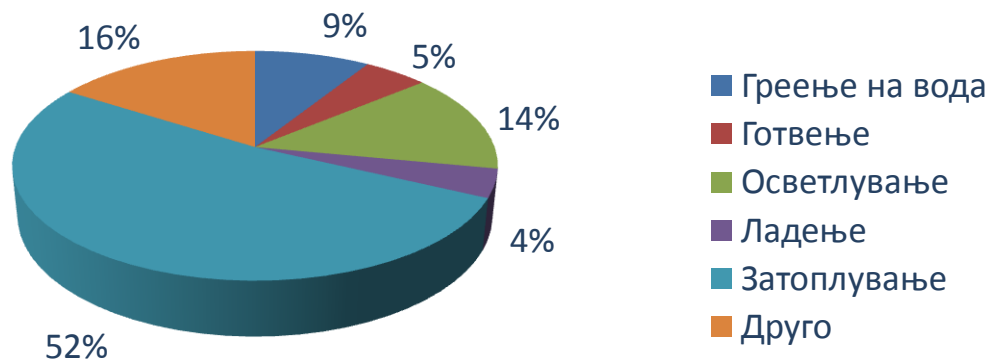
Допринос во поставените цели за одржлив  
развој

ГРАДЕЖНИШТВО

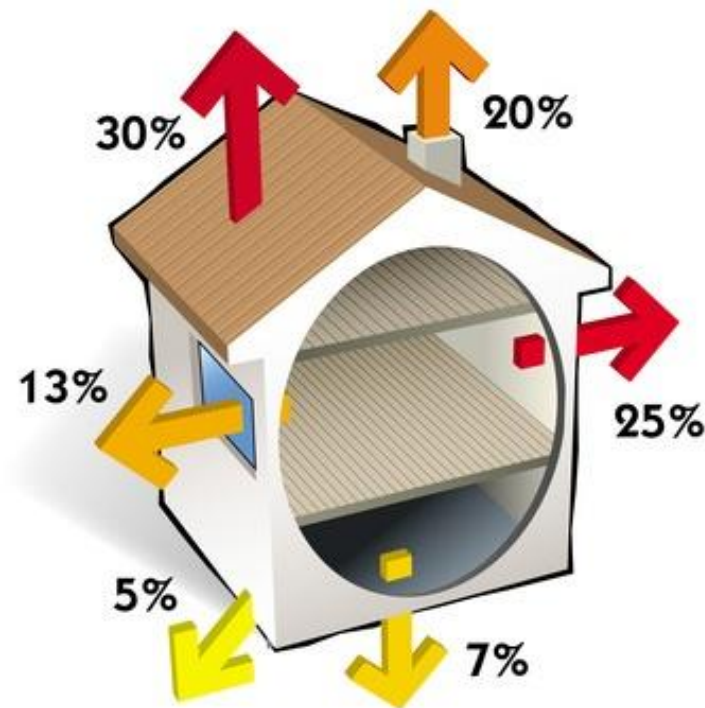
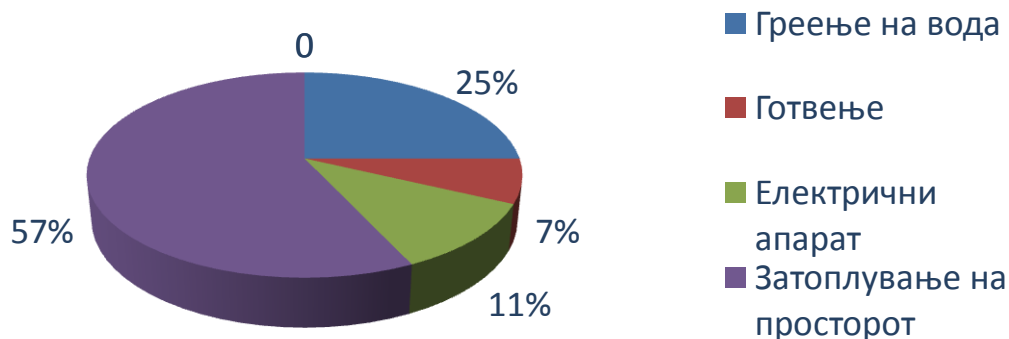
# ЕЕ на градежните објекти

## Обука за енергетски контролори

Потрошувачка на енергија во јавните објекти во ЕУ



Потрошувачка на енергија во стамбените објекти во ЕУ



ГРАДЕЖНИШТВО

# ЕЕ на градежните објекти

## □ Приоритети во иднина

ЕЕ објекти

Еколошки материјали кои можат да се рециклираат

Користење на обновливи извори на енергија

## □ Легални инструменти за постигнување на целите

Директива за енергетска ефикасност на згради чија основна цел е подобрување на енергетската ефикасност на заградите земајќи ги во предвид климатските и локалните услови, внатрешните климатски барања и економичноста.

Правилник за ЕЕ на градежните објекти на РМ

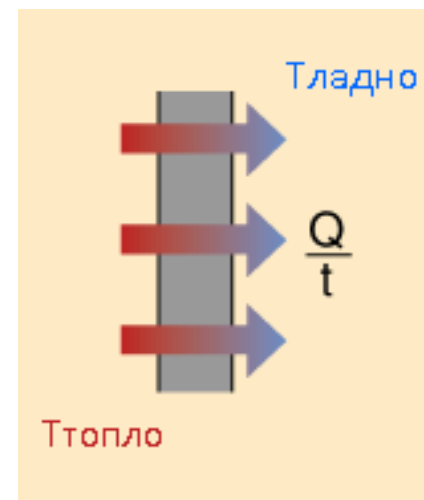
ГРАДЕЖНИШТВО

# Топлина и температура

- Температура е големина со која се мери отстапувањето од топлинската рамнотежа.
- Топлина е оној дел од внатрешната енергија на телата која поминува од едно на друго тело при изедначување на нивните температури, односно при воспоставување на топлинска рамнотежа.
- Топлината е резултат на кинетичката енергија на молекулите.

# Пренос на топлина

- Пренос на топлина представува предавање на топлинска енергија од материјална средина со повисока температура на материјална средина со пониска температура.
- Овој процес не може да се спречи, туку само може да се успори.



ГРАДЕЖНИШТВО

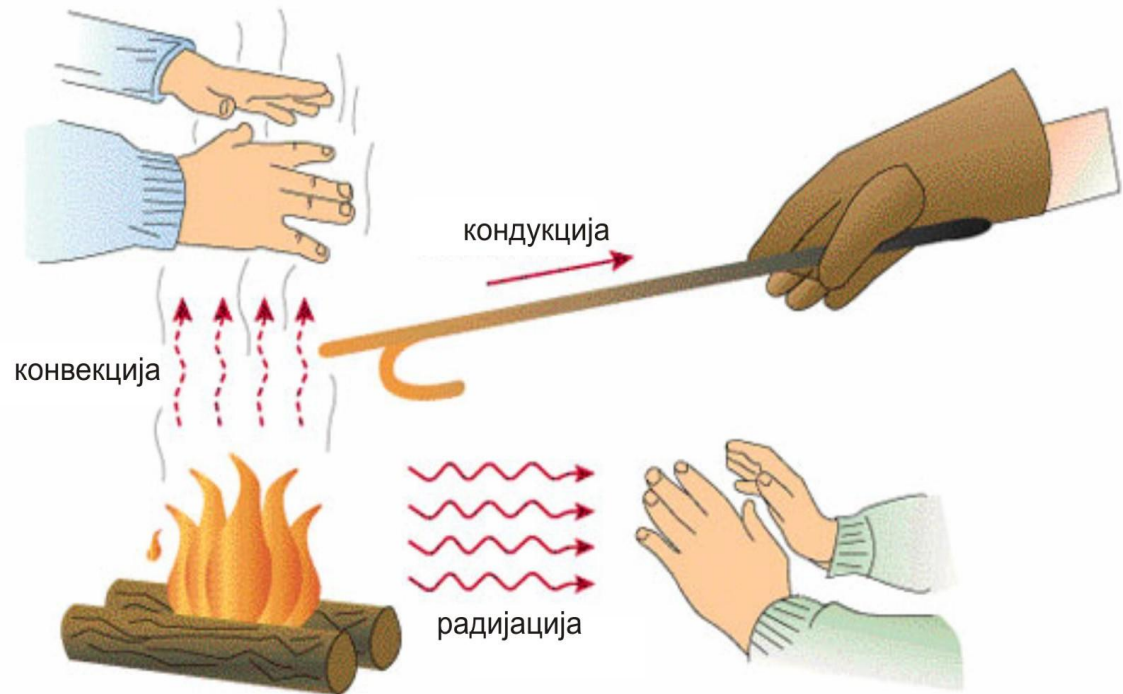
# Пренос на топлина

## □ Начини на пренос на топлина

Кондукција

Конвекција

Радијација



Овие процеси можат да се случат одделно, или заедно, во зависност од околностите но, еден од нив е секогаш доминантен.

ГРАДЕЖНИШТВО

# Кондукција

- Кондукција претставува механизам на трансфер на топлина низ цврсти материјали.
- Кондукција како процес претставува размена на кинетичка енергија на молекулите при нивните меѓусебни судири.
- При судир на молекулите доаѓа до размена на кинетичка енергија при што побрзите молекули кои имаат поголема кинетичка енергија и поголема топлина им предаваат дел од топлината на побавните молекули кои имаат пониска топлина.
- Кај металите овој процес е потпомогнат и со движењето на слободните електрони кои минуваат од еден атом во друг.
- Кај флуидите (течностите и гасовите) молекулите сè многу поподвижни но, судирите на молекулите се поретки поради големината на меѓумолекуларниот простор.

ГРАДЕЖНИШТВО



# Температурно поле

- Температурното поле ја дефинира температурата во секоја точка од телото во секој момент:

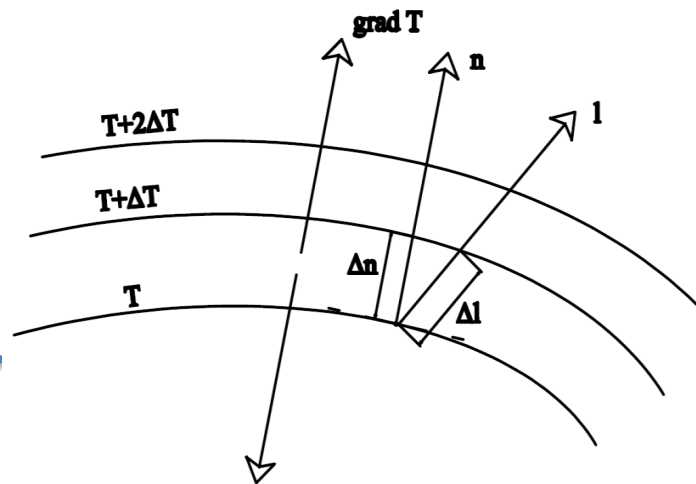
$$T = f(x, y, z, t)$$

каде:  $x, y, z$  – координати на точката,  $t$  – време

- Температурното поле може да биде стационарно (константно), кога не се менува со текот на времето, и нестационарно, кога е временски променливо.
- Стационарно температурно поле:
$$T = f(x, y, z)$$
- Нестационарно температурно поле:
$$T = f(x, y, z, t)$$

# ТЕМПЕРАТУРНО ПОЛЕ

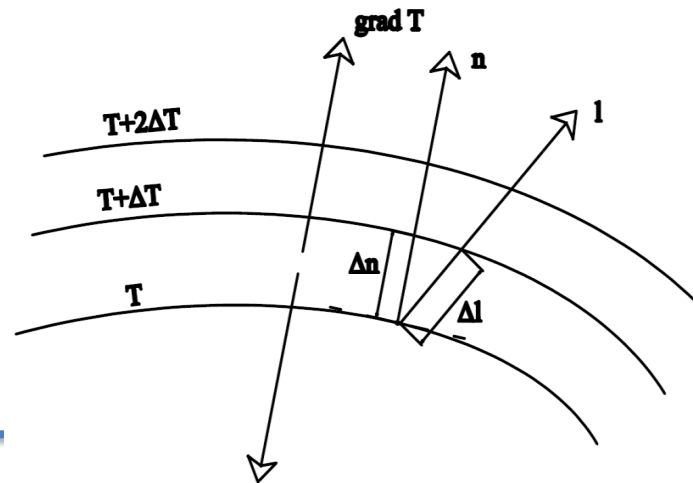
- Со поврзување на две или повеќе точки кои имаат иста температура се добиваат изотермини површини.
- Ако овие површини се пресечат со една рамнина ќе се добие фамилија на криви – изотерми.
- Во непрекинато температурно поле изотермините површини не се сечат помеѓу себе, бидејќи не е возможно во ист момент една точка да има две различни температури.



ГРАДЕЖНИШТВО

# Температурен градиент

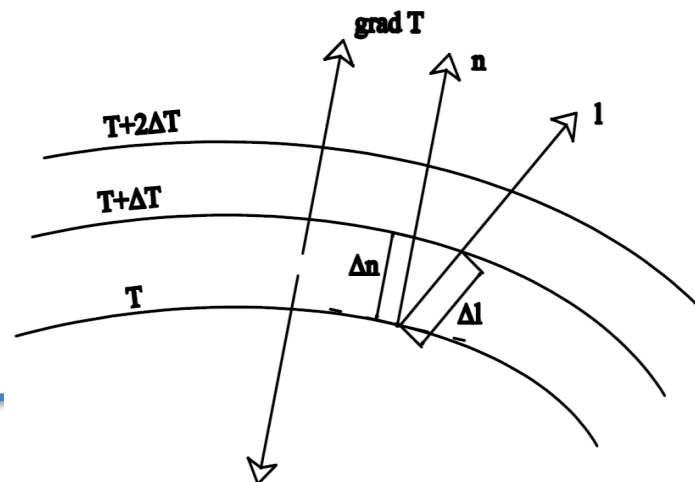
- Промена на температурата настанува само во правец кој ги сече изотермите. Најголема промена на температурата настанува во правецот нормален на изотермите.
- Температурен градиент е гранична вредност на односот меѓу прирастот на температурата  $\Delta T$  и растојанието  $\Delta n$  помеѓу две изотермни површини, а во правец на нивната нормала, кога тоа растојание тежи кон нула.



ГРАДЕЖНИШТВО

# Температурен градиент

- Температурниот градиент всушност покажува во кој правец и со колкав степен се менува температурата на дадено место, локација.
- Тој е насочен од изотермна површина со повисока кон изотермна површина со пониска температура.
- Колку се изотермите поблиску една до друга, толку е градиентот поголем.



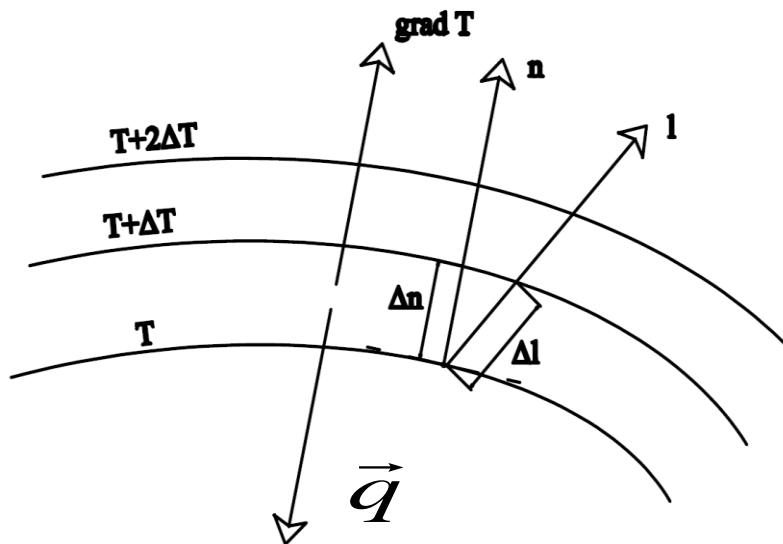
ГРАДЕЖНИШТВО

# Температурен градиент

За правоаголен координатен систем со температурно поле  $T=f(x,y,z,t)$  температурниот градиент е даден со р-ката:

$$\lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta T}{\Delta n} \right) = \left( \frac{\partial T}{\partial n} \right) = \text{grad } T = \vec{n}_0 \left( \frac{\partial T}{\partial n} \right) = \nabla T$$

$$\nabla T = \frac{\partial T}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial T}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial T}{\partial z} \vec{k}$$



ГРАДЕЖНИШТВО

# Топлински проток и густина на топ. проток

Топлински проток  $\Phi$  е количество на топлина која во единица време се пренесува низ материјалот.

$$\Phi = \frac{\partial Q}{\partial t} [W]$$

Густина на топлински проток  $q$  е топлински проток кој поминува низ единица површина од напречниот пресек на изотермните површини, односно количина на топлинска енергија која се пренесува низ единица површина во единица време. “ $q$ ” е векторска величина, со иста насока како и насоката на спроведување на топлина  $Q$ , и обратна насока од насоката на температурниот градиент, а интензитетот е :

$$q = \frac{\partial \Phi}{\partial A} = \frac{\Phi}{A} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

## Фуриеов закон

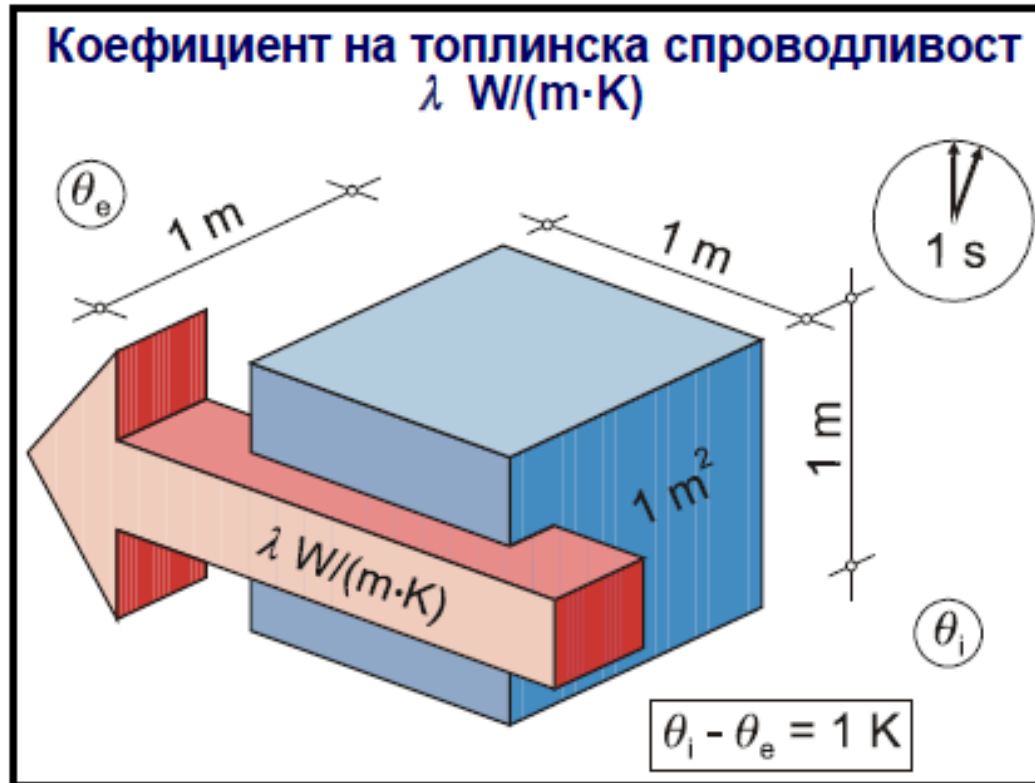
Законот за спроведување на топлина, или познат како Фуриеов закон, кажува дека елементарното количество на топлина  $\delta Q$ , кое во временски интервал  $dt$  поминува низ елементарна изотермна површина  $dA$  (**специфичен топлински проток  $q$** ) е пропорционално на температурниот градиент:

$$\vec{q} = \lambda \cdot \text{grad} T$$

Коефициентот на пропорционалност претставува **коефициент на топлинска спроводливост  $\lambda$**  и може да се претстави со следнава релација:

$$\lambda = \frac{|\vec{q}|}{|\text{grad} T|} [W / mK]$$

## Коефициент на топлинска спроводливост $\lambda$





Коефициент на топлинска спроводливост  $\lambda$ Вредности  $\lambda$  на некои материјали

Материјал	$W/(m \cdot K)$
Полиуретан (PU)	0,035
Стиропор (експандиран - EPS или екструдирани - XPS полистирен)	0,033 – 0,040
Минерална и стаклена волна	0,040
Плута	0,040
Порофен (фенолни плочи)	0,040
Дрвена волна (“Хераклит“)	0,080 – 0,140
Перлитен малтер	0,130
Гас - бетон (“Сипорекс“, “Ytong“)	0,140 – 0,190
Блокови од згура - бетон	0,520 – 0,640
Керамички блок - тула со шуплини	0,520 – 0,610
Полна тула	0,470 – 0,760
Бетон	0,930 – 2,330
Метали	35,00 – 380,0

## Коефициент на топлинска спроводливост $\lambda$

- Коефициентот на топлинска спроводливост  $\lambda$  се определува експериментално. Кај цврстите тела зависи од температурата, а кај флуидите и од густината и притисокот.
- Од сите средини, не сметајќи го безвоздушниот простор, најмала топлинска спроводливост има воздухот, особено кога е затворен во порите на материјалот,  $\lambda=0.023$  [W/mK]]. Поради таа голема термоизолациона способност, односно мал коефициент на спроводливост на топлина, имаат материјалите со висок степен на порозност, голема содржина на затворени пори со мали димензии.
- Кога порите се со големи димензии и поврзани помеѓу себе доаѓа до движење на воздухот во нив, со што се зголемува спроводливоста на топлина.
- Коефициентот на топлинска спроводливост расте со зголемување на волуменската маса (компактни материјали) т.е. опаѓа со зголемување на порозноста.

ГРАДЕЖНИШТВО

- Истиот расте со зголемувањето на влажноста на материјалите, бидејќи водата што навлегла во порите го истиснува воздухот од нив, а водата има 25 пати поголем коефициент на топлинска спроводливост од воздухот.
- Кај термоизолационите материјали  $\lambda < 0.065$  [W/mK], а кај останатите градежни материјали  $\lambda = 0.020 - 3.0$  [W/mK]. Кај металите  $\lambda = 3 - 460$  [W/mK] и со порастот на температурата се намалува.
- Кај течностите  $\lambda = 0.05 - 0.08$  [W/mK] и со пораст на притисокот се зголемува, а со пораст на температурата се намалува. Исклучок е водата кај која со пораст на температурата од  $0^\circ\text{C}$  до  $150^\circ\text{C}$  коефициентот на топлопроводност  $\lambda$  се зголемува, а потоа со пораст на температурата над оваа граница,  $\lambda$  се намалува.
- Кај гасовите  $\lambda = 0.006 - 0.06$  [W/mK] и кај нив промената на притисокот нема големо влијание на  $\lambda$ , а со пораст на температурата се зголемува.

## Коефициент на топлинска спроводливост $\lambda$

Со експериментални испитувања утврдено е дека кај цврстите тела коефициентот на топлинска спроводливост се менува линеарно со порастот на температурата:

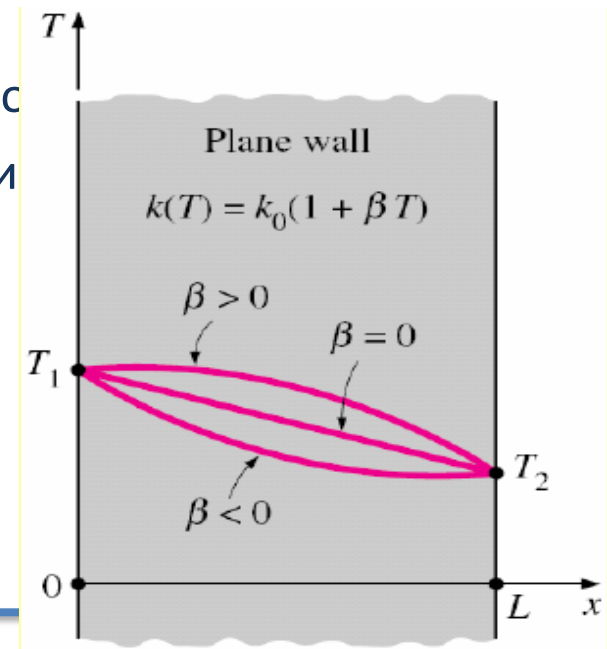
$$\lambda = \lambda_0 [1 + b(T - T_0)]$$

$\lambda$  – коефициент на топлинска спроводливост при почетна температура  $T_0$

$T$  – температура за која се пресметува  $\lambda$

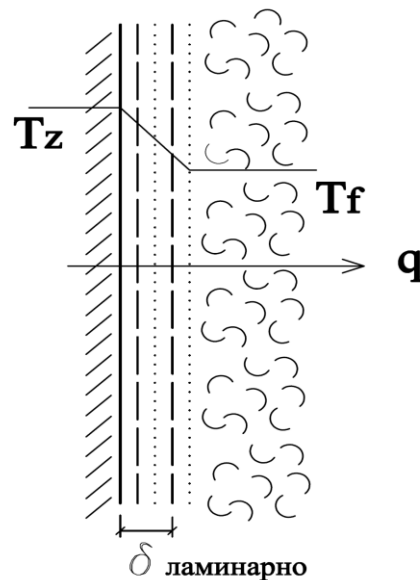
$b$  – експериментално дефиниран коефициент

Кога коефициентот на топлинска спроводливост  $\lambda$  не зависи од температурата тогаш за проблемот велиме дека е **линеарен**, а ако неговата вредност се менува со промена на температурата, проблемот е **нелинеарен**.



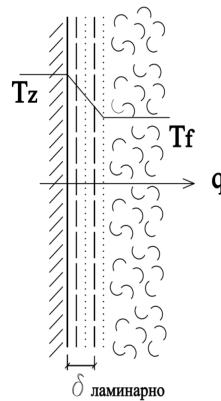
# Конвекција

Конвекцијата е трансфер на топлина кој се јавува како резултат на движење на флуид (течност или гас) покрај цврста површина.



ГРАДЕЖНИШТВО

# Конвекција

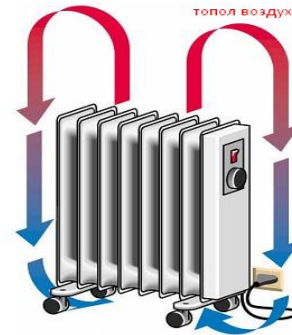
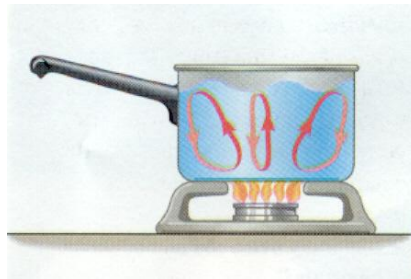


- Во зависност од температурата на цврстото тело и флуидот, еден од нив ќе предава (потоплиот), а другиот (поладниот) ќе прима топлинска енергија.
- Колку е поголема брзината на движење на флуидот толку повеќе се зголемува конвекцијата.
- Предуслов за конвекција е да постои турбулентно струење во флуидот за да се оствари мешање на честичките од потоплите кон поладните слоеви и обратно. При ламинарно струење честичките се движат по паралелни патеки и на тој начин честичките на флуидот не се мешаат.
- При турбулентно движење коефициентот на спроведување е поголем, а при ламинарно движење е помал. Колку е подебел ламинарниот слој толку е поголем и термичкиот отпор и се постигнува поголем пад на температурата.

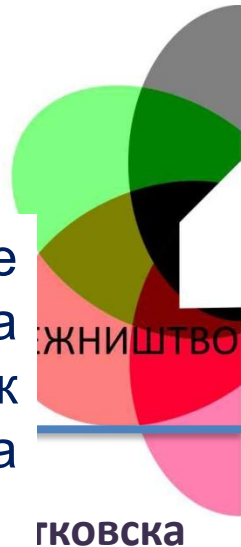
ГРАДЕЖНИШТВО

# КОНВЕКЦИЈА

- **Природна конвекција** настанува кога движењето на флуидот е под дејство на гравитационите сили. Овој трансфер на топлина настанува како резултат на циркулација на флуидот поради промена на густината при негово загревање или ладење. Пример на природна конвекција е движењето на топлиот воздух нагоре, предизвикано од загреани предмети.



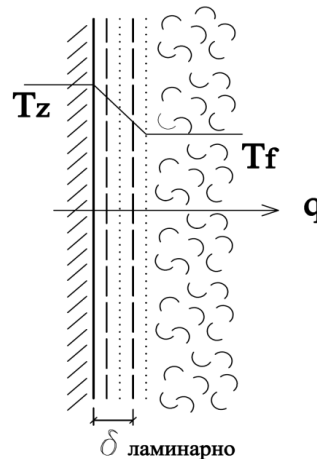
- **Принудна конвекција** е трансфер на топлина преку движење на флуидите при дејство на надворешни влијанија, како пумпа или вентилатор, поради разлика во притисоците, или пак поради разлика во геодетската висина. Пример за принудна конвекција се: фенови, климатизери и т.н.



## КОЕФИЦИЕНТ НА КОНВЕКЦИЈА

Количеството пренесена топлина по пат на конвекција зависи од неколку фактори:

- брзината на флуидот
- густината и агрегатната состојба на флуидот
- температурата на флуидот и ѕидот,
- форма, положбата и рапавоста на ѕидот,
- спроводливоста на флуидот итн.





## КОЕФИЦИЕНТ НА КОНВЕКЦИЈА

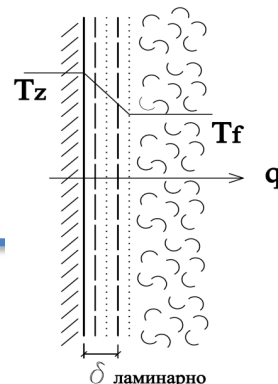
Трансферот на топлината вообичаено е пропорционален со температурната разлика помеѓу двата материјали, така што специфичниот топлотен флуks на единица површина е даден со изразот:

$$q_{con} = h_c \cdot (T_z - T_f) = h_c \cdot \Delta T \quad [W / m^2]$$

$h_c$  - коефициент на конвекција  $[W/m^2 K]$

$T_z$  - температура на ѕидот на телото (временски зависна)  $[^\circ C \text{ или } K]$

$T_f$  - температура на околниот флуид (временски зависна)  $[^\circ C \text{ или } K]$



## КОЕФИЦИЕНТ НА КОНВЕКЦИЈА

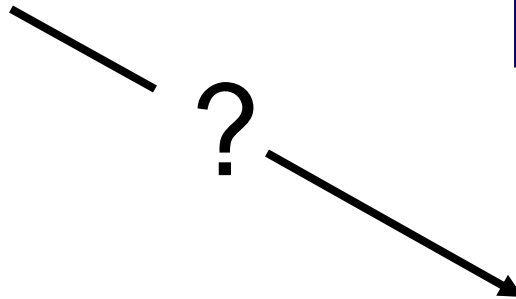
**Коефициент на конвекција** претставува количество на топлина што за единица време (1 sek) се пренесува низ единица површина (1 m<sup>2</sup>), при температурна разлика ΔT од 1°C и најчесто се определува експериментално преку следниов израз:

$$h_c = \frac{q_{conv}}{(T_z - T_f)} [W / m^2 K]$$

# РАДИЈАЦИЈА

Како сончевата енергија патува од Сонцето до Земјата?

Не постојат честички помеѓу Сонцето и Земјата, па не постои кондукција и конвекција.



Радијација

ГРАДЕЖНИШТВО

# Радијација

Сите супстанци на температура над апсолутна нула поседуваат внатрешна енергија која може да се емитира **во форма на електромагнетни бранови**.

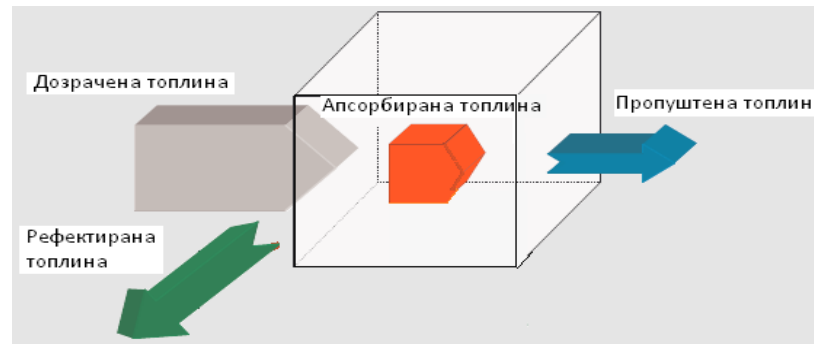
- **Радијацијата** претставува трансфер на енергија преку електромагнетни бранови кои можат да патуваат низ вакуум или флуид.
- Ако две тела имаат различна температура (различна внатрешна енергија), потоплото тело емитира зрачна енергија кон поладното тело, но и поладното тело емитира зрачна енергија кон потоплото. Во крајниот биланс сепак **поладното тело се затоплува**, бидејќи потоплото тело емитира повеќе топлина отколку што прима, а поладното обратно.



ГРАДЕЖНИШТВО

# Радијација

Еден дел од вкупната топлината  $E'$  на дадено тело дозрачена од околните тела се рефлектира кон околината  $E_r'$ , еден дел се пропушта  $E_d'$  и еден дел се апсорбира  $E_a'$



$$E' = E_r' + E_d' + E_a'$$

Ако оваа равенка се подели со  $E'$ , се добива равенка во која:

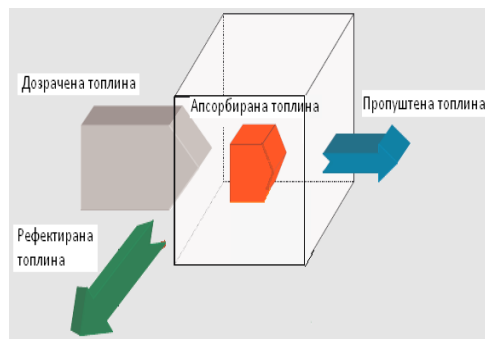
- “r” е коефициент на рефлексија,
- “d” е коефициент на пропуштање и
- “a” е коефициент на апсорпција.

$$1 = r + d + a$$

ГРАДЕЖНИШТВО

# Радијација

Внатрешната енергија на телото ќе се зголеми само кога апсорбираната енергија  $E_a'$  е поголема од емитираната  $E$ .



За тело да биде во топлинска рамнотежа ( $T = \text{const}$ ):

$$E = E_a'$$

За апсолутно црно тело :

$$E' = E_r^0 + E_d^0 + E_a' = E_a'$$

Емитираната топлина кога црното тело е во топлинска рамнотежа е еднаква на апсорбираната топлина:

$$E = E_a' = E'$$

Сивото тело, за разлика од апсолутно црното тело не ја апсорбира целокупната енергија која доаѓа до него, туку дел од неа рефлектира:

$$E_s < E'$$

# Радијација

Коефициентот на емисија, кој претходно го споменавме, е однос помеѓу енергијата која се емитира од сиво тело и енергијата која се емитира од истото тело кога би било апсолутно црно:

$$\varepsilon = \frac{E_s}{E_c} < 1$$

Согласно **Stefan – Boltzmann-овиот закон** за апсолутно црно тело, вкупната емитирана енергија од единица површина на апсолутно црно тело во единица време е директно пропорционална со четвртиот степен од апсолутната температура на црното тело:

$$q_r = \sigma T^4$$

Во општ случај на сиво тело специфичниот топлински флуks е:

$$q_r = \varepsilon \sigma T^4$$

# Радијација

Специфичен топлотен флукс во точка од површина што е озрачена е:

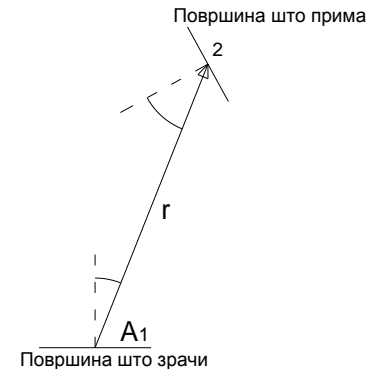
$$q = \varphi \cdot \varepsilon_e \cdot \sigma \cdot T_e^4$$

$\varepsilon_e$  - коефициент на емисија на површината што зрачи

$\varphi$  - фактор на конфигурација (положба)

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ [W/m}^2\text{°C]}$  -Stefan Boltzmann-ова константа

$T_e$  - апсолутна температура на површината што зрачи [ °C]



Резултатниот специфичен топлотен флукс од емитирачката површина на површината што прима е даден со изразот:

$$q_r = \varphi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_e^4 - T_r^4)$$

$T_r$  - апсолутна температура на површината што прима

$\varepsilon$  - резултантна емисивност на двете површини

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_e} + \frac{1}{\varepsilon_r} - 1}$$

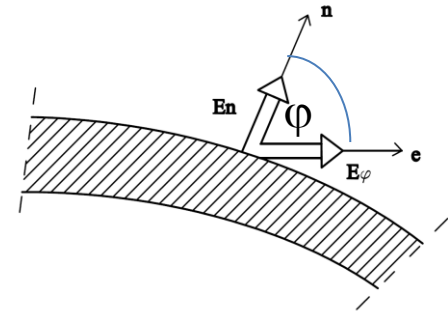
$$\varphi = \int \frac{\cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2}{\pi \cdot r^2} \cdot dA_1$$



# Радијација

Согласно законот на Lambert дозрачената или емитираната енергија од едно тело е најголема во правец на неговата нормала, додека во произволен правец изнесува:

$$E_{\varphi} = E_n \cos \varphi$$



Зрачна енергија од загреани флуиди

$$q_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{z,a}^4 - T_{f,a}^4) = h_r (T_z - T_f)$$

$$h_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{z,a}^2 + T_{f,a}^2)(T_{z,a} + T_{f,a})$$

$$\varepsilon = V \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_f} + \frac{1}{\varepsilon_z} - 1}$$

Резултатен специфичен топлотен флуks од постоење на конвекција и радијација:

$$q = q_{con} + q_r = (h + h_r)(T_z - T_f)$$

# Пренос на топлина

□ Равенка на енергетски баланс  $\dot{E}_{in} + \dot{E}_g = \dot{E}_{out} + \dot{E}_{ie}$

$\dot{E}_{in}$  - количество топлина која влегува во телото во единица време,

$\dot{E}_g$  - количество топлина која се генерира во телото во единица време,

$\dot{E}_{out}$  - количество топлина кое го напушта телото во единица време,

$\dot{E}_{ie}$  - количество топлина кое ја менува внатрешната енергија на телото

Кондукција:  $q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n}$

Радијација:  $q_r = h_r (T_z - T_f)$

Конвекција:  $q_{con} = h_c (T_z - T_f)$  Генерирање на топлина:  $\dot{E}_g = \dot{q} \cdot V$

Акумулирана топлина која ја менува температурата на телото:

$$\dot{E}_{ie} = \rho \cdot c \cdot V \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

ГРАДЕЖНИШТВО

## Пренос на топлина

Ако равенката за енергетскиот баланс се примени на елементарен волумен  $dV = dx dy dz$ , основната диференцијална равенка за трансфер на топлина низ анизотропно тело, изразена во декартов координатен систем е:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

Ако телото е изотропно  $\lambda \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$

Ако во телото не постои топлотен извор  $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{\rho c}{\lambda} \frac{\partial T}{\partial t}$

Ако температурното поле е стационарно и не постои топлотен извор

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0$$

## Пренос на топлина

### Услови на еднозначност на процесот на топлопроводливост

**Геометриските услови** со кои се задава обликот и димензиите на разгледуваното тело

**Физичките услови** со кои се задаваат физичките својства на разгледуваното тело и околината ( $\lambda, \rho, c$  или пак законот за распределба на внатрешниот извор на топлина доколку постои)

**Почетните услови** ја дефинираат температурната распределба во внатрешноста на телото во почетниот момент:

$$T(x, y, z, t = 0) = T_0(x, y, z)$$

За рамномерна распределба на температурата во телото :

$$T = T_0 = \text{const}$$

# Пренос на топлина

## □ МКЕ за анализа на пренос на топлина

Основната равенка за пренос на топлина, запишана матрично е:

$$[C] \dot{\vec{T}} + ([K_1] + [K_2]) \vec{T} + [R] \vec{T} = \vec{P}$$

$[K_1] = \sum_{e=1}^E [K_1^{(e)}]$  - Кондуктивна матрица на системот

$[K_2] = \sum_{e=1}^E [K_2^{(e)}]$  - Конвективна матрица на системот

$[C] = \sum_{e=1}^E [C]$  - Капацитативна матрица на системот

$[R] = \sum_{e=1}^E [R]$  - Матрица на радијација на системот

$\vec{P} = \sum_{e=1}^E \vec{P}^{(e)}$  - Вектор на температурни товари

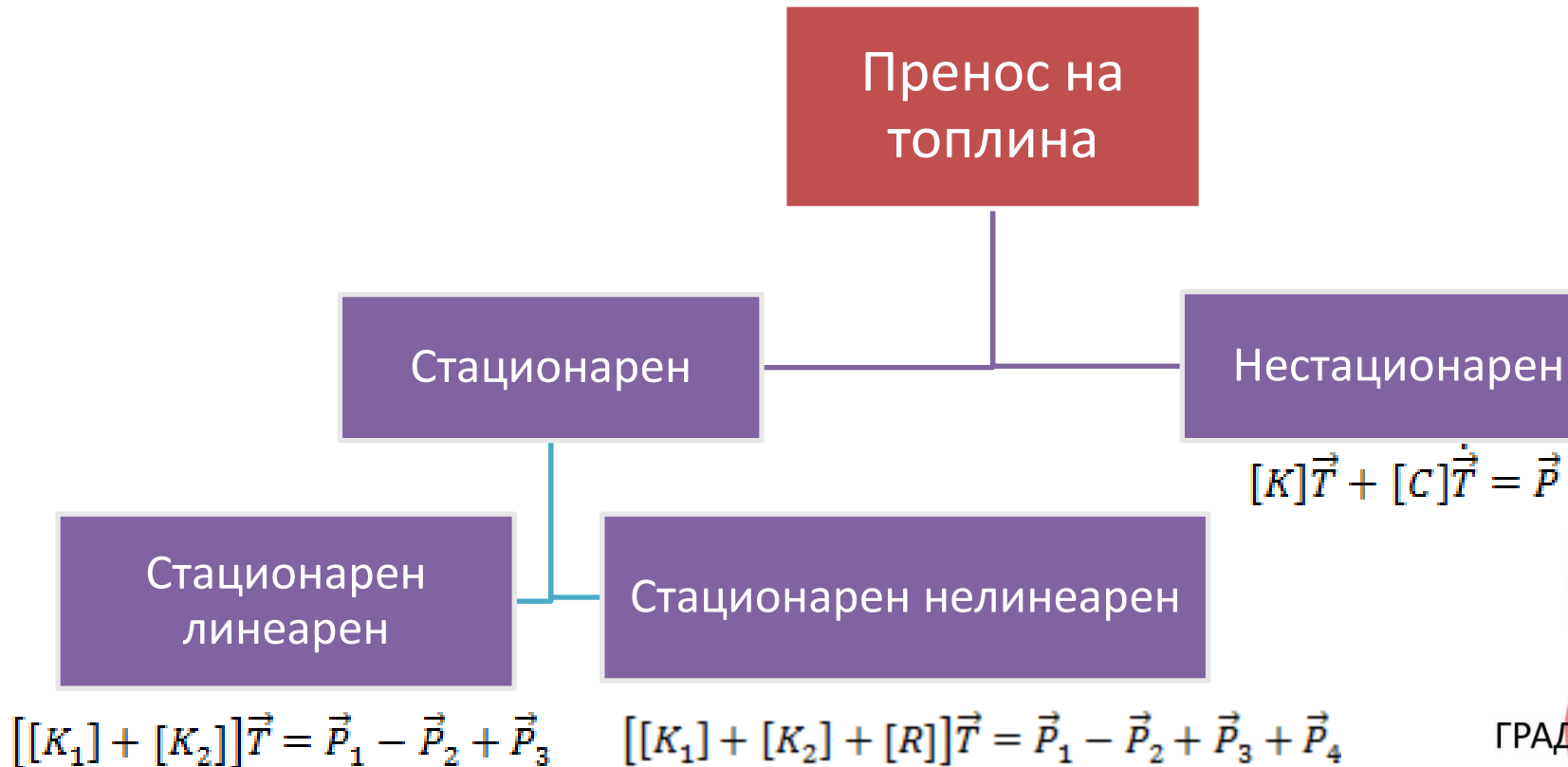
$\vec{T} = \sum_{e=1}^E \vec{T}^{(e)}$  - Вектор на непознати јазлови температури

$\dot{\vec{T}}^{(e)} = \sum_{e=1}^E \dot{\vec{T}}^{(e)}$  - Вектор на температурни изводи по времето



# Пренос на топлина

## МКЕ за анализа на пренос на топлина



ГРАДЕЖНИШТВО

## Влијание на зрачењето кај архитектонско градежни конструкции

Зрачењето кај архитектонско – градежни конструкции, од интерес е како :

- Краткобраново сончево зрачење
- Долгобраново зрачење од околина

Зрачењето, како краткобраново сончево зрачење и долгобраново зрачење од околина, влијае врз топлинските оптоварувања на објектите.

Во зависност од видот на градежниот елемент (прозори/сидови), ефектите кои се реализираат се различни.

ГРАДЕЖНИШТВО

# Влијание на зрачењето кај архитектонско градежни конструкции

## Прозори

Дел од дозрачената енергија се рефлектира кон отворено небо, дел се акумулира во материјалот од кој се изведени прозорите, а дел проаѓа и влијае на топлинските оптоварувања во внатрешноста од објектот.



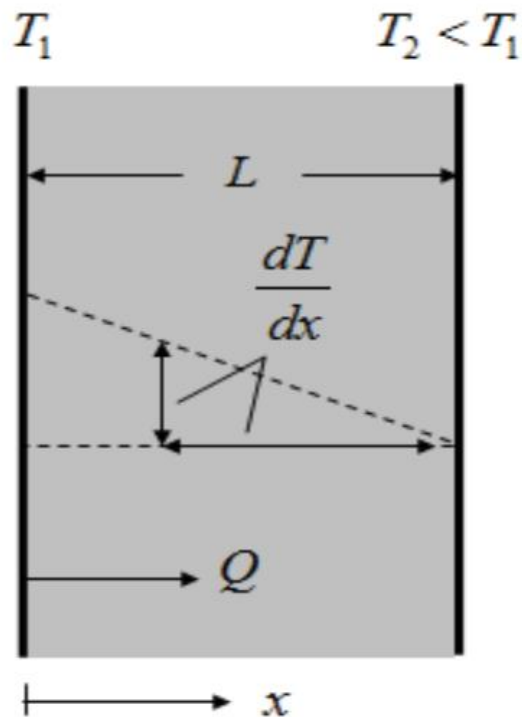
## Сидови

Зрачењето се манифестира преку зголемување на температурата на надворешната површина од сидот. Дозрачената енергија во зависност од условите се распределува, оредува спрема :

- дел се рефлектира кон отворено небо,
- дел се апсорбира во површинскиот слој од сидот, т.е. се зголемува внатрешната енергија на материјалот, што во принцип влијае врз зголемување на температурата на површината од сидот. Од овој дел на дозрачената енергија, во зависност од условите, дел се пренесува во внатрешноста на конструкцијата со спроведување, а дел со конвекција, од надворешната површина се предава на околината.

ГРАДЕЖНИШТВО

## Пренесување на толина низ хомогена конструкција-стационарен проблем



$$Q = -k A \frac{dT}{dx} \quad \text{or} \quad q = -k \frac{dT}{dx}$$

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L}$$

$$Q = k A \frac{T_1 - T_2}{L} \quad \text{or} \quad q = k \frac{T_1 - T_2}{L}$$

$$Q = h_c A (T_1 - T_2) \quad \text{or} \quad q = h_c (T_1 - T_2)$$

$$Q = \sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad \text{or} \quad q = \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

$$Q = \varepsilon \sigma F_{12} A_1 (T_1^4 - T_2^4)$$

## Топлински отпор

При минување низ некој материјал, топлината наидува на отпор, кој зависи од коефициентот  $\lambda$ . Колку вредноста  $\lambda$  е помала, толку поголем е топлинскиот отпор. Значи, овие две физички големини се обратно пропорционални.

Симбол за топлинскиот отпор е  $R$ , а неговата единица е  $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ .

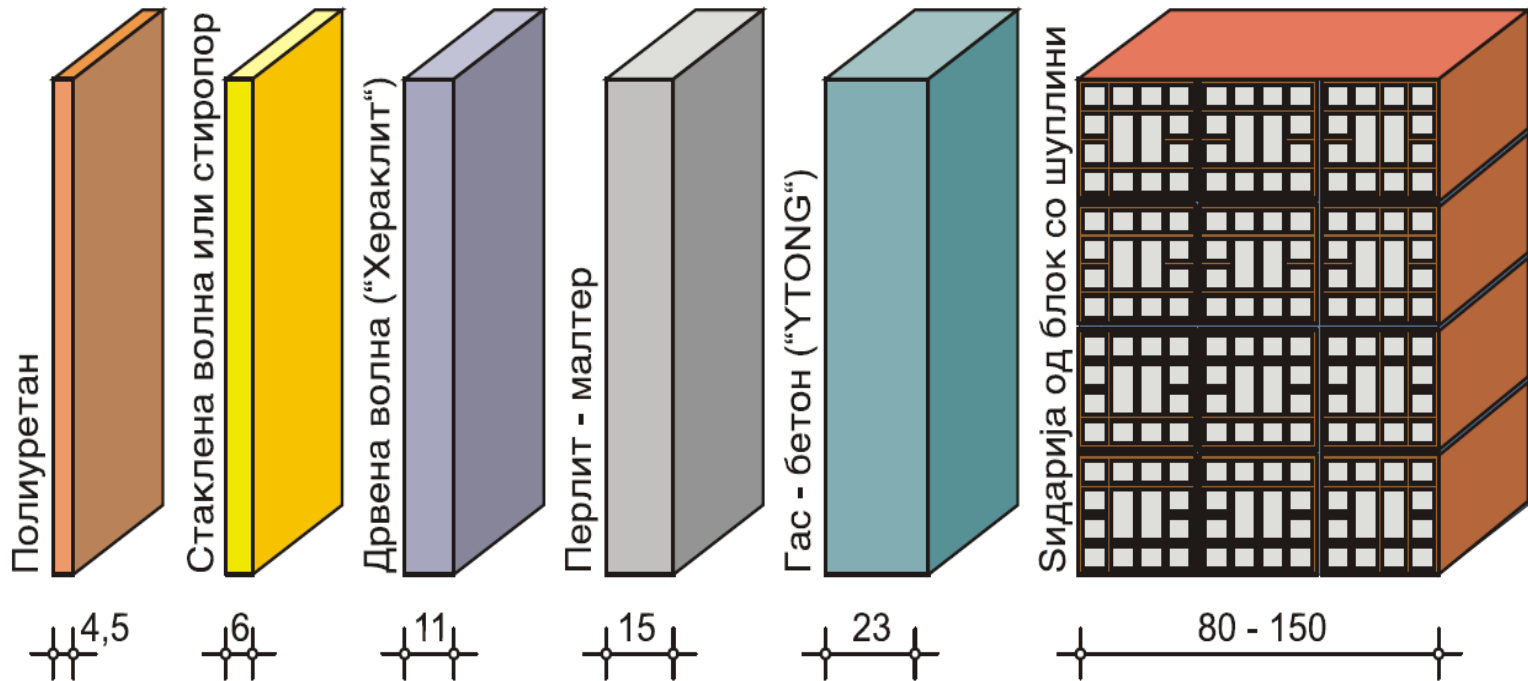
Формула за пресметка на топлинскиот отпор е:

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

Со зголемување на дебелината на материјалот се зголемува и топлинскиот отпор.



# Еквивалентна изолациска моќ на некои градежни материјали



## Површински топлински отпор

Соодветно на топлинскиот отпор при пренесувањето на топлината со кондукција, при пренесувањето со конвекција топлината наидува на отпор при самата површина на материјалот којшто е во контакт со воздух или друг гас.

Симбол за површински топлински отпор е  $R_s$   
а неговата единица е  $(m^2 \cdot K)/W$ .

Формула за пресметка на површинскиот отпор е:

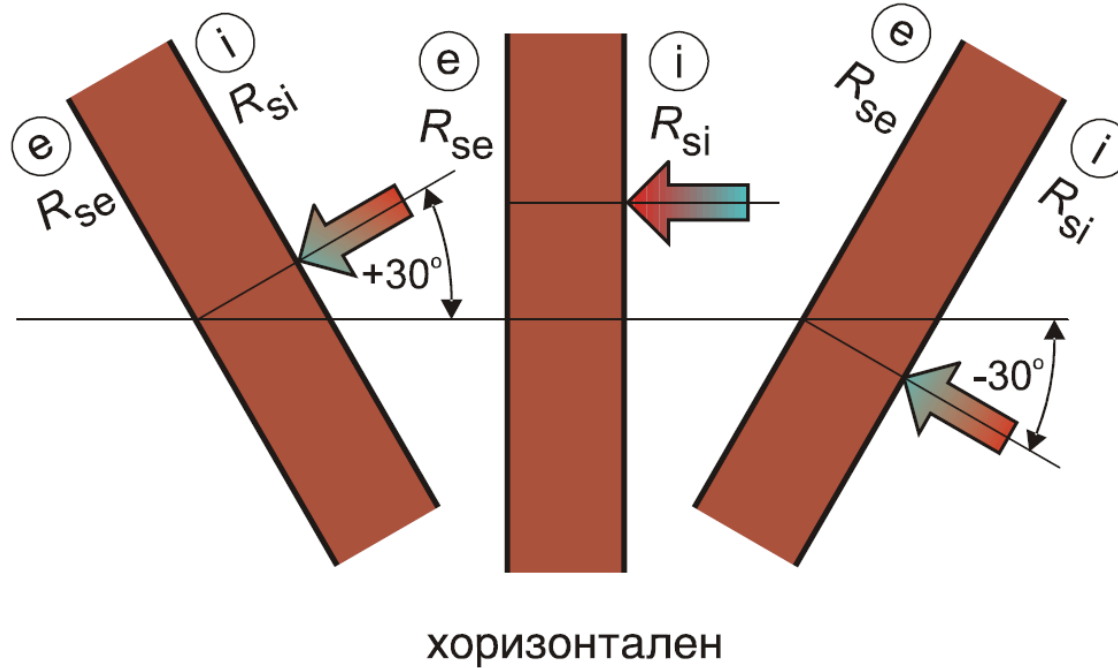
$$R_s = \frac{1}{h}$$

кадешто  $h$  е коефициент на површинско пренесување  
топлината



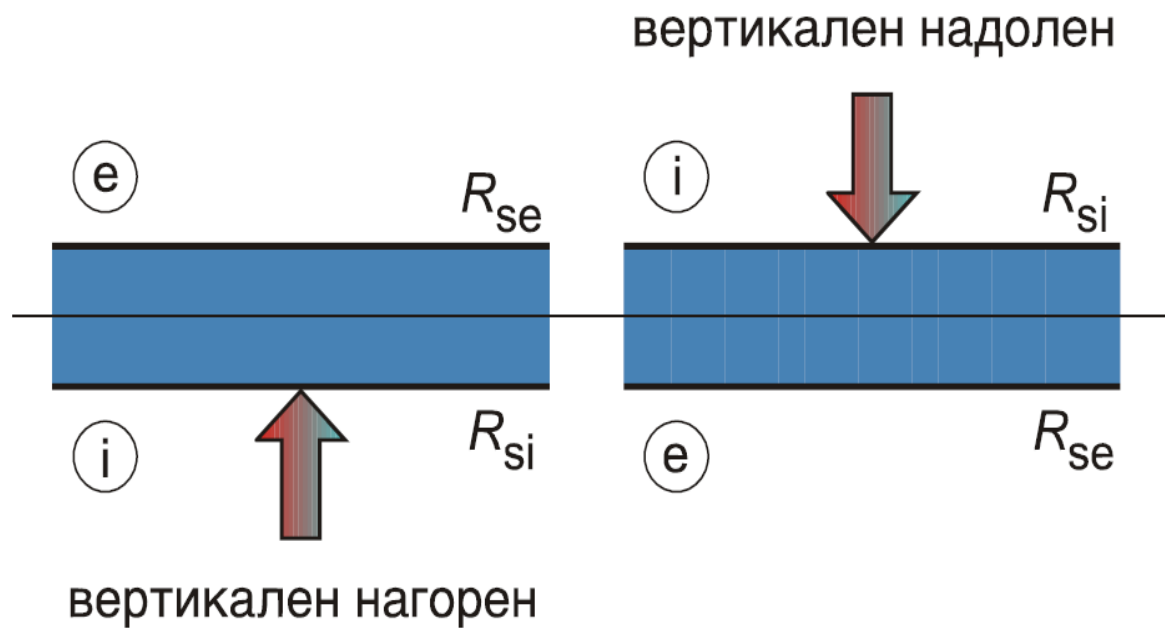
# Правец и насока на топлински протоци

## Вертикална конструкција



# Правец и насока на топлински протоци

## Хоризонтална конструкција



## Изолациска моќ на воздухот

Добрите топлинско-изолациски материјали, со мала вредност  $\lambda$ , имаат многу мала маса. Еден од најлесните е стиропорот, со маса од 15 до 30 kg/m<sup>3</sup>. Причина за ова е голем процент на заробен воздух во стиропорот (97% до 98,5%) за сметка на цврстата материја (1,5% до 3%).

Заклучок е дека за добрата изолациска моќ на изолациските материјали “заслугата” му припаѓа на воздухот.

Констатацијата е точна, но под еден услов: шуплините во изолацискиот материјал исполнети со воздух мора да бидат со многу мал волумен, со микронска големина.

Топлинскиот отпор на воздушните шуплини не може да се пресмета со помош на веќе прикажаната формула, бидејќи со зголемувањето на дебелината на слојот воздух, не се зголемува пропорционално и топлинскиот отпор.

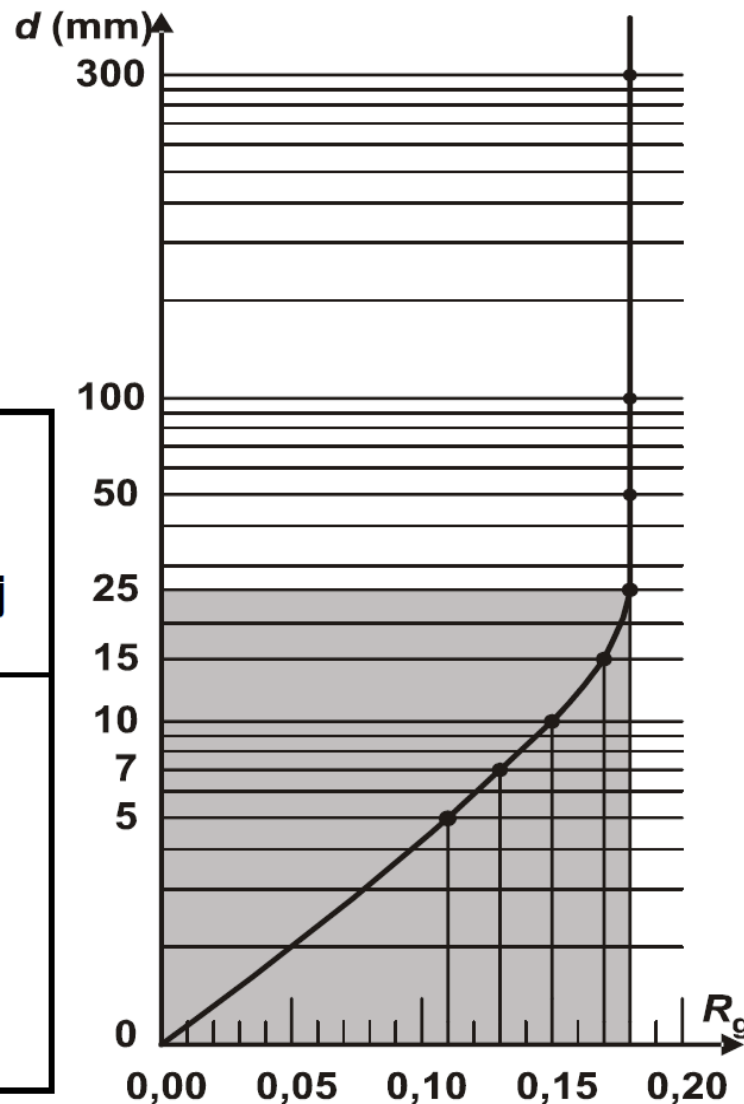


АДЕЖНИШТВО



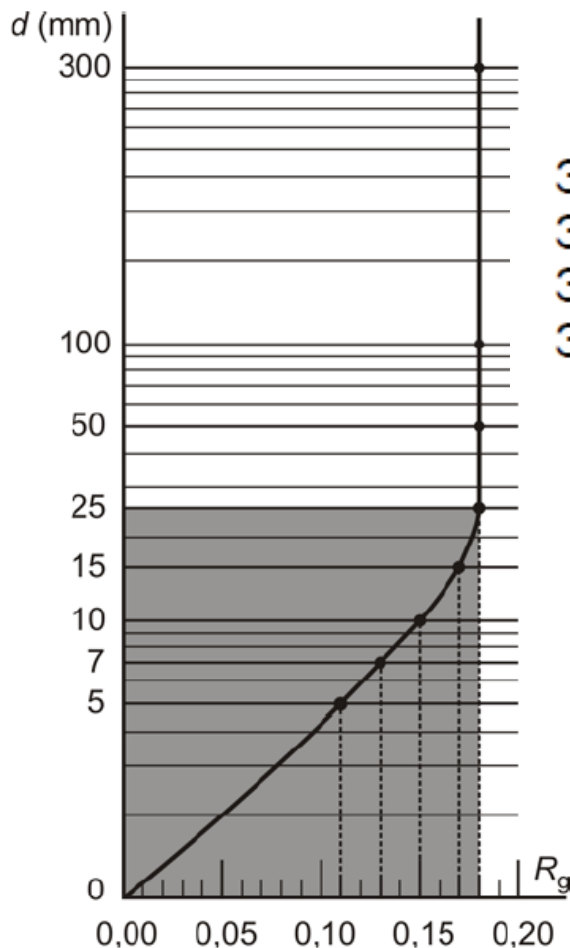
# Топлински отпор на воздушни слоеви ( $m^2 \cdot K/W$ )

Дебелина на воздушен слој $d$ (mm)	Топлински отпор на вертикален воздушен слој $R$ ( $m^2 \cdot K/W$ )
0	0,00
5	0,11
7	0,13
10	0,15
15	0,17
25	0,18
50	0,18
100	0,18
300	0,18



ГРАДЕЖНИШТВО

Вредностите на топлинскиот отпор  $R_g$  на непроветруван воздушен слој со хоризонтален топлински проток графички се прикажани на Слика 1.4. Со зголемување на дебелината на воздушниот слој се зголемува и топлинскиот отпор, но не и соодветно на дебелината. Веќе од слој со дебелина 25 mm, секое натамошно зголемување на дебелината не го зголемува и отпорот. Значи, отпорот е ист и за 25 mm и за 300 mm.



За 300 mm

За 3 x 100 mm = 300 mm

За 30 x 10 mm = 300 mm

За 300 x 1 mm = 300 mm

$$R_g = 0,18 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$R_g = 3 \times 0,18 = 0,54 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$R_g = 30 \times 0,15 = 4,50 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$R_g = 300 \times 0,022 = 6,60 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

**Топлински отпор на воздушни слоеви**

ГРАДЕЖНИШТВО

## Топлински отпор на воздушни слоеви ( $m^2 \cdot K$ )/W

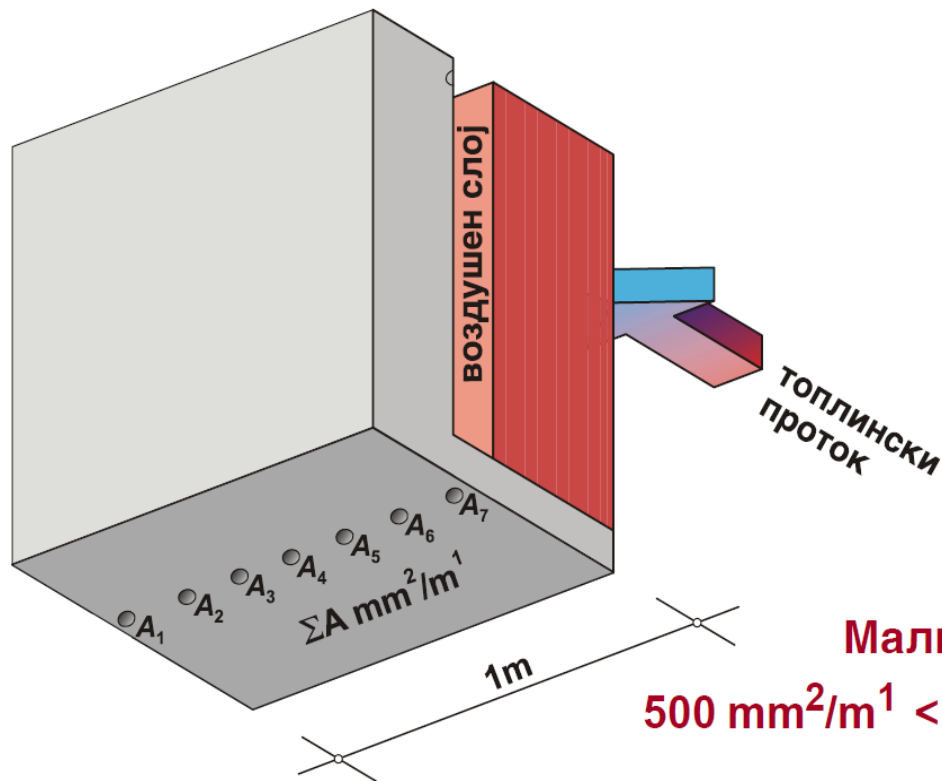
300 mm	$R = 0,18$
$3 \cdot 100 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$	$R = 3 \cdot 0,18 = 0,54$
$30 \cdot 10 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$	$R = 30 \cdot 0,15 = 4,50$
$300 \cdot 1 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$	$R = 300 \cdot 0,022 = 6,60$
$3\ 000 \cdot 0,1 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$	$R = 3\ 000 \cdot 0,0024 = 7,20$

Топлински отпор на стиропор со дебелина  
 $d = 300 \text{ mm}$  (0,30 m)

$$R = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,30}{0,04} = 7,5 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

# Топлински отпор на воздушни слоеви ( $m^2 \cdot K$ )/W

## Вертикален



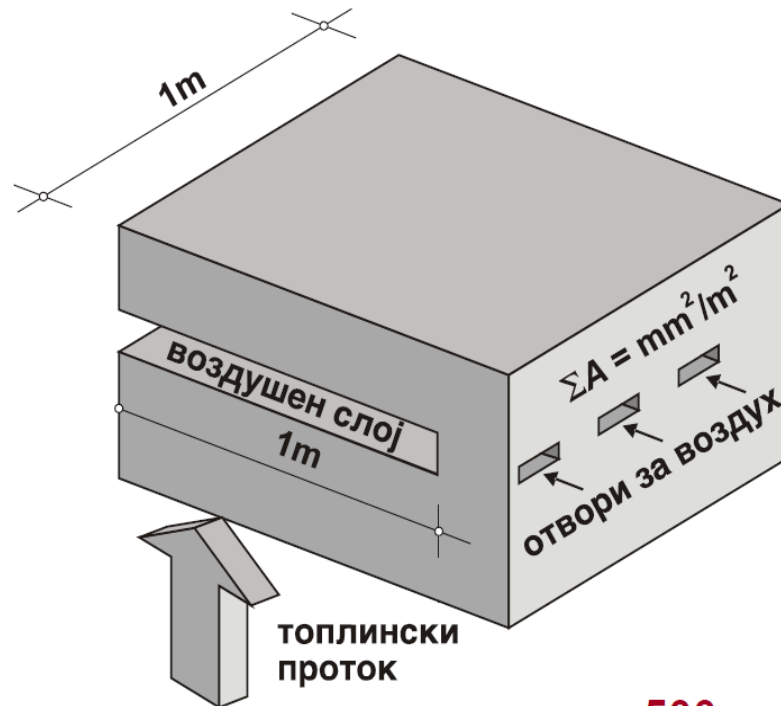
Невентилиран ако  
 $\Sigma A < 500 \text{ mm}^2/\text{m}^1$

Малку вентилиран ако  
 $500 \text{ mm}^2/\text{m}^1 < \Sigma A < 1\,500 \text{ mm}^2/\text{m}^1$

РАДЕЖНИШТВО

# Топлински отпор на воздушни слоеви ( $m^2 \cdot K$ )/W

## Хоризонтален



Невентилиран ако  
 $\Sigma A < 500 \text{ mm}^2/m^1$

Малку вентилиран ако  
 $500 \text{ mm}^2/m^1 < \Sigma A < 1\,500 \text{ mm}^2/m^1$

ГРАДЕЖНИШТВО

# Топлински отпор на воздушни слоеви ( $m^2 \cdot K/W$ )

## Невентилиран воздушен слој

Дебелина на воздушниот слој mm	Правец и насока на топлинскиот проток		
	Нагорен	Хоризонтален	Надолен
0	0,00	0,00	0,00
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

**ЗАБЕЛЕШКА** - Меѓувредности можат да се добијат со интерполација.

# Топлински отпор на воздушни слоеви ( $m^2 \cdot K$ )/W

## Малку вентилиран воздушен слој

Дебелина на воздушниот слој mm	Правец и насока на топлинскиот проток		
	Нагорен	Хоризонтален	Надолен
1	0,017	0,017	0,017
2	0,030	0,030	0,030
3	0,040	0,040	0,040
4	0,048	0,048	0,048
5	0,055	0,055	0,055
6	0,060	0,060	0,060
7	0,065	0,065	0,065
8	0,069	0,069	0,069
9	0,072	0,072	0,072
10	0,075	0,075	0,075
15	0,082	0,086	0,086
20	0,082	0,092	0,092
25	0,082	0,092	0,097
50	0,082	0,092	0,107
100	0,082	0,092	0,109
300	0,082	0,092	0,116

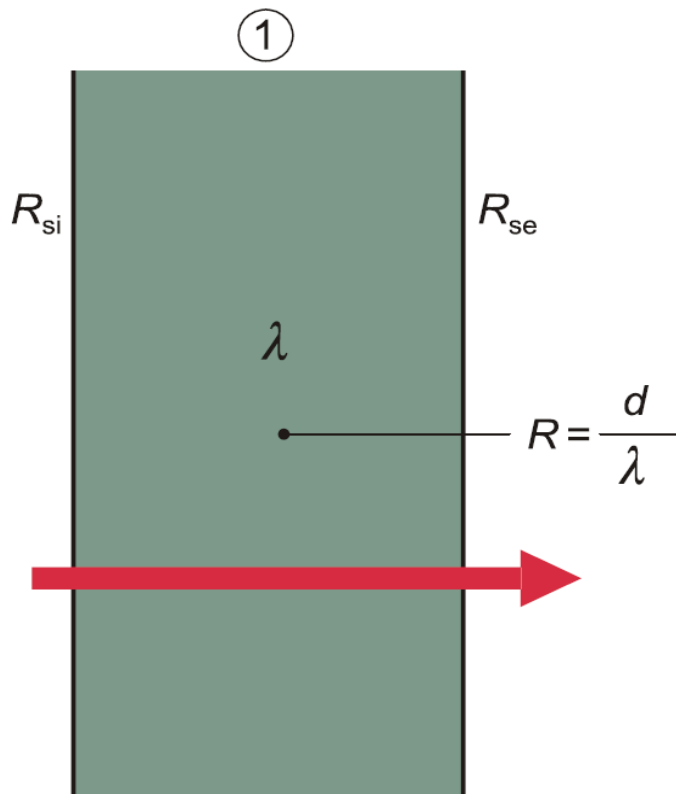
ГРАДЕЖНИШТВО

## Површински топлински отпори

Површински отпори ( $m^2 \cdot K$ )/W	Правец и насока на топлинскиот проток		
	нагорен	хоризонтален	надолен
$R_{si}$	0,10	0,13	0,17
$R_{se}$	0,04	0,04	0,04



## Вкупен топлински отпор $R_T$ ( $m^2 \cdot K$ )/W на еднослојна конструкција



$$R_T = R_{si} + R + R_{se}$$

$R_{si}$  - топлински отпор на  
внатрешна површина

$R$  - топлински отпор на  
слој материјал

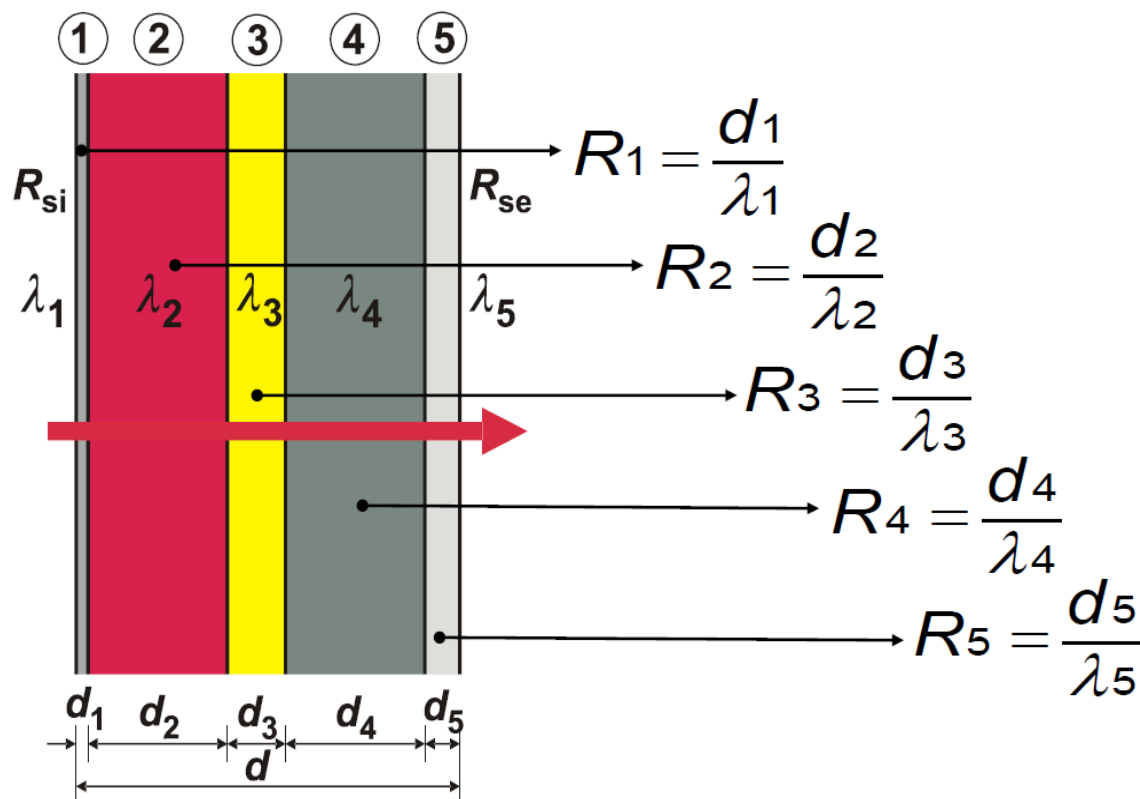
$$R = \frac{d}{\lambda}$$

$R_{se}$  - топлински отпор на  
надворешна површина



## Вкупен топлински отпор $R_T$ ( $m^2 \cdot K$ )/W на повеќеслојна конструкција

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_{se}$$



## Коефициент на пренесување на топлината

$U$  во  $W/(m^2 \cdot K)$

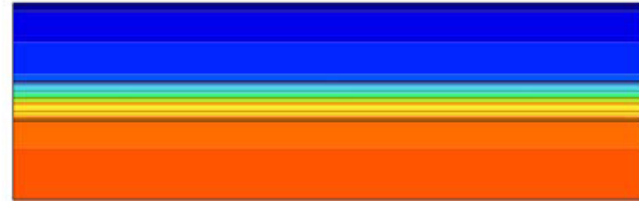
$$R_T = R_{si} + \Sigma R + R_{se}$$

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

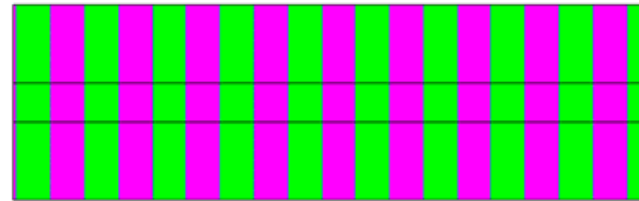
# Пренесување на толина низ хомогена градежна конструкција



а) Градежен детал



б) Изотерми



в) Топлински протоци

1D пренесување на топлината низ хомогена градежна конструкција

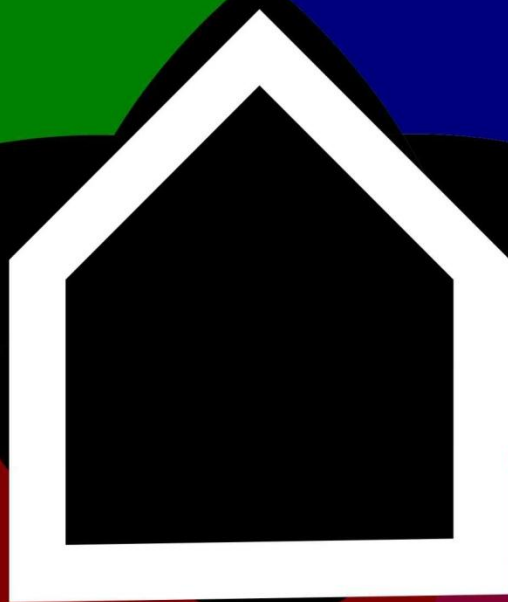
Во таков случај, топлинскиот проток се одредува со коефициент на површинско пренесување на топлината, познат како вредност  $U$ . Оваа вредност ги претставува топлинските загуби низ градежниот елемент со единица температурна разлика помеѓу внатрешноста и надворешноста и единица површина на градежната конструкција:

$$U = \left( \frac{1}{h_i} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_a + \frac{1}{h_e} \right)^{-1} \text{ во } W/(m^2 \cdot K)$$

$R_a$  – топлински отпор на воздушен слој



# РАЗМЕНА НА МАСА



**Обука за енергетски контролори**



# РАЗМЕНА НА МАСА

Обука за енергетски контролори

Размена на маса се реализира со механизми на дифузија.

Се разликува :


- Молекуларна
- Конвективна дифузија.

## Молекуларна дифузија

како самопроизволен процес на размена на материја (маса) во неподвижна средина, под дејство на концентрационен, или температурен градиент.

Се разликува :

- концентрациона дифузија,
- термо дифузија.



ГРАДЕЖНИШТВО

# РАЗМЕНА НА МАСА

## Дифузија на водена пареа

Низ порозните градежни конструкции, се јавува дифузија на водената пареа, а смерот на дифузниот поток, како и интензитетот на истиот ќе зависи од термовлажносните услови во кои се наоѓа конструкцијата.

- Погонска сила на процесот на дифузија

разликата на парцијалните притисоци на водената пареа од двете страни на конструкцијата

- Дифузен поток : 
$$q = \frac{\Delta p_{pp}}{\sum r}$$

- $q$  - густина на дифузен поток на водена пареа,  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
- $\Delta p_{pp}$  – разлика на парцијални притисоци на водената пареа од двете страни на конструкцијата,  $\text{kPa}$
- $\sum r$  - збир на релативни отпори на дифузија,  $(\text{N} \cdot \text{h}/\text{kg})$

ГРАДЕЖНИШТВО

## Дифузија на водена пареа

Релативните отпори на дифузијата на водената пареа :

$$r_i = \frac{\mu_i \cdot d_i \cdot R_{WP} \cdot T}{D_{WPV}}$$

- $\mu$  - фактор на отпорот на дифузија, -
- $d$  - дебелина на слојот , m
- $R_{WP}$ -гасна конст. за водена пареа,  $R_{WP}=462 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
- $T$  - температура , K
- $D_{WPV}$  – коефициент на дифузија на водена пареа низ воздух ,  
 $D_{WPV} \approx 0.080 \text{ m}^2/\text{h}$

ГРАДЕЖНИШТВО



# РАЗМЕНА НА МАСА

Обука за енергетски контролори

## Абсорпција на водена пареа

- Различните градежни материјали, различно ја апсорбираат водената пареа.
- Апсорбираната водена пареа ги менува термофизичките карактеристики на материјалите.



ГРАДЕЖНИШТВО

проф. д-р Мери Цветковска

## Кондензација на водена пареа

Услов за кондензација на водена пареа содржана во воздухот е :  
*температурата во точката на контакт да е еднаква или помала од температурата на заситување на водената пареа, при односниот парцијален притисок, т.е да е помала од температурата на оросување.*

- Заради процесите на дифузија на водената пареа, кај порозни градежни конструкции, во зависност од температурно влажносни параметри, може да се појават услови за кондензација на водената пареа, како на граничните површини, така и во внатрешните слоеви од конструкцијата.

ГРАДЕЖНИШТВО

**ПРИМЕР**

**Обука за енергетски контролори**



проф. д-р Мери Цветковска

## Едно-димензионална пресметка (МКС ЕН ИСО 6946)

Вкупните топлински отпори за пренос на топлината кај повеќеслојна преграда изнесуваат:

$$R = \frac{1}{h_{c1}} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{c2}}$$

Коефициентот на поминување на топлина на конструкцијата е:

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{h_{c1}} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{c2}}}$$

Густината на топлинскиот проток е:  $q = U \cdot (T_{f1} - T_{f2}) = \frac{1}{R} \cdot (T_{f1} - T_{f2})$

Топлинскиот проток низ вкупната површина е:  $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$

Температурите на граничните површини и на границата помеѓу слоевите на преградата се:

$$T_{z1} = T_{f1} - q \cdot \frac{1}{h_{s1}} \quad T_{z(k+1)} = T_{f1} - q \cdot \left( \frac{1}{h_{s1}} + \sum_{i=1}^{i=k} \frac{d_i}{\lambda_i} \right)$$

ГРАДЕЖНИШТВО

## Задача 2

Конструкција на надворешен ѕид се состои од следните слоеви од внатре кон надвор:

слој	дебелина [m]	коэф. на топлинска спроводливост $\lambda$ [W/m*K]	релативен коэф. на дифузија $\mu$
малтер	0.02	0.870	15
ѕид од тула	0.12	0.58	5
тервол	0.04	0.04	1
ѕид од тула	0.12	0.58	5
малтер	0.03	0.870	15

Температурата внатре изнесува  $T_{in}=20^{\circ}\text{C}$ , а влажноста на воздухот е  $\phi_{in}=50\%$ , а надвор се:  $T_e=-10^{\circ}\text{C}$  и  $\phi_e=90\%$ .

Да се дефинира температурниот профил низ ѕидот и појавата на кондензација.



- Топлински отпори:

$$R_{si} = 0.13(m^2 * K) / W$$

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0.02}{0.87} = 0.023$$

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0.12}{0.58} = 0.207$$

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0.04}{0.04} = 1.0$$

$$R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4} = \frac{0.12}{0.58} = 0.207$$

$$R_5 = \frac{d_5}{\lambda_5} = \frac{0.03}{0.87} = 0.034$$

$$R_{se} = 0.04(m^2 * K) / W$$

$$R_T = R_{si} + \sum R + R_{se} = 0.13 + 1.471 + 0.04 = 1.641(m^2 * K) / W$$

- Коэффициент на пренос на топлината:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{1.641} = 0.609 W / m^2 * K$$

- Пад на температурата во слоевите:

$$\Delta\theta = 20 - (-10) = 30^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\theta_i = \frac{\Delta\theta}{R_T} * R_{si} = \frac{30}{1.641} * 0.13 = 2.38$$

$$\theta_{si} = 20 - 2.38 = 17.62^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\theta_1 = \frac{\Delta\theta}{R_T} * R_1 = \frac{30}{1.641} * 0.023 = 0.42$$

$$\theta_{1-2} = 17.62 - 0.42 = 17.2^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\theta_2 = \frac{\Delta\theta}{R_T} * R_2 = \frac{30}{1.641} * 0.207 = 3.78$$

$$\theta_{2-3} = 17.2 - 3.78 = 13.42^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\theta_3 = \frac{\Delta\theta}{R_T} * R_3 = \frac{30}{1.641} * 1.0 = 18.28$$

$$\theta_{3-4} = 13.42 - 18.28 = -4.86^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\theta_4 = \frac{\Delta\theta}{R_T} * R_4 = \frac{30}{1.641} * 0.207 = 3.78$$

$$\theta_{4-5} = -4.86 - 3.78 = -8.64^{\circ}\text{C}$$

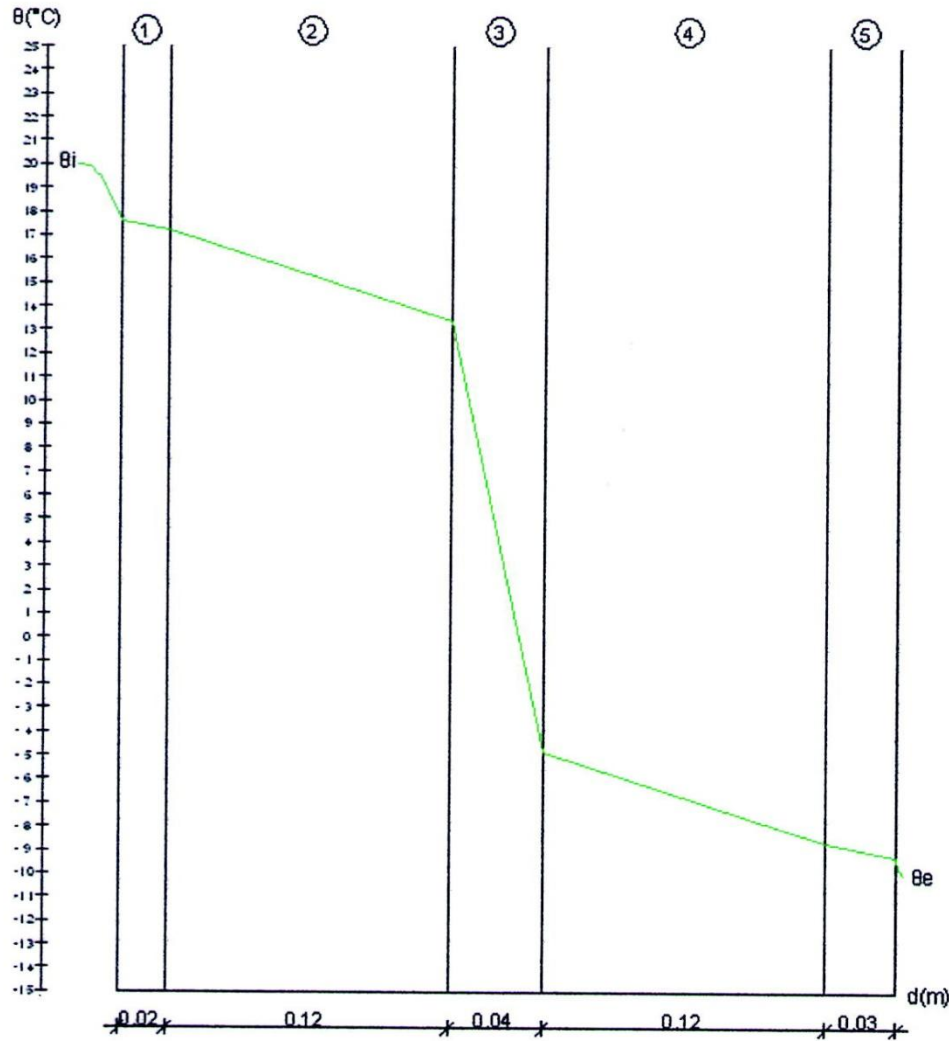
$$\Delta\theta_5 = \frac{\Delta\theta}{R_T} * R_5 = \frac{30}{1.641} * 0.034 = 0.62$$

$$\theta_{se} = -8.64 - 0.62 = -9.26^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\theta_{se} = \frac{\Delta\theta}{R_T} * R_{se} = \frac{30}{1.641} * 0.04 = 0.73$$

$$\theta_e = -9.26 - 0.73 = -9.99 = -10^{\circ}\text{C}$$

Пад на температурата низ ѕидот





- Релативни отпори на дифузија:

$$r = d * \mu$$

$$r_1 = 0.02 * 15 = 0.3m$$

$$r_2 = 0.12 * 5 = 0.6m$$

$$r_3 = 0.04 * 1 = 0.04m$$

$$r_4 = 0.12 * 5 = 0.6m$$

$$r_5 = 0.03 * 15 = 0.45m$$

-----

$$\Sigma r = 1.99m$$

- Парцијални притисоци:

Внатре во објектот  $p_i = \varphi_i * p_i = 0.5 * 2.338 = 1.169 KPa$

Надвор од објектот  $p_e = \varphi_e * p_e = 0.9 * 0.26 = 0.234 KPa$

На граница помеѓу слоевите:

- Притисоци на заситување:

за  $\theta_i = +20^\circ C$   $p_i = 2.338 KPa$

за  $\theta_{si} = +17.62^\circ C$   $p_{si} = 2.016 KPa$

за  $\theta_{1-2} = +17.20^\circ C$   $p_{1-2} = 1.963 KPa$

за  $\theta_{2-3} = +13.42^\circ C$   $p_{2-3} = 1.541 KPa$

за  $\theta_{3-4} = -4.86^\circ C$   $p_{3-4} = 0.407 KPa$

за  $\theta_{4-5} = -8.65^\circ C$   $p_{4-5} = 0.293 KPa$

за  $\theta_{se} = -9.26^\circ C$   $p_{se} = 0.278 KPa$

за  $\theta_e = -10^\circ C$   $p_e = 0.260 KPa$

$$p_j = \frac{p_i - p_e}{\sum_1^n r} \sum_{j+1}^n r + p_e$$

$$p_{1-2} = \frac{1.169 - 0.234}{1.99} * 1.69 + 0.234 = 1.028 KPa$$

$$p_{2-3} = 0.47 * 1.09 + 0.234 = 0.746 KPa$$

$$p_{3-4} = 0.47 * 1.05 + 0.234 = 0.728 KPa$$

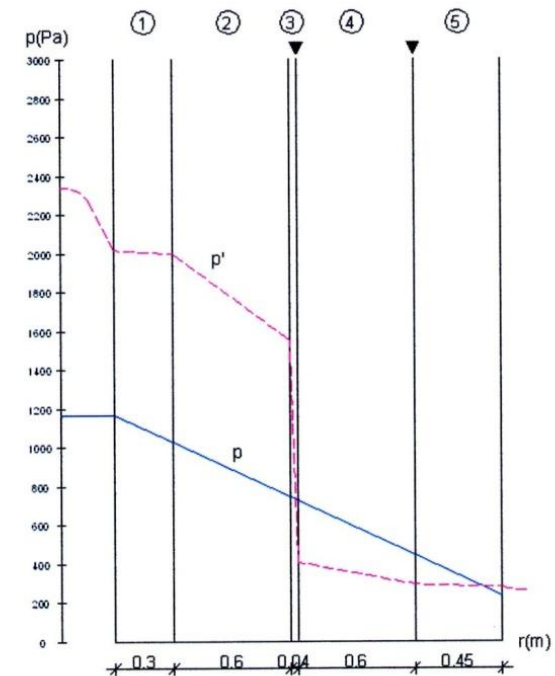
$$p_{4-5} = 0.47 * 0.45 + 0.234 = 0.446 KPa$$

- Споредба на притисоците на заситување и парцијалните притисоци:

	$p'$ (kPa)	споредба	$p$ (kPa)
-внатрешна површина	2,016	>	1,169
-граница меѓу слој 1-2	1,963	>	1,028
-граница меѓу 2-3	1,541	>	0,746
-граница меѓу 3-4	0,407	<	0,728
- граница меѓу 4-5	0,293	<	0,446
-надворешна површина	0,278	>	0,234

→ Кондензација на водена пареа се јавува во слој 4

Дијаграм на дифузија на водена пареа



# Прашања



Обука за контролори

за енергетска ефикасност

Благодарам за вниманието