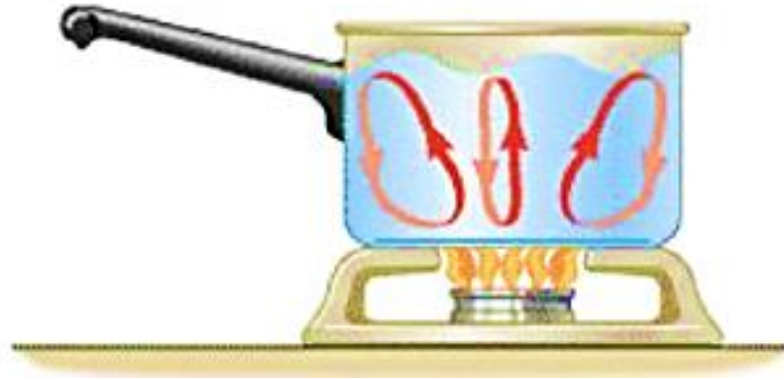


# ТЕРМОЕНЕРГЕТИКА

## Пrenos toplote - konvekcija

## Prelaženje toplote (konvekcija)

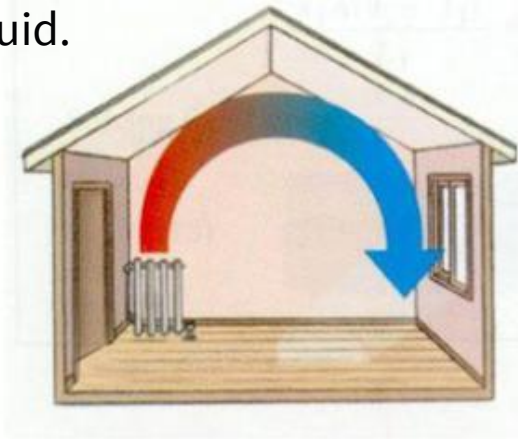
**Prelaženje toplote (konvekcija)** je molarni vid prostiranja toplote tj. da bi do njega došlo neophodno je kretanje dela mase fluida (tečnosti ili gasa). Makroskopskim pomeranjem u prostoru različito zagrejani delovi fluida prenose određenu količinu toplotne energije. U praksi se najčešće pojavljuje prelaz toplote od čvrstog tela (zida) na fluid ili od fluida na čvrsto telo (zid), pa se tada govori o razmeni toplote između čvrstog tela i okolnog fluida.



# Prelaženje toplote (konvekcija)

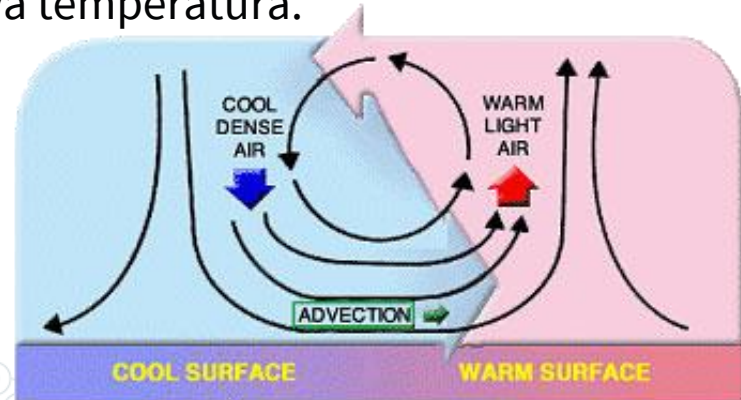
Pri konvekciji toplota se prostire kretanjem samog fluida (tečnosti ili gasa):

- kroz fluid ili
- sa fluida na čvrstu površinu ili
- sa čvrste površine na fluid.



# Prelaženje toplote (konvekcija)

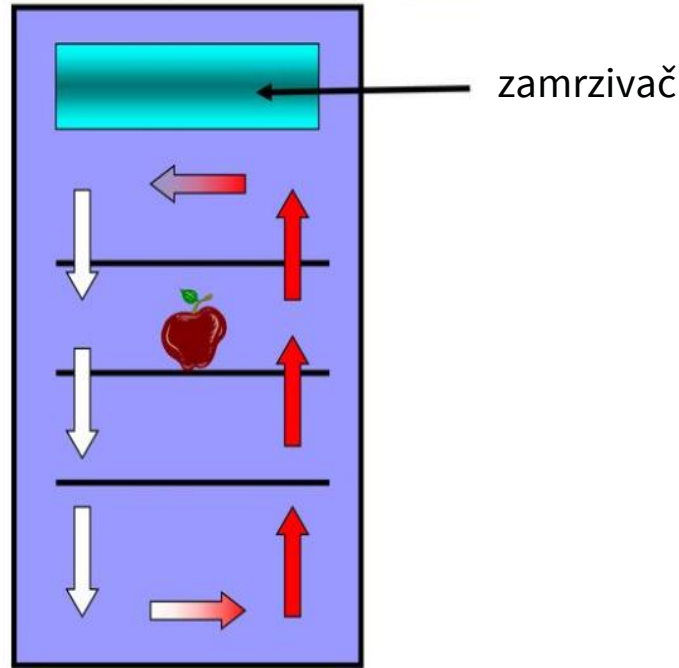
Prostiranje toplote **prelaženjem (konvekcijom)** se odvija tako što deo fluida (delići materije) prelazi iz sredine sa jednom temperaturom u sredinu sa fluidom na drugoj temperaturi gde se meša sa njim i tom prilikom razmenjuje se unutrašnja energija mase fluida koja je na višoj temperaturi sa unutrašnjom energijom mase fluida koja je na nižoj temperaturi. Tada se masi fluida koja je na višoj temperaturi smanjuje temperatura, dok se masi tela koja je na nižoj temperaturi uvećava temperatura.



# Prelaženje toplote (konvekcija)

Zašto je deo zamrzivača na vrhu frižidera?

U zamrzivaču se vazduh hladi i postaje gušći (teži). Hladi hranu u frižideru na putu dole.

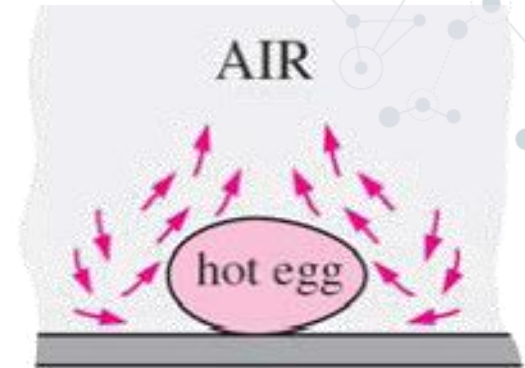


Pošto je na dnu toplije, topao vazduh se diže. Stvara se konvekcijska struja.

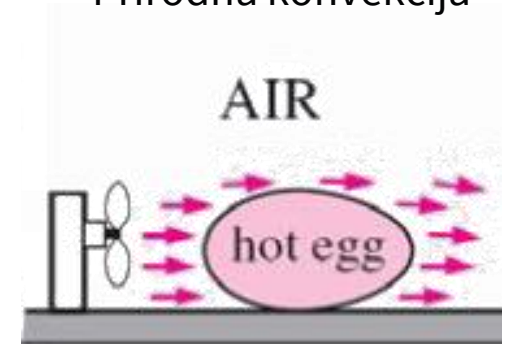
## Prelaženje toplote (konvekcija)

Kod tečnosti u sudu koja se zagreva kroz dno, topliji (ređi) slojevi se podižu ka vrhu, ustupajući mesto hladnijim (gušćim) slojevima koji padaju ka dnu suda. Uspostavlja se strujanje čiji je intenzitet srazmeran temperaturnoj razlici dna i vrha suda. Tokom zagrevanja se ova razlika smanjuje, pa i intenzitet mešanja, odakle je očito da ovakav proces prenosa toplote **prirodnom konvekcijom** ima ozbiljnih ograničenja.

Zato se u situacijama gde je potrebno prenos toplote učiniti intenzivnijim i uopšte, podložnijim regulaciji, uvodi prinudno, mehaničko mešanje, pa se proces prenosa toplote u takvim uslovima naziva **prinudna konvekcija**.



Prirodna konvekcija



Prinudna konvekcija

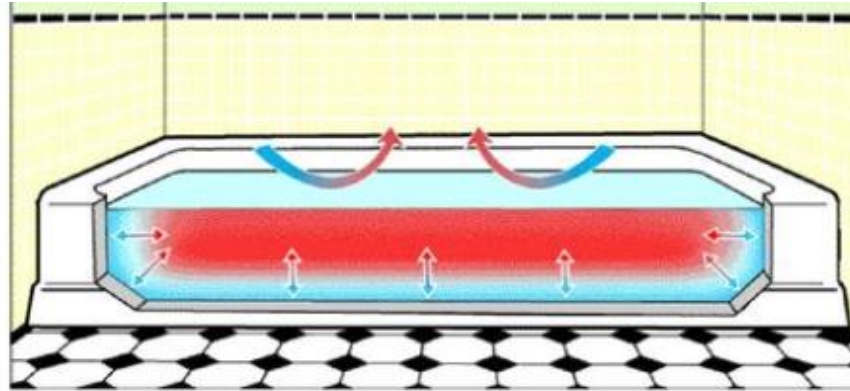
# Prirodna konvekcija

Pod **prirodnom konvekcijom** podrazumeva se kretanje toplote sa čvrste površine na okolni fluid (ili obrnuto) pri čemu se fluid nalazi u stanju prividnog mirovanja. To znači da kretanje fluida nije uslovljeno spoljašnjom mehaničkom silom (pumpa, ventilator ...) već samo razlikom gustina (temperatura) slojeva fluida.

U slučaju prirodne konvekcije, brzine su tako male da se sile trenja mogu zanemariti.

# Prirodna konvekcija

Kako tečnost postaje manje gusta (dakle, lakša) kako se zagreva i diže, zamenjuje je hladnija (teža) tečnost.







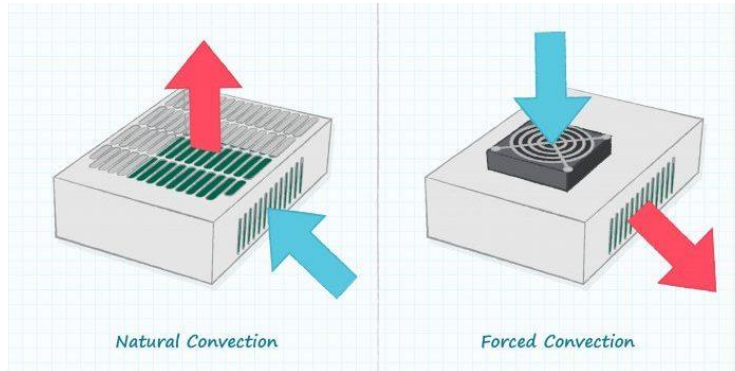
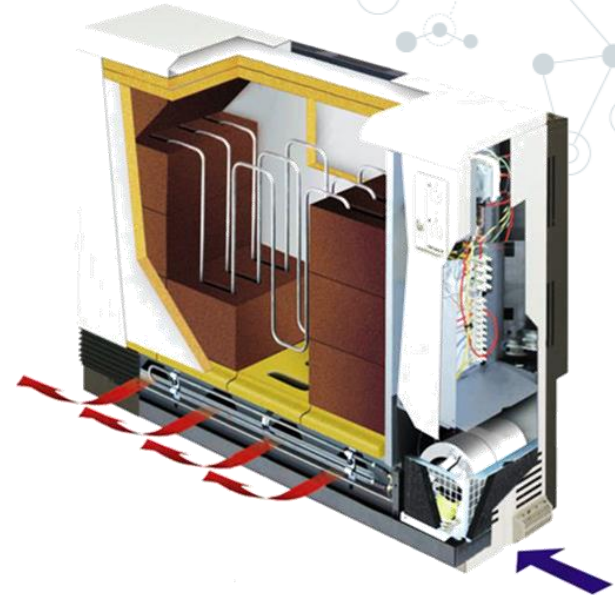
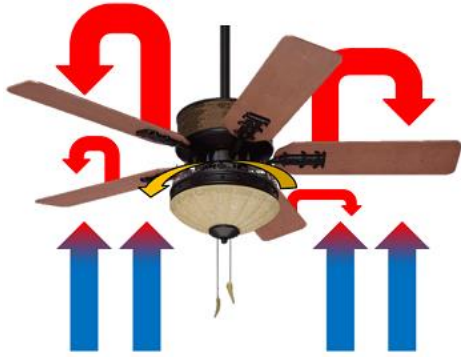
# Prinudna konvekcija

Pod **prinudnom konvekcijom** podrazumevamo kretanje toplote sa čvrste površine na okolni fluid (ili obrnuto) pri čemu se fluid nalazi u stanju makroskopskog kretanja. To znači da kretanje fluida nije uslovljeno samo razlikom gustina slojeva fluida već i spoljašnjom mehaničkom silom (pumpa, ventilator...).

U ovom slučaju kada se strujanje fluida ostvaruje ili pomoću pumpi ili ventilatora obično možemo zanemariti sile uzgona.



# Prinudna konvekcija



# Toplotna prelaznost - koeficijent prelaza toplote

Najčešće nas interesuje ona količina toplote koja prelazi sa nekog fluida na neku čvrstu površinu (ili obrnuto). Ova toplota je data izrazom:

$$\dot{q} = \frac{Q}{\tau \cdot A} = \frac{\dot{Q}}{A} = \alpha \cdot (T_z - T_f) = \frac{T_z - T_f}{\frac{1}{\alpha}}$$

Ovde je  $T_f$  temperatura fluida, a  $T_z$  temperatura zida, dok je  $\alpha$  (W/m<sup>2</sup> K) toplotna prelaznost (**koeficijent prelaza toplote**) koju je definisao Newton.

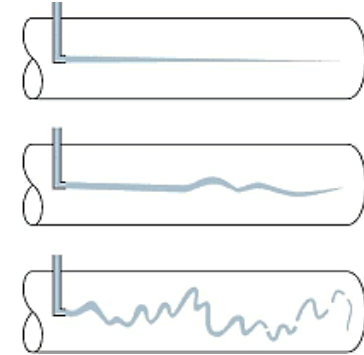
Prenos toplote konvekcijom, a samim tim i  $\alpha$  zavisi od sledećih faktora:

- vrste fluida,
- oblika i stanja površine na kojoj se razmjenjuje toplota,
- uslova i brzine strujanja i
- temperaturske razlike.

# Rejnoldsov broj

Uticaj brzine strujanja na koeficijent prelaza toplote procenjuje se s obzirom na vrstu strujanja, koje može biti:

1. Laminarno (kod strujanja u cevima  $Re < 2.300$ ),
2. Prelaz iz laminarnog u turbulentno (kod strujanja u cevima  $Re = 2.300$  do  $10.000$ )
3. Turbulentno (kod strujanja u cevima gde je  $Re > 10.000$ ).



**Re - Rejnoldsov broj** - Reynoldsov broj je odnos inercijalnih sila i viskoznih sila za date uslove strujanja.

$$Re = \frac{w \cdot d_h}{\nu}$$

$w$  - brzina strujanja (m/s),

$\nu$  - kinematska viskoznost fluida ( $m^2/s$ )

$d_h$  - hidraulički prečnik (m)  $d_h = 4A/O$

# Prandtlov broj

Uticaj vrste fluida na koeficijent prelaza toplote se ocenjuje na osnovu **Prandtlovog broja** fluida (Pr):

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} = \frac{\nu}{a}$$

$\eta$  - dinamička viskoznost fluida (kg /m s),

$c_p$  - specifična toplota fluida kada je  $p = \text{const}$  (J/kgK),

$\lambda$  - koeficijent provođenja toplote fluida (W/mK),

$\rho$  - gustina fluida (kg/m<sup>3</sup>),

$a$  - temperaturna provodljivost fluida (m<sup>2</sup>/s),

$\nu$  - kinematska viskoznost (m<sup>2</sup>/s) .

# Grashoffov broj

Uticaj oblika i stanja površine i vrste fluida na koeficijent prelaza toplote se ocenjuje na osnovu **Grashoff-ovog broja** (Gr):

$$Gr = \frac{\beta \cdot \Delta T \cdot g \cdot d_h^3}{\nu^2}$$

$\beta=1/273,15$  1/K koeficijent termičkih napona,

$d_h$  - hidraulički prečnik (m),

$\Delta T$  - temperaturna razlika (K),

$g=9,81$  m<sup>2</sup>/s koeficijent ubrzanja zemljine teže,

$\nu$  - kinematska viskoznost fluida (m<sup>2</sup>/s).

# Nusseltov broj

Uticaj sile uzgona fluida usled razlika temperatura na koeficijent prelaza toplote uzima se u obzir pomoću **Nusselt**-ovog **broja** fluida (Nu):

$$Gr = \frac{\alpha \cdot d_h}{\lambda}$$

$d_h$  - hidraulički prečnik (m),

$\alpha$  – koeficijent prelaza toplote (W/m<sup>2</sup>K)

$\lambda$  - koeficijent provođenja toplote fluida (W/mK).



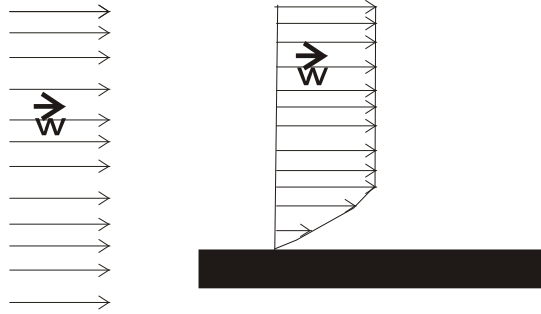
# Toplotna prelaznost - koeficijent prelaza toplote

Koeficijent prelaza toplote  $\alpha$  (W/m<sup>2</sup>K) je teško izračunati za sve slučajeve u tehnici, pa se zbog toga u većini slučajeva određuje eksperimentalno.

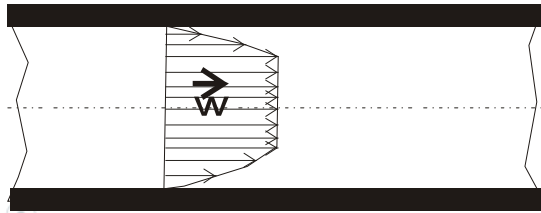
Karakteristični slučajevi konvektivne razmene toplote dešavaju se na površinama ravnih zidova različitog položaja, površinama zidova cevi, kugli i ostalih oblika uređaja u tehnici.

	$\alpha$ , W/m <sup>2</sup> K
Slobodna konvekcija (vazduh)	5 – 25
Slobodna konvekcija (voda)	500 – 1000
Prinudna konvekcija (vazduh)	10 – 500
Prinudna konvekcija (ulje)	20 – 2000
Prinudna konvekcija (voda)	300 – 20 000
Ključanje (voda)	3000 – 100 000
Kondenzacija (vodena para)	5000 – 10 000

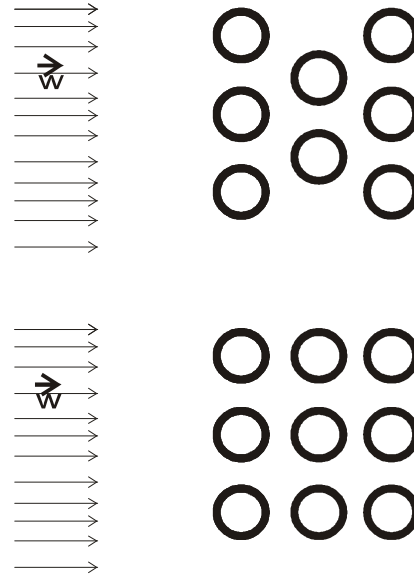
# Karakteristični slučajevi konvektivne razmene toplote



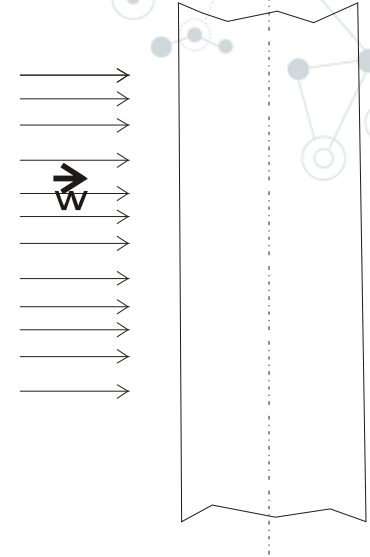
Nastrujavanje na ravnu ploču



Strujanje u pravoj cevi



Nastrujavanje cevi



Poprečno opstrujavanje cilindra

# Prelaženje toplote (konvekcija)

Ako fluid temperature  $t_f$  struji pored granične površine-zida temperature  $t_z$  ( $t_f > t_z$ ) **količina toplote** koja predje sa fluida na zid (ili obrnuto kada je  $t_z > t_f$ ) biće:

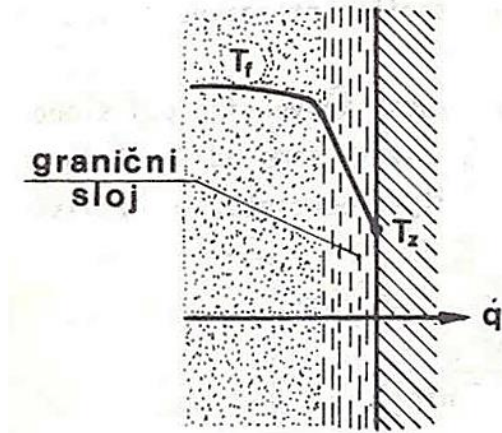
$$Q = \alpha \cdot (t_z - t_f) \cdot A \cdot \tau \text{ [J]}$$

Za ravan zid **specifični protok ( $\dot{q}$ )** biće:

$$\dot{q} = \frac{t_z - t_f}{\frac{1}{\alpha}} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

Za cilindričan zid **specifični protok ( $\dot{q}$ )** biće:

$$\dot{q} = \frac{t_z - t_f}{\frac{1}{d\pi\alpha}} \left[ \frac{W}{m} \right]$$

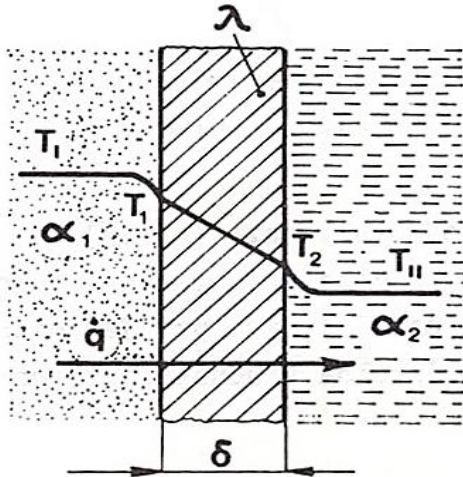


# Prolaženje toplote

Skoro uvek u praksi imamo zajedničko delovanje kondukcije (**provođenje**) i konvekcije (**prelaženje**) toplote.

Pojam ”**prolaženja**” toplote uvek obuhvata dve konvekcije i jednu ili više kondukcija.

# Prolaženje toplote kroz ravan zid



**Količina toplote (Q)**

$$Q = \dot{Q} \cdot \tau = \dot{q} \cdot A \cdot \tau \text{ [J]}$$

**Specifični protok ( $\dot{q}$ )**

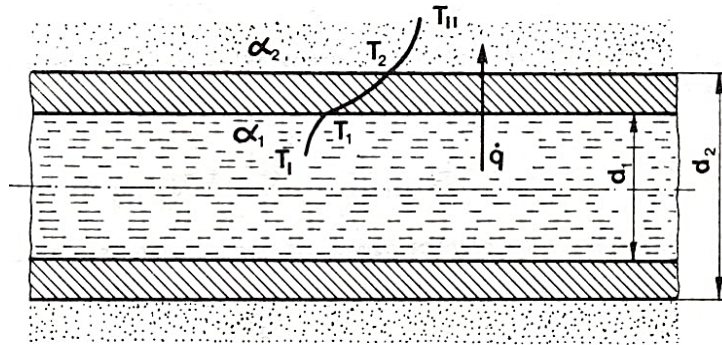
$$\dot{q} = \frac{t_I - t_{II}}{\frac{1}{\alpha_I} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{II}}} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

konvekcija

kondukcija

konvekcija

# Prolaženje toplote kroz cilindričan zid



**Količina toplote (Q)**

$$Q = \dot{Q} \cdot \tau = \dot{q} \cdot l \cdot \tau \text{ [J]}$$

**Specifični protok ( $\dot{q}$ )**

$$\dot{q} = \frac{t_I - t_{II}}{\frac{1}{d\pi\alpha_I} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi\lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_1} + \frac{1}{d\pi\alpha_{II}}} \left[ \frac{W}{m} \right]$$

konvekcija

kondukcija

konvekcija