

# *Prijenos topline*

**FIZIKA  
PSS-GRAD  
13. prosinca 2023.**



**WILEY**

Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

**konvekcija**

**kondukcija**

**radijacija**

**termik**

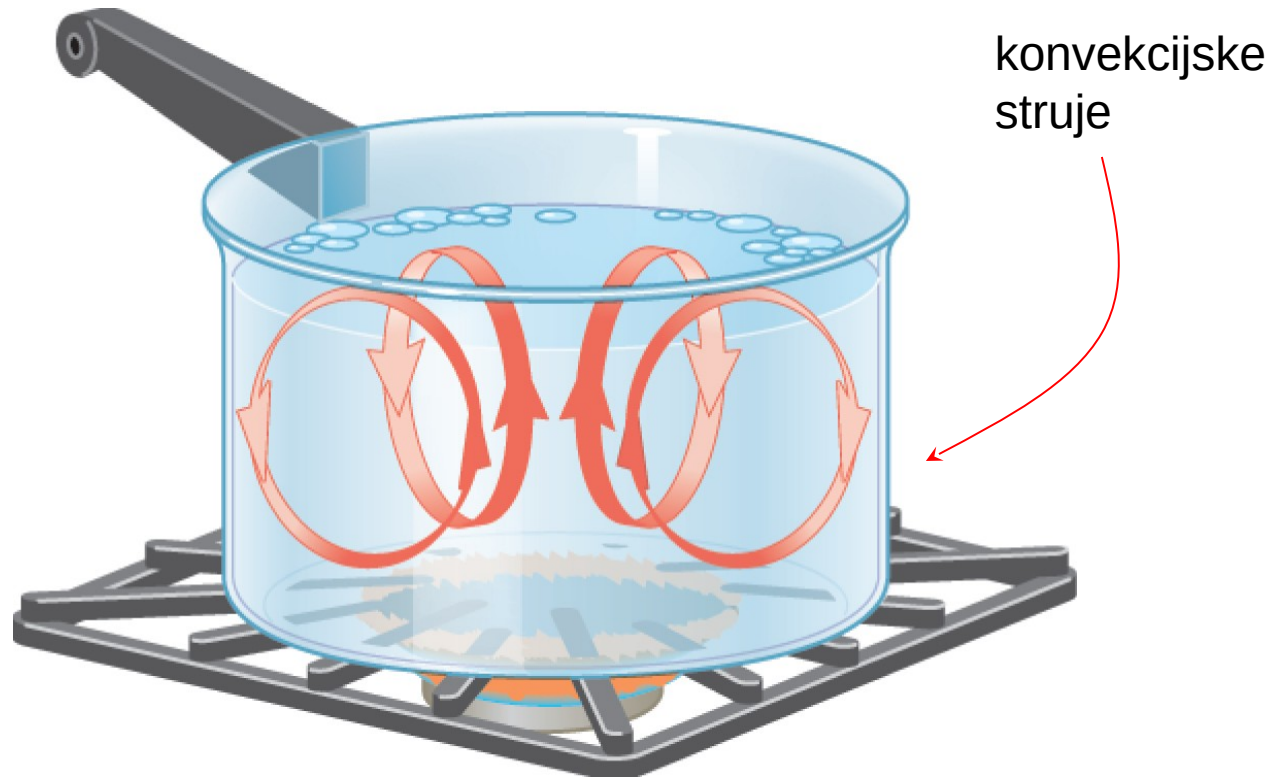
**kiler**

**luminoznost**



### STRUJANJE (konvekcija)

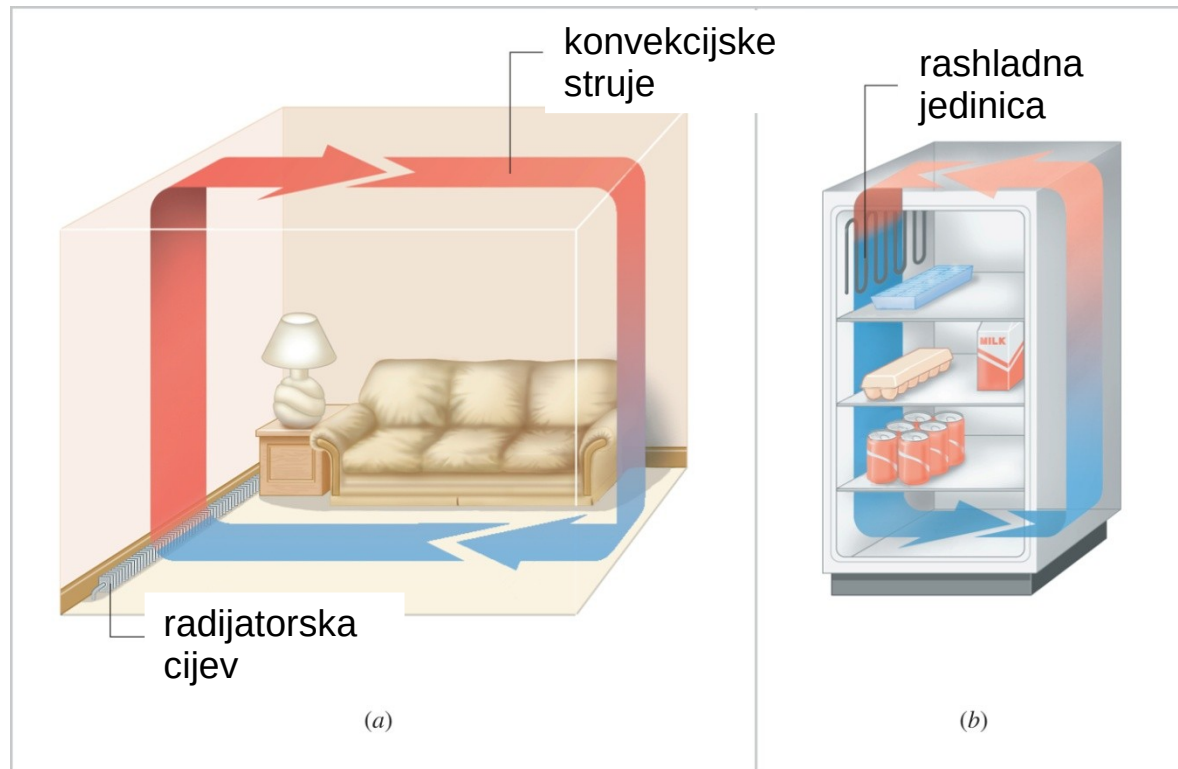
Strujanje je proces u kojem se toplina s jednog mjesta na drugo prenosi gibanjem dijelova fluida (zbog razlike gustoća toplijih i hladnijih dijelova).



**konvekcija** = prijenos topline strujanjem čestica fluida

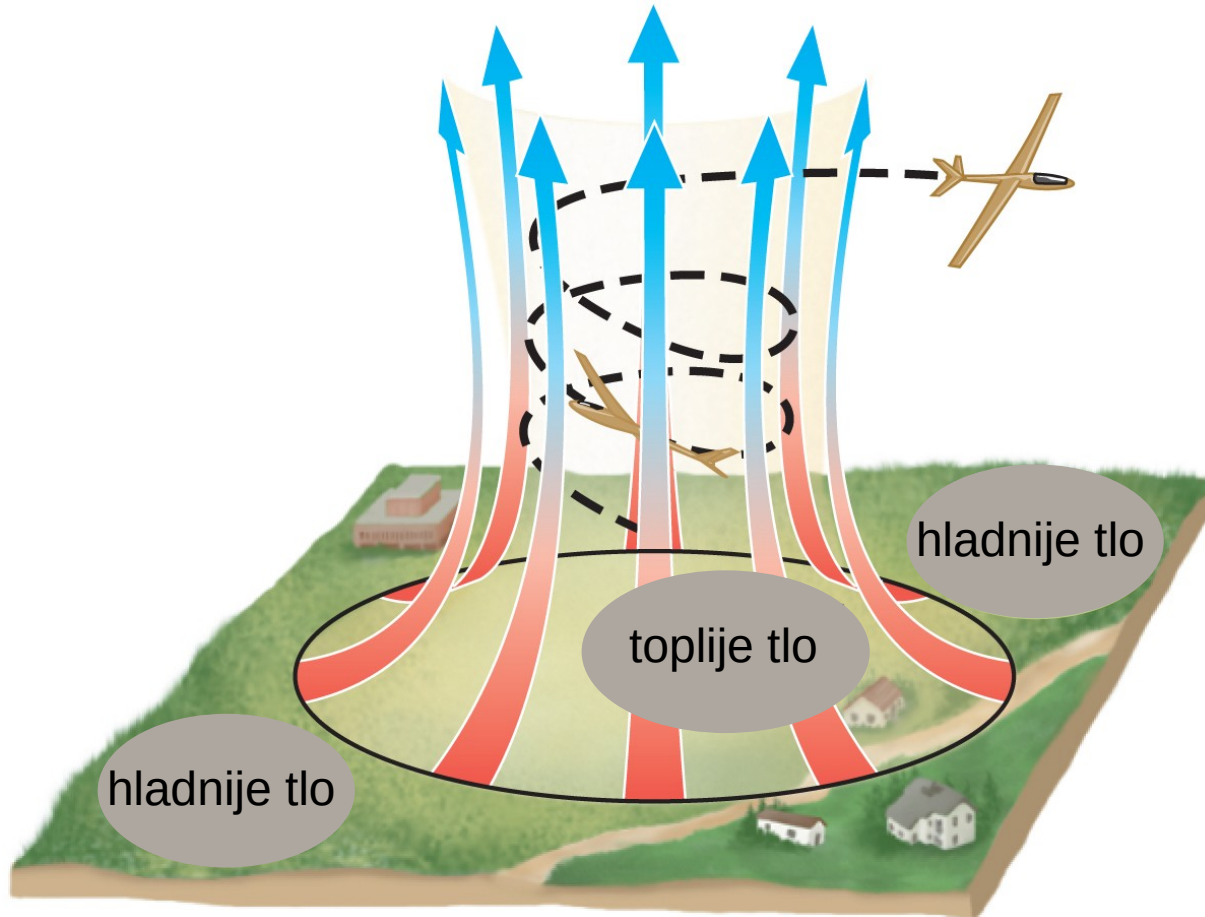
### Konceptualni primjer 1 Radijatorske cijevi i hladnjaci

Radijatorske cijevi s vrućom vodom postavljene su na zid blizu poda. Rashladna jedinica hladnjaka postavljena je pri vrhu hladnjaka. Svaki od tih položaja odabran je tako da najviše pogoduje razvoju konvekcijskih struja. Objasnite.



## 13.1 Strujanje

Piloti jedrilica koriste *termike* za uspinjanje.

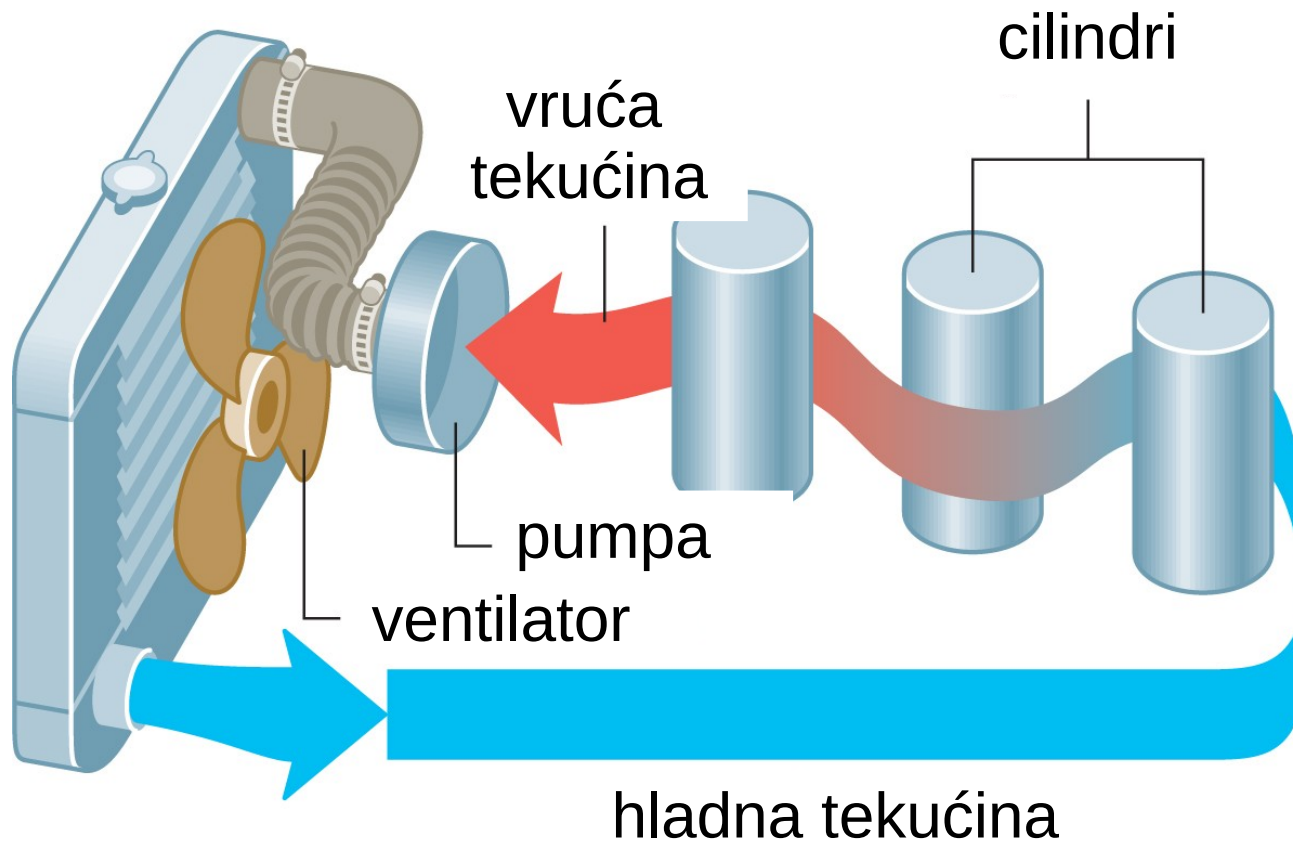


**termik** = stup uzlaznog strujanja zraka

**WILEY**

Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

## Prisilno strujanje



**kiler** = hladnjak automobila (njem. Kühler, engl. chiller)

### VOĐENJE (kondukcija)

Vođenje je proces u kojem se toplina s jednog mjesta na drugo prenosi kroz materijal, ali bez gibanja (makroskopskih) dijelova materijala.

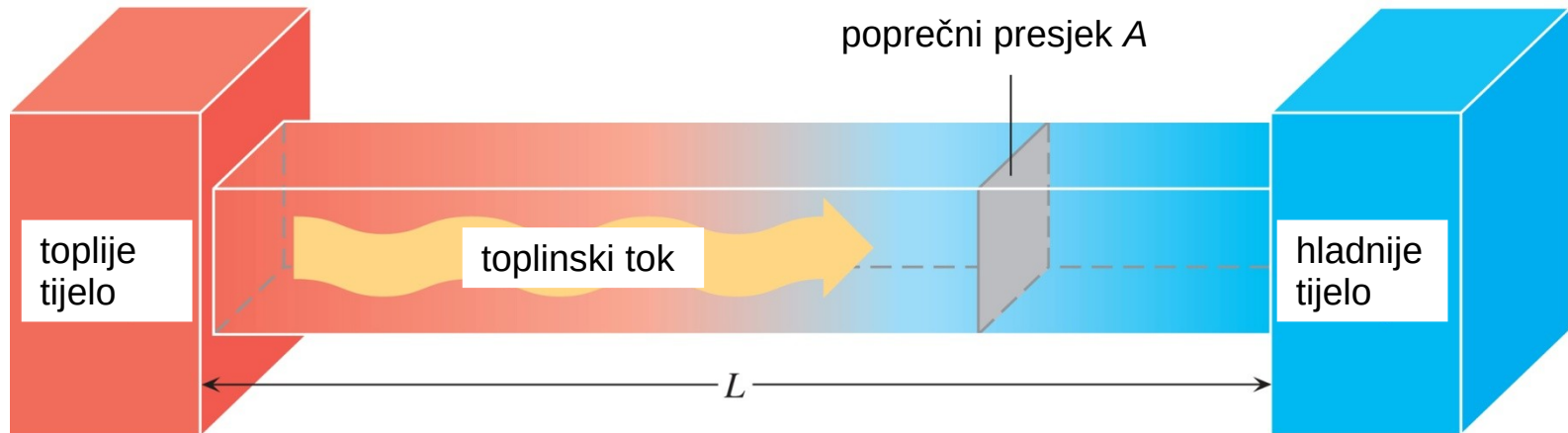
Jedan od mehanizama vođenja temelji se na titranju atoma ili molekula. Čestice u toplijem dijelu titraju intenzivnije nego čestice u hladnijem dijelu.

Objašnjeno međusobnim sudarima: molekule s većim energijama predaju dio svoje energije susjednim molekulama s manje energije.

Materijale koji dobro vode toplinu nazivamo **toplinskim vodičima**, a one koji slabo vode toplinu **toplinskim izolatorima**.

**kondukcija** = prijenos topline kroz medij bez transporta mase

## 13.2 Vođenje



Iznos topline  $Q$  koji se vođenjem prenese kroz šipku ovisi o nekoliko faktora:

1. trajanju vođenja
2. razlici temperatura krajeva šipke
3. poprečnom presjeku šipke
4. duljini šipke



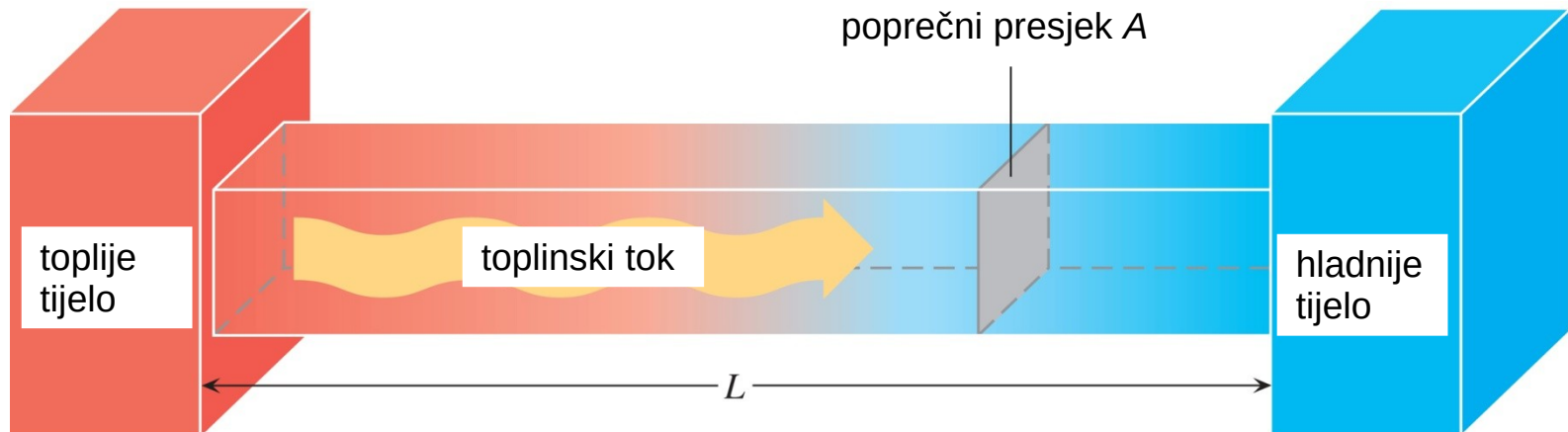
### VOĐENJE TOPLINE KROZ MATERIJAL

Toplina  $Q$  prenesena vođenjem za vrijeme  $t$  kroz šipku duljine  $L$  i poprečnog presjeka  $A$  je

$$Q = \frac{k A \Delta T t}{L}$$

toplinska vodljivost

Jedinica SI toplinske vodljivosti:  $\text{J s}^{-1} \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$



## 13.2 Vođenje

**Table 13.1** Thermal Conductivities<sup>a</sup> of Selected Materials

Substance	Thermal Conductivity, $k$ [J/(s · m · °C)]
<i>Metals</i>	
Aluminum	240
Brass	110
Copper	390
Iron	79
Lead	35
Silver	420
Steel (stainless)	14
<i>Gases</i>	
Air	0.0256
Hydrogen (H <sub>2</sub> )	0.180
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	0.0258
Oxygen (O <sub>2</sub> )	0.0265

### *Other Materials*

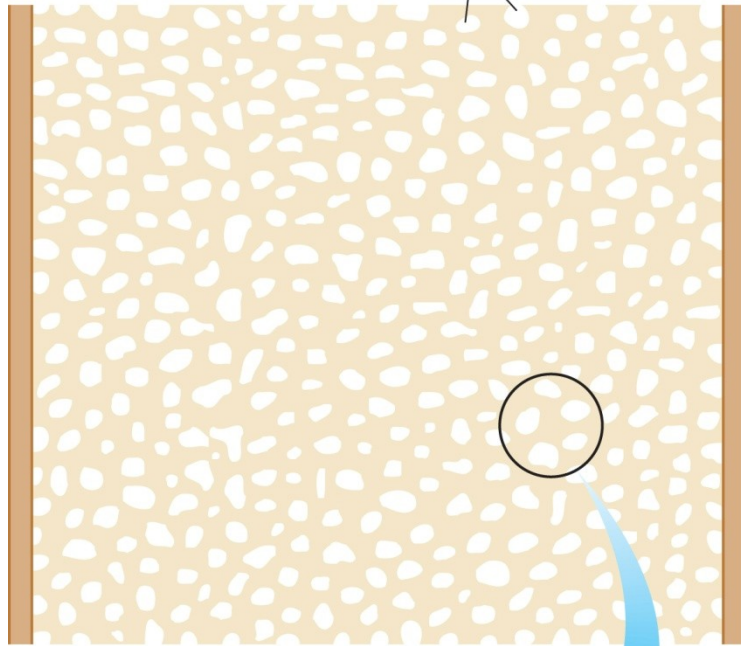
Asbestos	0.090
Body fat	0.20
Concrete	1.1
Diamond	2450
Glass	0.80
Goose down	0.025
Ice (0 °C)	2.2
Styrofoam	0.010
Water	0.60
Wood (oak)	0.15
Wool	0.040

<sup>a</sup>Except as noted, the values pertain to temperatures near 20 °C.

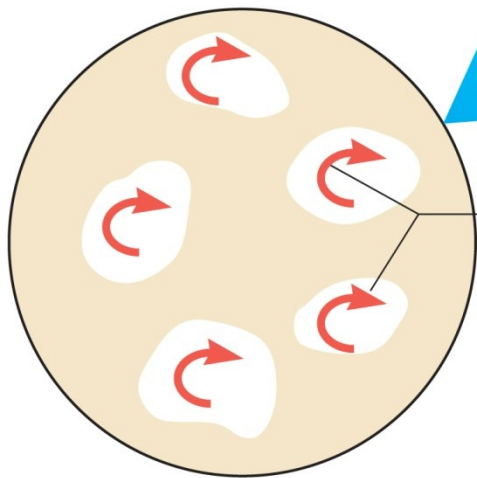
**WILEY**

## 13.2 Vođenje

zarobljeni zračni mjehurići



Šupljikavi materijali obično su izvrsni toplinski izolatori.



sićušne konvekcijske struje

**WILEY**

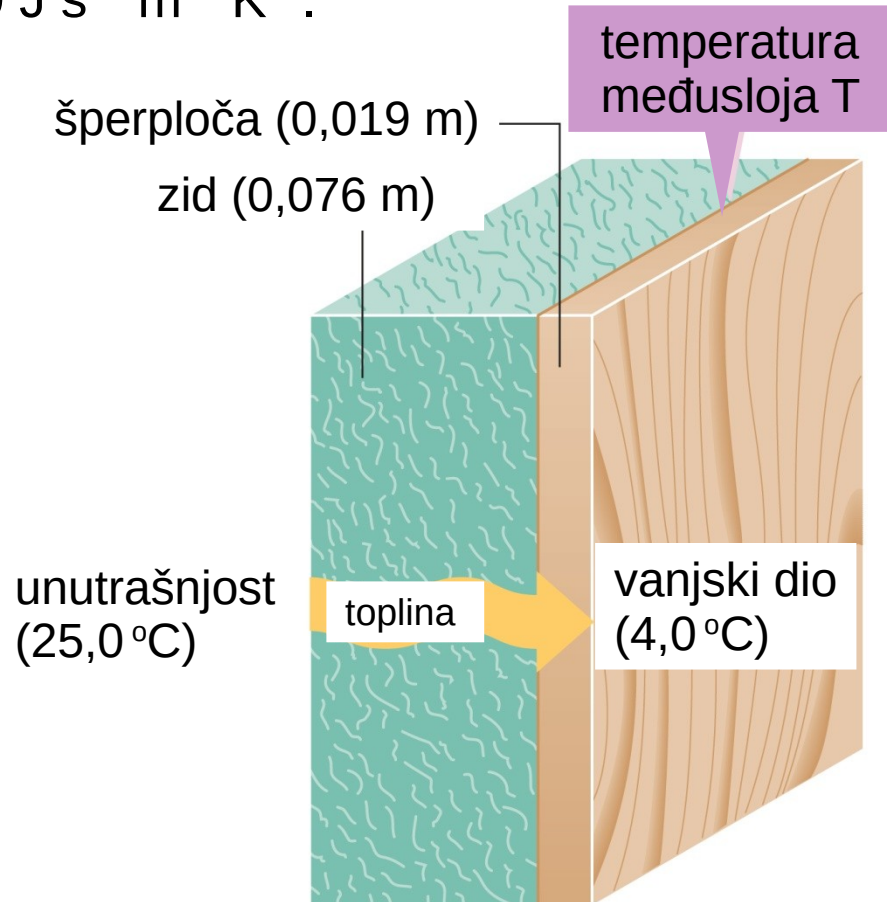
### Primjer 4 Slojevita toplinska izolacija

Jedan je zid kuće pokriven šperpločom.

Toplinska vodljivost zida je  $0,030 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ,  
a toplinska vodljivost šperploče  $0,080 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

Površina zida je  $35 \text{ m}^2$ .

Kolika se toplina izgubi kroz taj zid  
u jednome satu?



## 13.2 Vođenje

$$Q = Q_{\text{zid}} = Q_{\text{šperploča}}$$

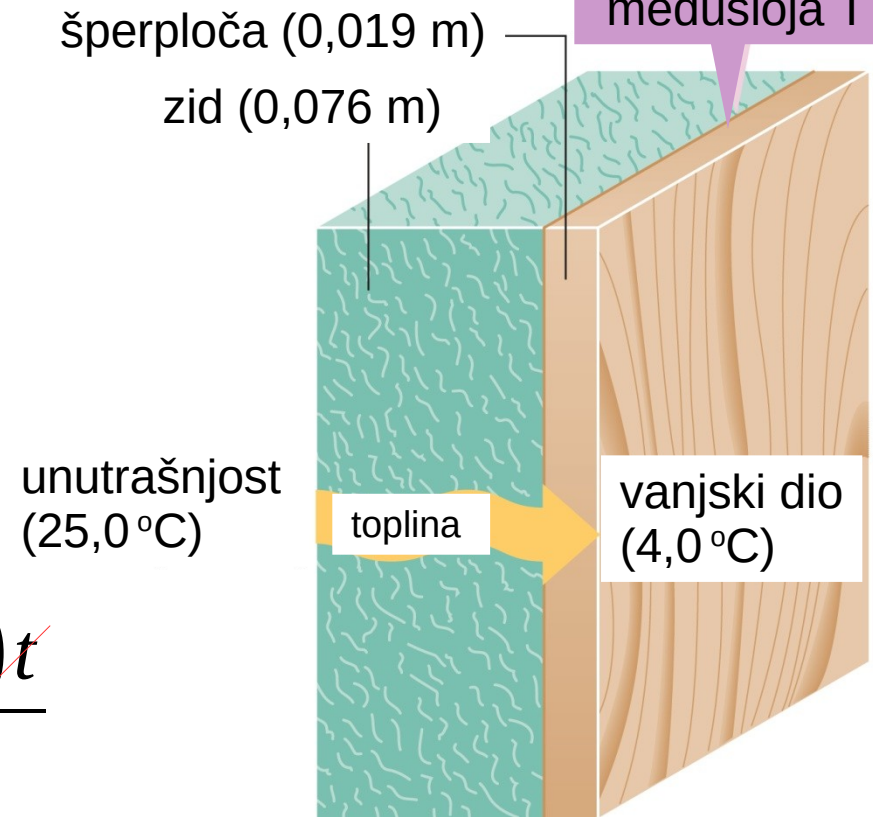
$$Q = Q_1 = Q_2$$

Najprije treba naći temperaturu međusloja.

$$\frac{k_1 A (T_1 - T) t}{L_1} = \frac{k_2 A (T - T_2) t}{L_2}$$

$$\frac{0,030 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1} (25,0^\circ \text{C} - T)}{0,076 \text{ m}} = \frac{0,080 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1} (T - 4,0^\circ \text{C})}{0,019 \text{ m}}$$

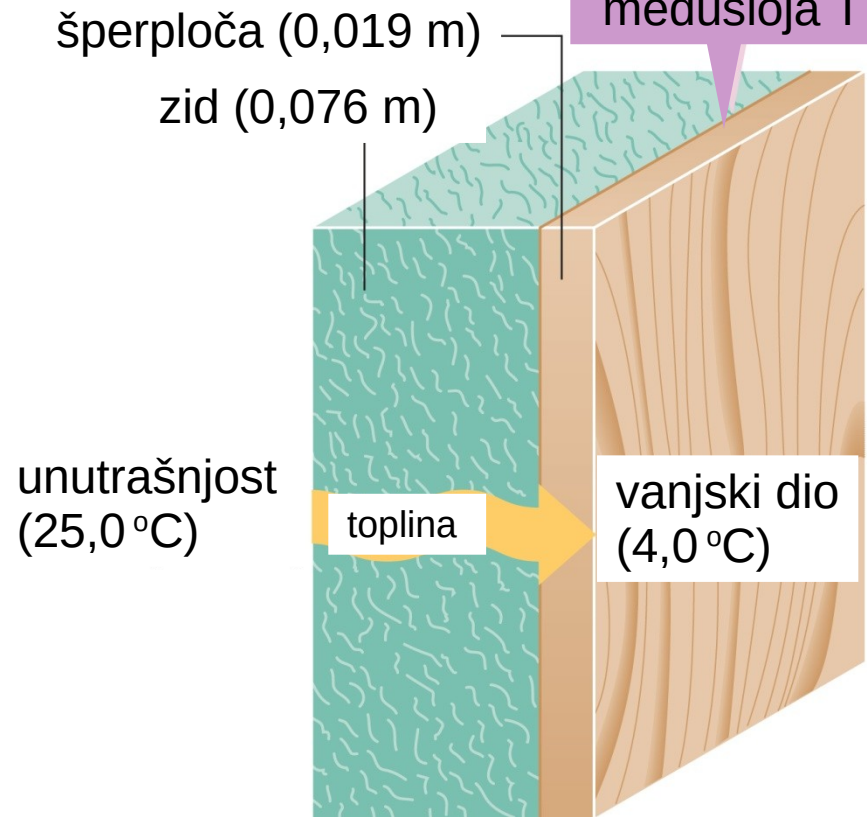
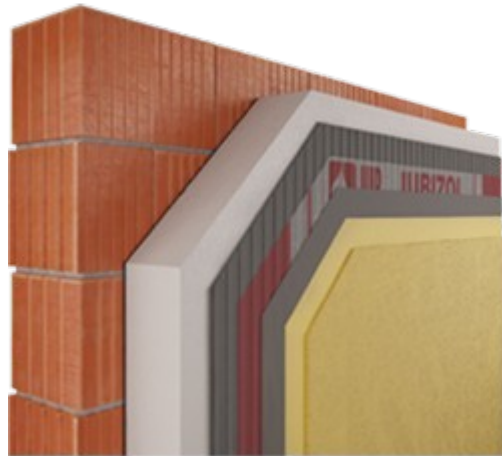
⇒  $T = 5,8^\circ \text{C}$



WILEY

Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

## 13.2 Vođenje



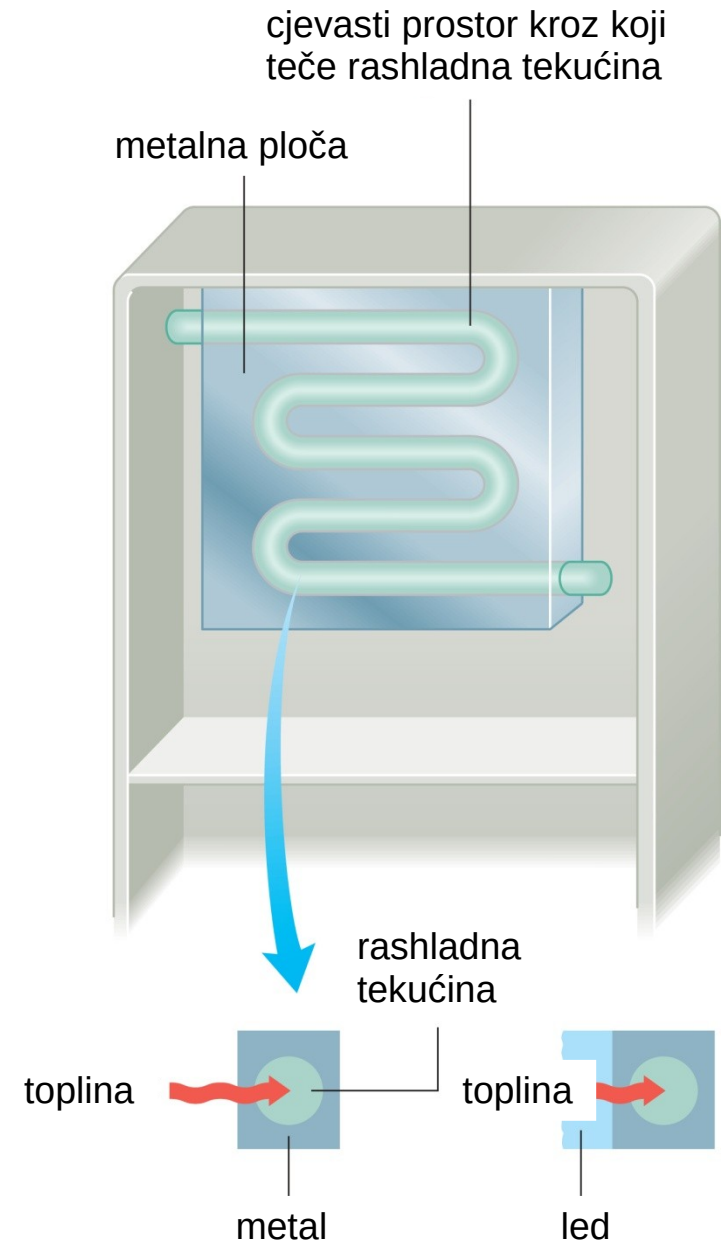
$$Q = \frac{0,030 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 35 \text{ m}^2 \cdot (25,0^\circ \text{C} - 5,8^\circ \text{C}) \cdot 3600 \text{ s}}{0,076 \text{ m}}$$

$$Q = 9,5 \cdot 10^5 \text{ J}$$

WILEY

### Konceptualni primjer 5 Zaleđeni hladnjak

Toplina se u hladnjaku odvodi hladnom rashladnom tekućinom koja cirkulira kroz cjevasti prostor u metalnoj ploči. Bi li ploča trebala biti aluminijska ili čelična? Hoće li sustav bolje ili lošije raditi kad je prekriven slojem leda?



## Najčešći kvar perilice rublja

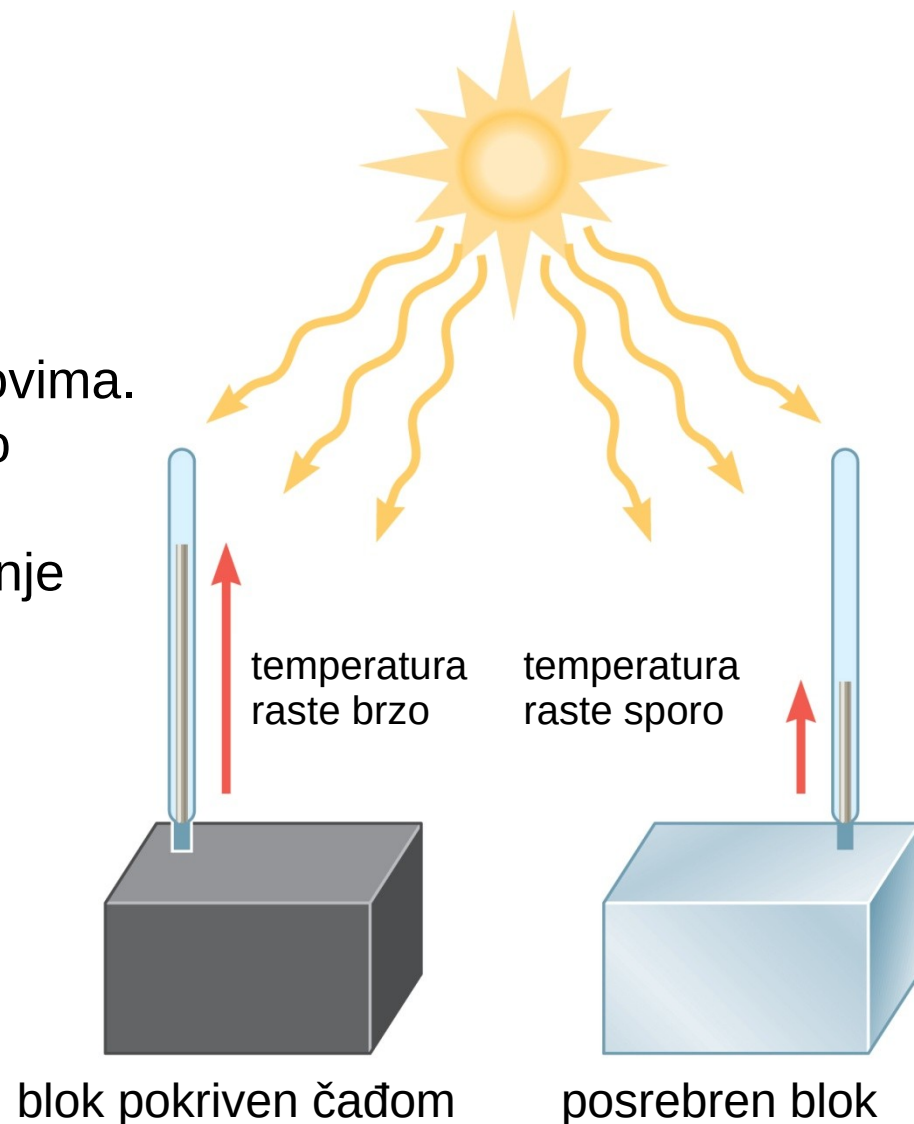
Zašto “pregori” grijač perilice?





### ZRAČENJE (radijacija)

Zračenje je proces u kojem se toplina (openito, energija) s jednog mjesta na drugo prenosi elektromagnetskim valovima. Materijal koji je dobar apsorber ujedno je i dobar emiter. Materijal koji potpuno apsorbira zračenje nazivamo **savršenim crnim tijelom**.




**radijacija** = prijenos topline kroz prostor elektromagnetskim valovima

## 13.3 Zračenje

Stupanj emisije  $e$  je bezdimenzijski broj između nula i jedan. To je omjer energije koju tijelo emitira i energije koju bi tijelo emitiralo da je savršeni emiter.

### STEFAN-BOLTZMANNOV ZAKON ZRAČENJA

Energija  $Q$  koju tijelo (temperature  $T$ , površine  $A$  i stupnja emisije  $e$ ) emitira za vrijeme  $t$  dana je izrazom

$$Q = e \sigma T^4 A t$$


Stefan-Boltzmannova konstanta

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

$$L = \frac{Q}{t} = e \sigma T^4 A$$

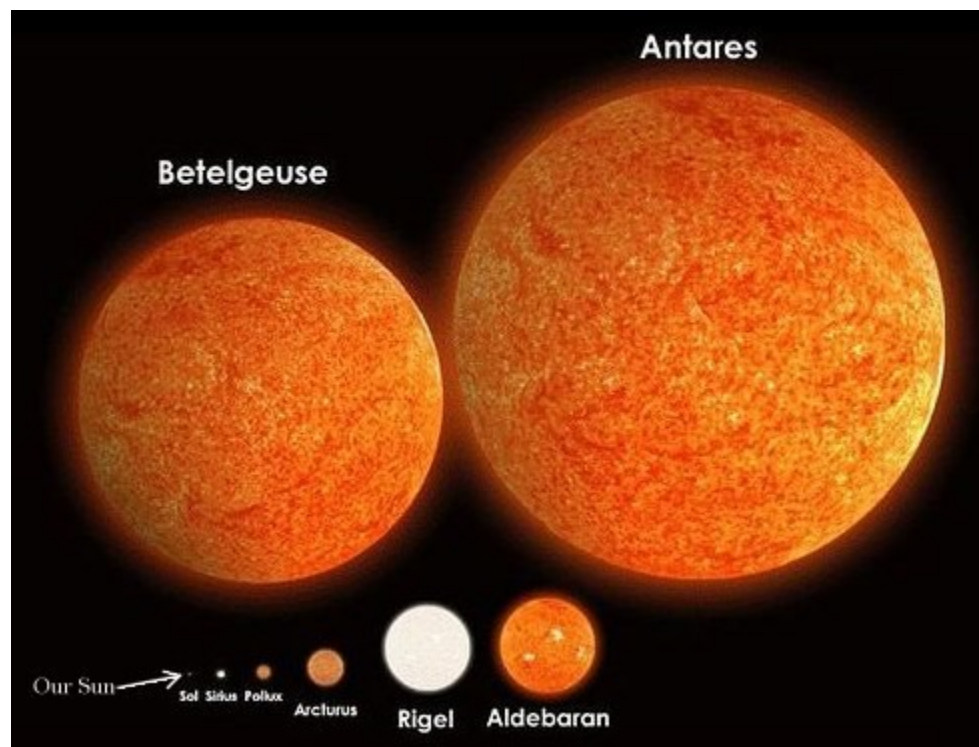
**luminoznost** = snaga zračenja kozmičkog izvora

WILEY

### Primjer 6 Zvijezda superdiv

Superdivovska zvijezda Betelgeuse ima površinsku temperaturu oko 2900 K, a snaga kojom zrači je oko  $4 \cdot 10^{30}$  W.

Odredite polumjer te zvijezde uz pretpostavku da je kugla i savršeni emiter.



$$Q = e \sigma T^4 \underbrace{A}_{4r^2\pi} t$$

$$Q = e \sigma T^4 \cdot 4 r^2 \pi t \quad P = \frac{Q}{t} \quad e = 1$$

$$r = \sqrt{\frac{Q}{e \sigma T^4 \cdot 4 \pi t}} = \sqrt{\frac{P}{e \sigma T^4 \cdot 4 \pi}}$$

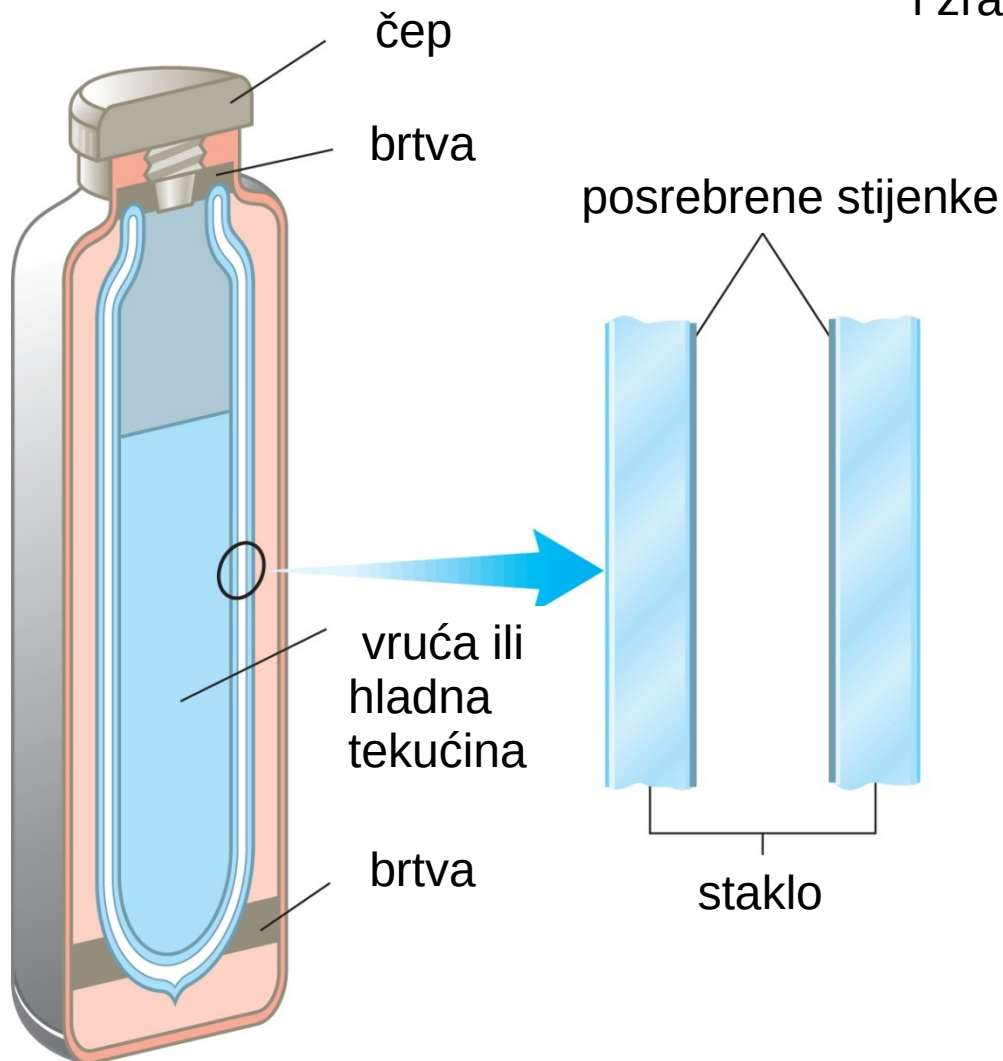
$$r = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{30} \text{ W}}{1,5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Js}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-4} (2900 \text{ K})^4 \cdot 4 \pi}}$$

$$r = 3 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

## 13.4 Primjene

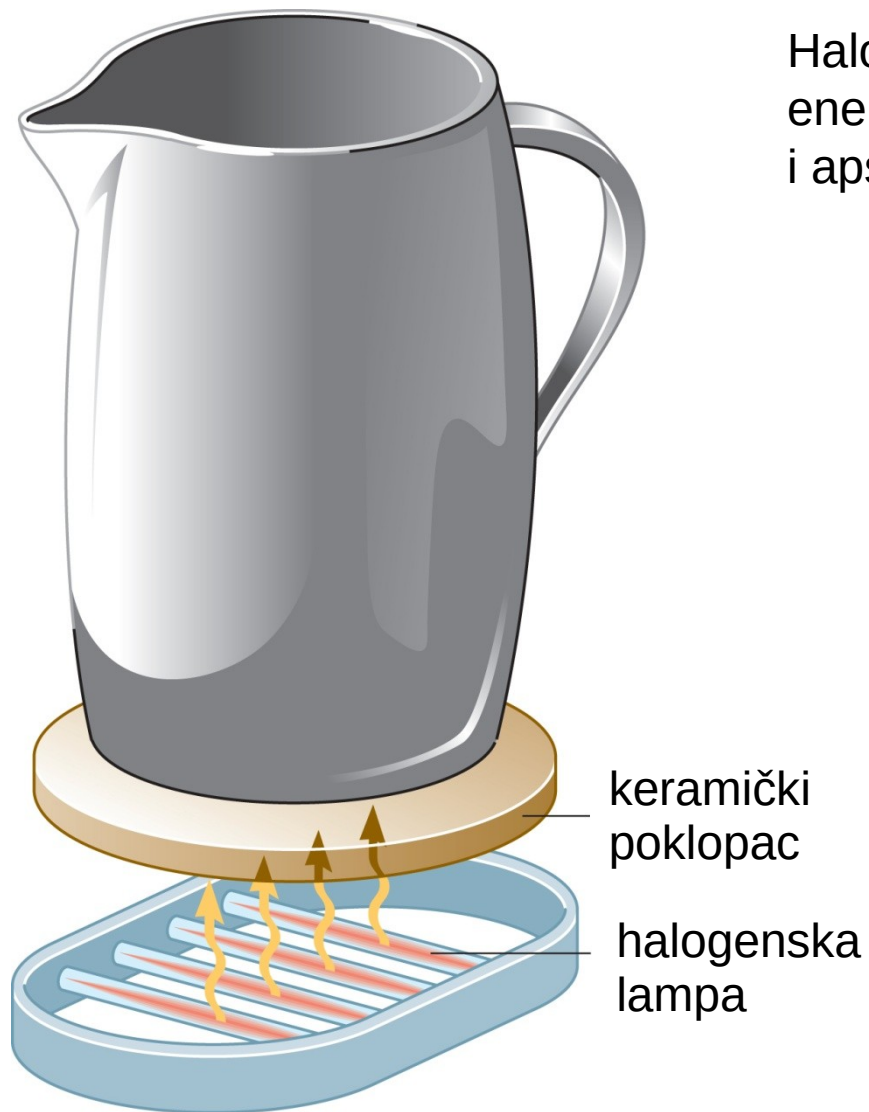
### TERMOSICA

Prijenos topline (vođenjem, strujanjem i zračenjem) sveden je na minimum.



WILEY

## 13.4 Primjene



Halogensko kuhalo emitira elektromagnetsku energiju koja prolazi kroz keramički poklopac i apsorbira se izravno u dnu vrča.

**WILEY**

Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

# ZADACI ZA VJEŽBU

1. Toplina u jedinici vremena koju krvne kapilare vode do kože je 240 J/s. Debljina kože je 2,0 mm, a ukupna površina kože 1,6 m<sup>2</sup>. Uz pretpostavku da je toplinska vodljivost kože jednaka toplinskoj vodljivosti masnog tkiva (pogledajte tablicu) odredite razliku temperatura između unutrašnjeg i vanjskog dijela kože.

**RJEŠENJE: 1,5 °C**

2. Soba se grije električnom grijalicom. Temperatura unutrašnje (sobne) površine betonskog zida je 20,0 °C, a vanjske (fasadne) površine zida je 12,8 °C. Zid ima debljinu 0,10 m i površinu 9,0 m<sup>2</sup>. Pretpostavite da 1 kWh električne energije košta 1 €. Za koje se vrijeme kroz zid izgubi energija vrijedna 10 €?

**RJEŠENJE: 14 h**

3. Jedan kraj željeznog žarača nalazi se u vatri na temperaturi od 502 °C, a drugi je izvan vatre na temperaturi 26 °C. Žarač je dug 1,2 m i kružnog presjeka promjera 1,0 cm. Kolika toplina prođe žaračem, s jednog kraja na drugi, za 5,0 s? Zanemarite gubitke topline uzduž žarača.

**RJEŠENJE: 12 J**



**WILEY**

## ZADACI ZA VJEŽBU

4. Jedan kraj mjedene šipke drži se na temperaturi  $306\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a drugi na kontantnoj, ali nižoj, temperaturi. Površina presjeka šipke je  $2,6 \cdot 10^{-4}\text{ m}^2$ . Zbog izolacije uzduž šipke gubici topline su zanemarivi. Brzina kojom toplina prolazi kroz šipku je  $3,6\text{ J/s}$ . Koja je temperatura dijela šipke udaljenog  $15\text{ cm}$  od toplijeg kraja?  
**RJEŠENJE:  $290\text{ }^{\circ}\text{C}$**

5. Dva lonca su po svemu identična osim što jedan ima aluminijsko, a drugi bakreno dno. Voda se u oba lonca zagrije do vrelišta za isto vrijeme grijanja. Temperatura ploče na kojoj je lonac s aluminijskim dnom iznosi  $155,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Uz pretpostavku da se voda grije samo kroz dno lonca, izračunajte temperaturu ploče na kojoj je lonac s bakrenim dnom.  
**RJEŠENJE:  $134^{\circ}\text{C}$**

6. Sirius B je bijela zvijezda čija je površinska temperatura (u kelvinima) četiri puta veća od površinske temperature Sunca. Snaga zračenja Siriusa B manja je od snage zračenja Sunca za faktor  $0,040$ . Odredite polumjer Siriusa B, ako je polumjer Sunca  $6,96 \cdot 10^8\text{ m}$ .  
**RJEŠENJE:  $8,7 \cdot 10^6\text{ m}$**



# ZADACI ZA VJEŽBU

7. Čvrsta kugla ima temperaturu 773 K. Kuglu rastopimo i preoblikujemo u kocku. Kolika je temperatura kocke ako ona zrači istom snagom kojom je zračila kugla?

**RJEŠENJE: 732 K**

8. Bakrena cijev vanjskog polumjera 0,013 m prolazi kroz zid kuće do vanjske pipe. Temperatura pipe je 4 °C, a temperatura cijevi - na tri metra od pipe - je 25 °C. Za 15 minuta cijev provede ukupno 270 J topline iz unutrašnjosti kuće do vanjske pipe. Koliki je unutrašnji polumjer cijevi? Vodu u cijevi zanemarite.

**RJEŠENJE: 0,012 m**

9. Koliko dana treba savršeno crnom tijelu (stranice 0,0100 m i temperature 30,0°C) da izrači istu energiju kao žarulja snage 100 W koja sjaji jedan sat?

**RJEŠENJE: 14,5 d**

10. Tijelo se nalazi u sobi čija je temperatura 293 K. Tijelo emitira (zračenjem) tri puta više energije u jedinici vremena nego što apsorbira od sobe. Na kojoj se temperaturi tijelo nalazi? Pretpostavite da je ta temperatura stalna.

**RJEŠENJE: 386 K**

# PITANJA ZA PONAVLJANJE

1. Strujanje (konvekcija)
2. Vođenje (kondukcija)
3. Vođenje topline kroz materijal
4. Toplinski izolator
5. Zračenje (radijacija)
6. Stefan-Boltzmannov zakon
7. Savršeno crno tijelo
8. Zaleđeni hladnjak i iglu
9. Termosica
10. Izo-staklo i termo-fasada