

# ТЕРМОЕНЕРГЕТИКА



**Prenos toplote**



# Prenos toplote

Pojava spontanog prenosa toplote u smeru temperaturskog pada, tj. od tela više temperature na telo niže temperature ili od toplijih prema hladnijim slojevima tela naziva se **prenos toplote**.

Postoje tri načina (mehanizma) prenosa toplote:

- Provođenje toplote (kondukcija)
- Prelaženje toplote (konvekcija)
- Zračenje toplote (radijacija)



# Prenos toplote

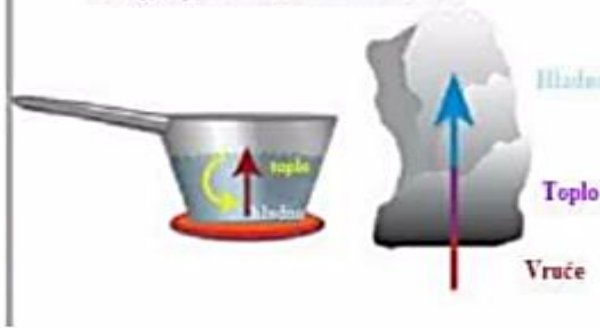
## Kondukcija

Kondukcija je prenos toplote kroz čvrsta tela.



## Konvekcija

Konvekcija je prenos toplote strujanjem vode ili vazduha.



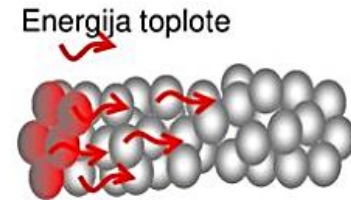
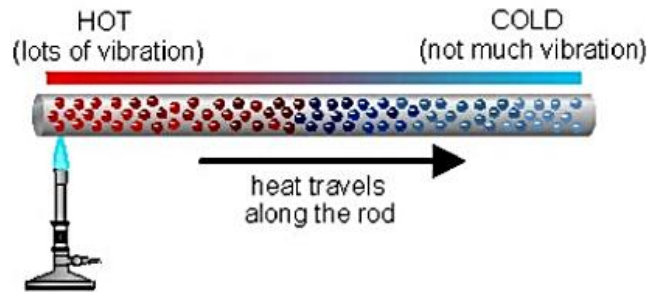
## Radijacija

Radijacija je prenos toplote preko elektromagnetnog zračenja.



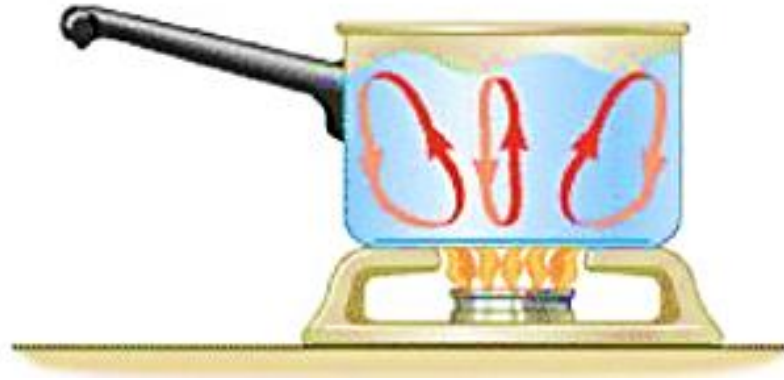
# Provođenje toplote (kondukcija)

**Provođenje toplote (kondukcija)** se odvija u mikro razmerama sa jednog molekula na drugi. Molekuli toplijeg dela tela zbog svog haotičnog kretanja sudaraju se sa susednim (“hladnijim”) molekulima i predaju im deo svoje kinetičke energije. Taj proces se postepeno rasprostire na čitavom telu, što se manifestuje izjednačavanjem temperature po celoj zapremini. Karakteristično je za čvrsta tela, mada je svojstveno i za tečnu i gasovitu fazu.



## 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.



## Zračenje toplote (radijacija)

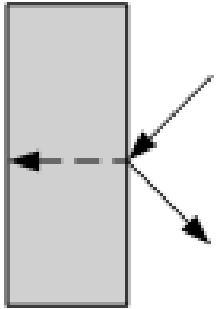
**Zračenje toplote (radijacija)** je oblik prenosa toplote, kojom se toplota od površine tela u obliku elektromagnetnih talasa širi kroz prostor i koja se na površini drugog tela potpuno ili delimično pretvara u toplotu. Svako telo čija je temperatura iznad apsolutne nule, može da emituje u okolni prostor elektromagnetne talase različite dužine.

Stoga, zračenje predstavlja beskontaktni vid razmene toplote između dva tela. Zračenje tela zavisi od njegove prirode, temperature i stanja površine.

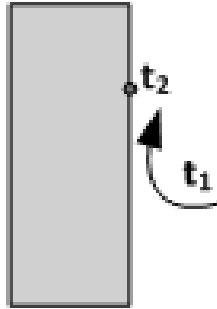


# Načini prenosa toplote

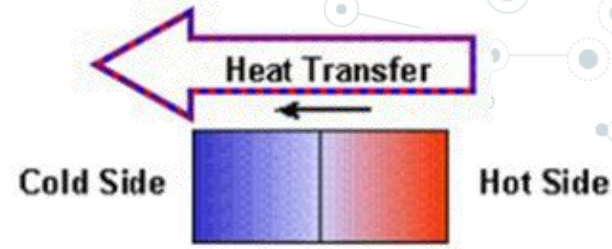
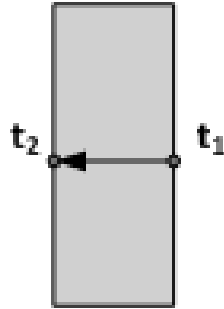
Zračenje  
(Radijacija)



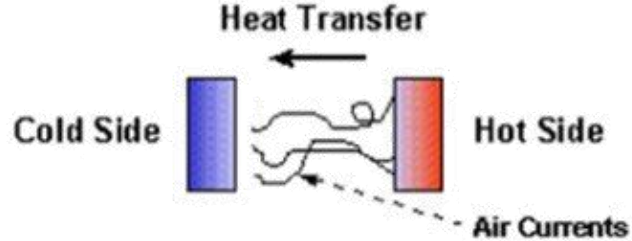
Prelaženje  
(Konvekcija)



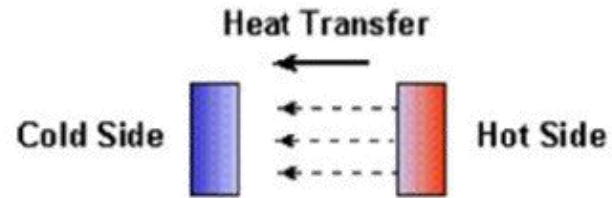
Provođenje  
(Kondukcija)



Conduction



Convection



Radiation

A decorative network diagram in the top-left corner of the slide. It consists of a complex web of interconnected nodes and lines. The nodes are represented by circles of varying sizes and colors, including solid blue, solid grey, and hollow white with grey outlines. Some nodes are highlighted with a blue border. The lines connecting the nodes are thin and grey, creating a dense, interconnected structure.

## Provođenje toplote (kondukcija)

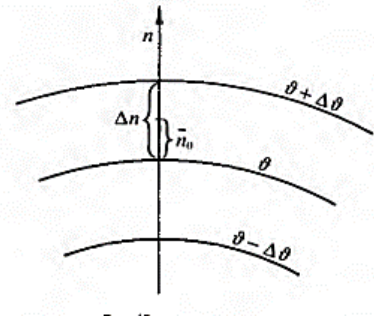




# Provođenje toplote (kondukcija)

U nekom telu (sredini) moguće je izdvojiti slojeve jednaki temperatura. Površine koje graniče te slojeve nazivaju se **izotemske površine**.

- Temperatura na izotermskim površinama je konstantna i menja se samo u pravcu preseka kroz površine.
- Dve izotemske površine se ne mogu seći, jer je fizički nemoguće da u istoj tački prostora postoje istovremeno dve različite temperature.
- Najveća promena temperatura je u pravcu normale na izotemske površine.
- Odnos te razlike temperatura i dužine naziva se **gradijentom temperature**.
- Gradijent temperature je vektor normalan na izotermску površinu, s pozitivnim predznakom u smeru porasta temperature



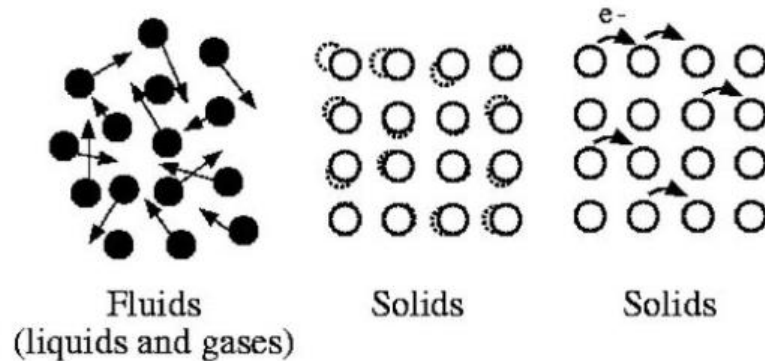
# Provođenje toplote (kondukcija)

Ako postoji temperaturni gradijent u materijalu, toplota teče bez obzira da li se materijal kreće:

**Čvrsti metali** – provode toplotu usled kretanja nevezanih elektrona

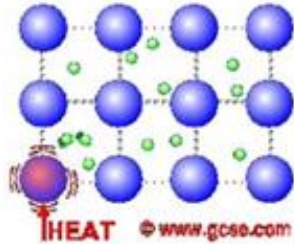
**Ostale čvrste materije i tečnosti** – provođenje toplote nastaje usled prenosa kinetičke energije pojedinačnih molekula (ili atoma) duž temperaturnog gradijenta

**Gasovi** – provodljivost toplote je rezultat nasumičnog kretanja molekula, molekula koji prelaze iz toplog u hladno

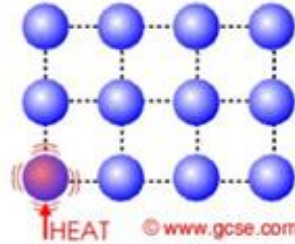


# Provođenje toplote (kondukcija)

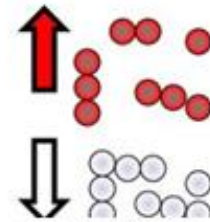
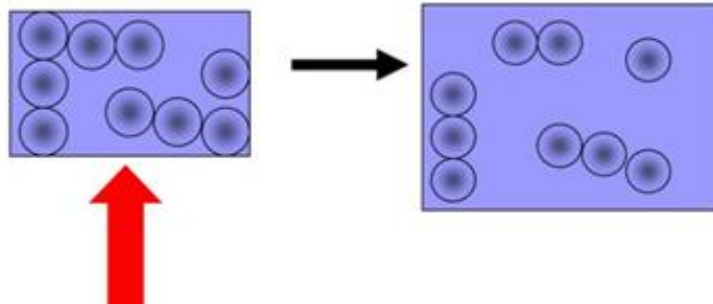
**Provodnici toplote** – metali  
Slobodni elektroni prenose  
kinetičku energiju kroz metal



**Toplotni izolatori** – nemaju  
slobodne elektrone - kinetička  
energija se prenosi atomskim  
vibracijama



**Fluidi (tečnosti i gasovi)** – kada se dovede toplota,  
čestice se raspršuju - supstanca postaje manje gusta



Što su tečnosti i gasovi  
hladniji, to su manje gustine

# Provođenje toplote (kondukcija)

Proces provođenja toplote kroz čvrste materije u suštini predstavlja razmenu kinetičke energije i može se odvijati na dva načina:

- Sa molekula na molekul, oscilovanjem oko ravnotežnog položaja (karakterističan za termoizolacione materijale) i
- Preko slobodnih elektrona koji se sudaraju sa atomima i jonima i predaju im svoju toplotnu energiju (karakterističan je za metale).

# Provođenje toplote (kondukcija)

Pitanje kondukcije (provođenja) i konvekcije (strujanja) toplote iziskuje objašnjenje određenih pojmova:

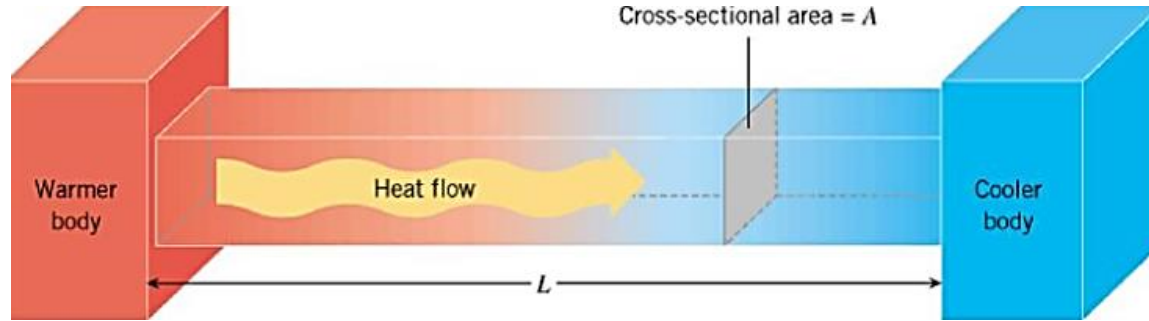
- **toplotni fluks  $F$  ( $\Phi$ )** – količina toplote u jedinici vremena, odnosno, brzina prenošenja toplotne energije

$$F = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \left[ \frac{J}{s} = W \right]$$

- **gustina toplotnog fluksa /specifični toplotni fluks  $q(\Phi A)$**  - toplotni fluks po jedinici površine, odnosno, toplotna energija koja u jedinici vremena prođe kroz jediničnu površinu

$$q = \frac{\Delta Q}{\Delta t \cdot A} \left[ \frac{J}{s \cdot m^2} \right]$$

# Provođenje toplote (kondukcija)



$$q = \frac{Q}{t} = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{l}$$

Q – količina toplote (J)

Q/t (q) – specifični toplotni fluks (W)

$\lambda$  – koeficijent toplotne provodljivosti (W/mK)

$\Delta T$  – razlika temperatura (K)

A – površina (m<sup>2</sup>)

l – dužina (m)

# Koeficijent provođenja toplote

Karakteristika materijala koja govori o intenzitetu kretanja toplote provođenjem kroz materijal naziva se **koeficijent provođenja ( $\lambda$ )**.

Najbolji provodnici toplote su metali, kod kojih je  $\lambda=20\div 420$  W/mK. Kod metala opada sa temperaturom.

Materijali sa  $\lambda < 0,25$  W/mK se primenjuju za toplotnu izolaciju.

Kod tečnosti toplotna provodnost se smanjuje sa porastom temperature i u proseku iznosi  $0,07\div 0,7$  W/mK.

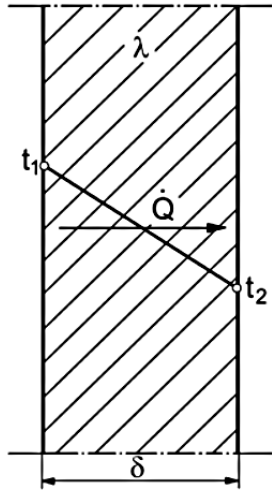
Najlošije provode toplotu gasovi. Toplotna provodnost gasova praktično ne zavisi od pritiska, a raste sa porastom temperature. On se kreće u granicama  $0,006\div 0,6$  W/mK.

Na primer, za vazduh pri  $0^\circ\text{C}$  je  $\lambda=0,024$  W/mK.

**Koeficijent provođenja toplote,  $\lambda$**

Materijal	$\lambda$ , W/m·K	Materijal	$\lambda$ , W/m·K
Ugljenik (tip IIa)	2620	Beton	0,663
Srebro (čisto)	429	Voda	0,611
Bakar (čisti)	401	Pijesak	0,93
Nerđajući čelik (AISI 316)	13,4	Fiberglas izolacija	0,046
Ugljenik (amorfni)	1,6	Vazduh	0,0262
Staklo (pireks)	1,0		

# Provođenje toplote kroz jednoslojan ravan zid



**Količina toplote (Q)** koja prolazi kroz zid srazmerna koeficijentu provođenja zida ( $\lambda$ ), razlici temperatura ( $t_1 - t_2$ ), površini zida ( $A$ ), vremenu prostiranja toplote ( $\tau$ ), a obrnuto srazmerna debljini zida ( $\delta$ ).

$$Q = \lambda \cdot \frac{t_1 - t_2}{\delta} \cdot A \cdot \tau \text{ [J]}$$

Količina toplote koja se provodi u jedinici vremena naziva se **toplotni protok (fluks) ( $\dot{Q}$ )**.

$$\dot{Q} = \frac{Q}{\tau} = \lambda \cdot \frac{t_1 - t_2}{\delta} \cdot A \text{ [W]}$$

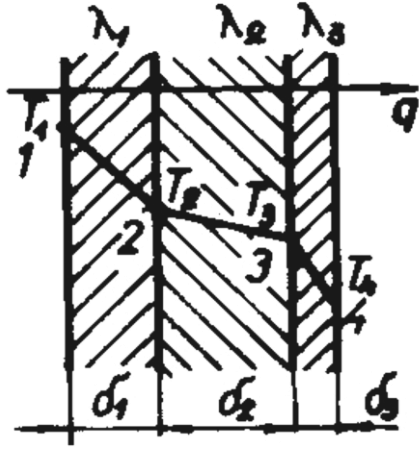
Još jednostavnije provođenje se izražava gustinom toplotnog protoka, koja se naziva i **specifični protok ( $\dot{q}$ )**.

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} = \lambda \cdot \frac{t_1 - t_2}{\delta} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta}{\lambda}} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

Q – količina toplote (J)  
Q/t (q) – specifični toplotni fluks (W)  
 $\lambda$  – koeficijent provodljivosti (W/mK)  
 $\Delta T$  – razlika temperatura (K)  
A – površina (m<sup>2</sup>)



# Provođenje toplote kroz višeslojan ravan zid



**Količina toplote (Q)**

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

**Toplotni protok (fluks) ( $\dot{Q}$ ).**

$$\dot{Q} = \frac{Q}{\tau} \text{ [W]}$$

**Specifični protok ( $\dot{q}$ ).**

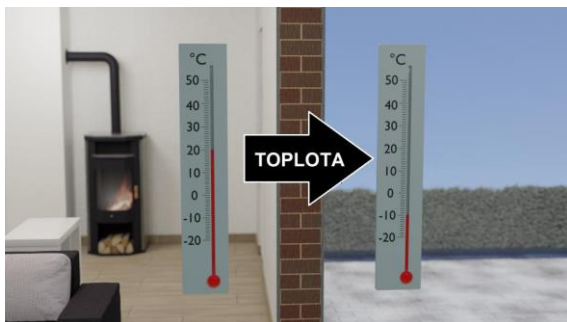
$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{t_1 - t_4}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

Q – količina toplote (J)  
Q/t (q) – specifični toplotni fluks (W)  
 $\lambda$  – koeficijent provodljivosti (W/mK)  
 $\Delta T$  – razlika temperatura (K)  
A – površina (m<sup>2</sup>)

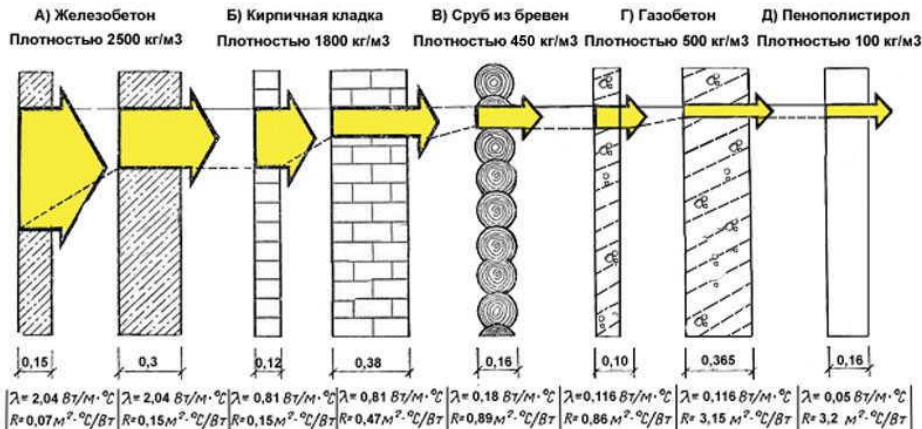
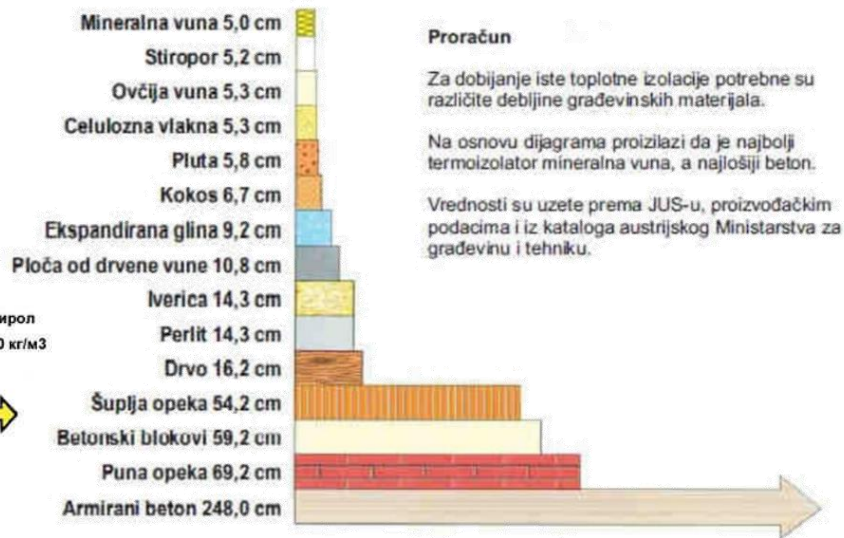
Za n-to struki ravan zid:

$$\dot{q} = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

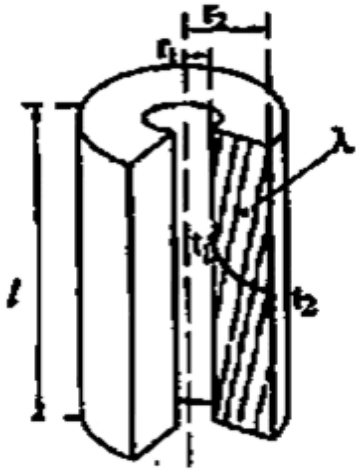
# Provođenje toplote kroz zidove



## Poređenje debljina materijala koje pružaju istu termoizolaciju



# Provođenje toplote kroz jednoslojan cilindričan zid



**Količina toplote (Q)**

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

**Toplotni protok (fluks) ( $\dot{Q}$ )**

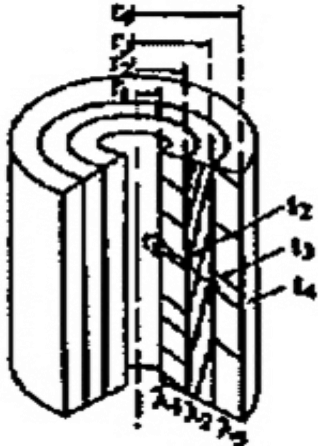
$$\dot{Q} = \frac{Q}{\tau} \text{ [W]}$$

**Specifični protok ( $\dot{q}$ )**

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{l} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right]$$

- Q – količina toplote (J)
- Q/t (q) – specifični toplotni fluks (W)
- $\lambda$  – koeficijent provodljivosti (W/mK)
- $\Delta T$  – razlika temperatura (K)
- $d_1$  – unutrašnji prečnik cevi (m)
- $d_2$  – spoljašnji prečnik cevi (m)
- l – dužina (m)

# Provođenje toplote kroz višeslojan cilindričan zid



**Količina toplote (Q)**

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

**Toplotni protok (fluks) ( $\dot{Q}$ )**

$$\dot{Q} = \frac{Q}{\tau} \text{ [W]}$$

**Specifični protok ( $\dot{q}$ )**

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{l} = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi\lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right]$$

- Q – količina toplote (J)
- Q/t (q) – specifični toplotni fluks (W)
- $\lambda$  – koeficijent provodljivosti (W/mK)
- $\Delta T$  – razlika temperatura (K)
- $d_1$  – unutrašnji prečnik cevi (m)
- $d_2$  – spoljašnji prečnik cevi (m)
- l – dužina (m)