

# Izbrane naloge za predmeta Gradbena fizika Uvod v gradbeno fiziko

Marko Pinterič

© 2014 – 2015

verzija 0,9; 25.1.2015

Naloge za predmeta Gradbena fizika in Uvod v gradbeno fiziko so izbrane za lažje spremljanje vaj. Naloge so deloma povzete po drugih zbirkah, deloma pa izvirne. Zbirka se neprestano izboljšuje, zaradi povečanja števila problemov pa se številke problemov lahko na začetku vsakega šolskega leta spremenijo.

Zadnjo verzijo lahko najdete na spletni strani <http://mpinter.ifs.hr/student/>.

Zbirka je izdelana s pomočjo programskega paketa L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X, slike pa s knjižnico TikZ/PGF.

## **Kazalo**

<b>1</b>	<b>Osnove termodinamike</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Prenos toplote</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Prenos toplote v konstrukcijah</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Navlaževanje gradbenih konstrukcij</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Osnove valovanja</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>Širjenje hrupa</b>	<b>8</b>
<b>7</b>	<b>Gradbena akustika</b>	<b>9</b>
<b>8</b>	<b>Svetloba</b>	<b>10</b>

# 1 Osnove termodinamike

**1.1** V jeklenko prostornine 100 L želimo spraviti 2,0 kg kisikovega plina pri temperaturi 20 °C. Kolikšni tlak mora prenesti jeklenka, če je molska masa kisika 0,032 kg/mol? ( $1,5 \times 10^6$  Pa)

**1.2** Izračunajte gostoto zraka pri tlaku 1,00 bar in temperaturah 10,0 °C in 20,0 °C, če je molska masa zraka 29,0 g/mol ( $1,23 \text{ kg/m}^3$ ,  $1,19 \text{ kg/m}^3$ ).

**1.3** Mešanica plinov mase 10,0 kg in molske mase 0,026 kg/mol vsebuje 2,0 kg kisika molske mase 0,032 kg/mol. Kolikšen je parcialni tlak kisika, če je tlak mešanice plinov 2,5 bar? (0,41 bar)

**1.4** Zrak je v zaprt v sobi prostornine  $10 \text{ m}^3$  pri atmosferskem tlaku  $1,013 \times 10^5$  Pa in temperaturi 10 °C. Koliko toplote moramo dovesti, če želimo zrak segreti na 30 °C, v primerih da (a) soba dobro tesni (b) soba ne tesni? Molska masa zraka je 29 g/mol, specifična toplotna kapaciteta pri konstantni prostornini pa je 720 J/(kg K). (180 kJ, 250 kJ)

**1.5** V posodo iz nerjavečega jekla mase 600 g vlijemo 2,0 L kapljevinate vode. Temperatura posode in vode je 20 °C. Za koliko časa moramo vključiti grelec moči 1,0 kW, da se posoda in voda segrejeta do vrelišča vode? Specifična toplotna kapaciteta nerjavečega jekla je 600 J/(kg K), vode pa 4200 J/(kg K). (12 min)

**1.6** V vodo mase 2,0 kg pri temperaturi 18 °C vržemo stekleno kroglico polmera 2,5 cm pri temperaturi 150 °C. Izračunajte ravnovesno temperaturo, če je specifična toplotna kapaciteta vode 4200 J/(kg K), stekla 800 J/(kg K), gostota stekla pa  $2,5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ . (20 °C)

**1.7** V vodo mase 1,0 kg pri temperaturi 20 °C vržemo kocko iz aluminija mase 1,0 kg pri temperaturi 600 °C. Koliko vode izpari, če je specifična toplotna kapaciteta vode 4200 J/(kg K), aluminija 900 J/(kg K), specifična izparilna toplota vode pa  $2,26 \times 10^6 \text{ J/kg}$ ? (50 g)

**1.8** V dobro izolirano jekleno posodo mase 450 g pri temperaturi 25 °C položimo 500 g ledu pri temperaturi -10 °C in 1,0 kg jekla pri temperaturi 500 °C. Izračunajte ravnovesno temperaturo, če je talilna toplota vode je 336 kJ/kg, specifična toplotna kapaciteta vode 4200 J/(kg K), ledu 2100 J/(kg K), jekla pa 470 J/(kg K). (14 °C)

**1.9** V popolnoma izolirani posodi imamo 2,0 kg kapljevinate vode pri 0 °C. Vodo zmrzujemo tako, da sproti izčrpavamo nastalo paro, dokler vsa kapljevina ne izpari ali zaledeni. Koliko ledu nastane? Specifična talilna toplota vode je 336 kJ/kg, specifična izparilna toplota vode pri 0 °C pa 2,5 MJ/kg. (1,8 kg)

**1.10** Z jeklenim trakom izmerimo dolžino bakrene palice pri temperaturi  $0^\circ\text{C}$  in dobimo vrednost 1250,0 mm. Kakšen odčitek bi dobili pri temperaturi  $50^\circ\text{C}$ , če je dolžinski razteznostni koeficient bakra  $1,7 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ , jekla pa  $1,2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ ? (1250,3 mm)

**1.11** Alkohol v bučki termometra ima pri  $0^\circ\text{C}$  prostornino  $200 \text{ mm}^3$ , premer cevke je 0,50 mm. Kako dolga je stopinja na cevki termometra? Prostorninski razteznostni koeficient za alkohol znaša  $1,1 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ . (1,1 mm)

**1.12** Izračunajte za beton razliko specifičnih toplotnih kapacitet pri konstantnem tlaku in pri konstantni prostornini s pomočjo prvega zakona termodinamike. Specifična toplotna kapaciteta betona pri konstantnem tlaku je  $960 \text{ J}/(\text{kg K})$ , gostota  $2,5 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$ , dolžinski razteznostni koeficient pa  $1,2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ . Vsi podatki so pri atmosferskem tlaku  $1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$ . ( $1,5 \times 10^{-3} \text{ J}/(\text{kg K})$ )

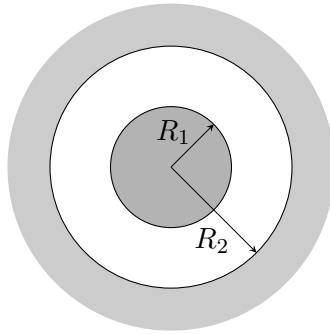
## 2 Prenos toplote

**2.1** Stene zamrzovalnika višine 150 cm, širine 60 cm in globine 60 cm so narejene iz ekspaniranega polistirena debeline 50 mm in toplotne prevodnosti  $0,040 \text{ W}/(\text{m K})$ . Kolikšna mora biti električna moč zamrzovalnika, da pri zunanji temperaturi  $30^\circ\text{C}$  vzdržuje notranjo temperaturo  $-18^\circ\text{C}$ , če je učinkovitost toplotne črpalke je 300 %? (55 W)

**2.2** V posodi v obliki kvadra z robovi dolžine 30 cm, 35 cm in 45 cm, katere stene so iz ekspaniranega polistirena debeline 20 mm in toplotne prevodnosti  $0,040 \text{ W}/(\text{m K})$ , je 2,0 kg ledu pri  $0^\circ\text{C}$ . V kolikšnem času se ves led stopi, če je temperatura okolice  $30^\circ\text{C}$ ? Kako debel sloj ekstrudiranega polistirena toplotne prevodnosti  $0,035 \text{ W}/(\text{m K})$  moramo dodati, da bo led zdržal 7,0 h? Specifična talilna toplota ledu je  $336 \text{ kJ}/\text{kg}$ . (3,9 h, 14 mm)

**2.3** Stena je sestavljena iz dveh slojev. Na zunanji strani je sloj debeline 8,0 cm in toplotne prevodnosti  $0,038 \text{ W}/(\text{m K})$ , na notranji strani pa sloj debeline 15,0 cm in toplotne prevodnosti  $0,16 \text{ W}/(\text{m K})$ . Kolikšna je temperatura na stiku slojev, če je temperatura na zunanji površini stene  $-3,0^\circ\text{C}$ , na notranji površini stene pa  $17,0^\circ\text{C}$ ? Kako daleč od zunanje površine stene je temperatura enaka  $0,0^\circ\text{C}$ ? ( $10,8^\circ\text{C}$ , 1,7 cm)

**2.4** Sferično telo polmera  $R_1$  je popolnoma obdano s koncentrično sferično votlino polmera  $R_2$ . Najdite faktorje vidnosti  $F_{11}, F_{12}, F_{21}, F_{22}$ . ( $0,1, R_1^2/R_2^2, 1 - R_1^2/R_2^2$ )



**2.5** Izračunajte frekvenco elektromagnetnega valovanja valovnih dolžin  $0,50\ \mu\text{m}$  in  $10\ \mu\text{m}$  ( $6,0 \times 10^{14}\ \text{Hz}$ ,  $3,0 \times 10^{13}\ \text{Hz}$ )

**2.6** Izračunajte celotni toplotni tok Sonca, če je temperatura površine  $5780\ \text{K}$ , polmer Sonca pa  $6,96 \times 10^5\ \text{km}$ . Kolikšna je gostota toplotnega toka na površini Zemlje, če je Zemlja od Sonca povprečno oddaljena  $1,50 \times 10^8\ \text{km}$ ? Predpostavite, da je Sonce črno telo in zanemarite vpliv atmosfere. ( $3,85 \times 10^{26}\ \text{W}$ ,  $1360\ \text{W/m}^2$ )

**2.7** Kolikšno temperaturo bi dosegla ravna črna ploskev na Zemeljski površini brez sevanja in konvekcije zaradi okolice, če je ploskev (a) pravokotna na Sončne žarke, (b) s Sončnimi žarki zapira kot  $45^\circ$ ? Gostota toplotnega toka na površini Zemlje je  $1360\ \text{W/m}^2$ . Kolikšno temperaturo bi dosegla ravna siva ploskev, katere emitanca je neodvisna od valovne dolžine? ( $120\ ^\circ\text{C}$ ,  $88\ ^\circ\text{C}$ ; isto)

**2.8** Kolikšno temperaturo bi dosegla ravna črna ploskev na Zemeljski površini, če je ploskev pravokotna na Sončne žarke? Temperatura okolice je  $25\ ^\circ\text{C}$ , gostota toplotnega toka na površini Zemlje  $1360\ \text{W/m}^2$ , povprečna hitrost vetra  $2,0\ \text{m/s}$ , izraz za prestopni površinski koeficient pa je od hitrosti vetra  $v$  odvisen kot

$$h_c = 4 + 4v.$$

Kolikšno temperaturo bi dosegla ravna siva ploskev, katere emitanca za vse valovne dolžine znaša  $0,1$ ? ( $92\ ^\circ\text{C}$ ,  $36\ ^\circ\text{C}$ )

**2.9** Termovka v obliki valja višine  $30,0\ \text{cm}$  in polmera  $4,0\ \text{cm}$  je sestavljena iz dveh pološčenih jeklenih posod, kjer je manjša vstavljena v večjo. Med posodama se nahaja vakuum, emitanca sten posode pa znaša  $0,07$ . V kolikšnem času se stopi led mase  $300\ \text{g}$ , ki ga pri temperaturi  $0\ ^\circ\text{C}$  vstavimo v termovko, če je zunanja temperatura  $25\ ^\circ\text{C}$ ? Talilna toplota vode je  $336\ \text{kJ/kg}$ . Za izračun uporabite eksaktni in linearizirani izraz. ( $68,3\ \text{h}$ ,  $68,5\ \text{h}$ )

### 3 Prenos toplote v konstrukcijah

**3.1** Izračunajte temperature na površini 6 mm debelega stekla, ki loči notranji prostor pri temperaturi 20 °C in zunanji prostor pri temperaturi −1 °C. Toplotna prevodnost stekla je 0,80 W/(m K). (3,7 °C, 4,6 °C)

**3.2** Med notranjim prostorom s temperaturo 20 °C in zunanostjo je dvojna zasteklitev, sestavljena iz dveh stekel debeline 4,0 mm in toplotne prevodnosti 0,80 W/(m K), ter 16,0 mm debelega zračnega prostora med njima. Izračunajte zunanjo temperaturo, pri kateri bo temperatura notranje površine dvojne zasteklitve znašala 15 °C, če je upornost zračne reže 0,19 m<sup>2</sup> K/W. Izračunajte ostale tipične temperature. (5,8 °C; 7,3 °C, 7,5 °C, 14,8 °C)

**3.3** Zunanje navpične stene so sestavljene iz 20 cm debelega betonskega sloja toplotne prevodnosti 1,0 W/(m K) in 2 cm debelega fasadnega kamna toplotne prevodnosti 2,0 W/(m K). Najdite toplotno prepustnost neizolirane in izolirane stene, kjer smo slednji dodali sloj ekspaniranega polistirena (EPS) debeline 15 cm in toplotne prevodnosti 0,035 W/(m K). Pri zunanji temperaturi −5 °C in notranji temperaturi 20 °C najdite tipične temperature za vse tri možne situacije (|beton|kamen|, |EPS|beton|kamen|, |beton|EPS|kamen|). Narišite temperaturo kot funkcijo debeline slojev in kot funkcijo toplotne upornosti slojev. (2,63 W/(m<sup>2</sup> K), 0,214 W/(m<sup>2</sup> K); 11,5 °C, −1,7 °C, −2,4 °C; 19,3 °C, −3,7 °C, −4,7 °C, −4,8 °C; 19,3 °C, 18,2 °C, −4,7 °C, −4,8 °C)

**3.4** Celotna površina zunanjih sten sobe znaša 50 m<sup>2</sup>, od česa 20 m<sup>2</sup> predstavljajo okna toplotne prepustnosti 1,1 W/(m<sup>2</sup> K), ostanek pa stena iz predhodne naloge. Predpostavimo, da sta zunanja temperatura −5 °C in notranja temperatura 20 °C konstantni in da je toplotna vrednost naravnega plina (količina proizvedene toplote po kubičnem metru plina) okoli 33 MJ/m<sup>3</sup>. Izračunajte porabo plina za gretje sobe v enem dnevu za neizolirano in izolirano steno. Kakšen je prihranek v procentih pri izolirani steni? A je ta odstotek odvisen od notranje in zunanje temperature? (6,6 m<sup>3</sup>, 1,9 m<sup>3</sup>; 72 %; ne)

**3.5** Navpična zračna reža debeline 5 mm je obdana s površinama emitance 0,9. Če je toplotni upor zračne reže 0,11 m<sup>2</sup> K/W, najdite sevalni in prestopni površinski koeficient. Za povprečno temperaturo privzemite 275 K. (3,9 W/(m<sup>2</sup> K), 5,2 W/(m<sup>2</sup> K))

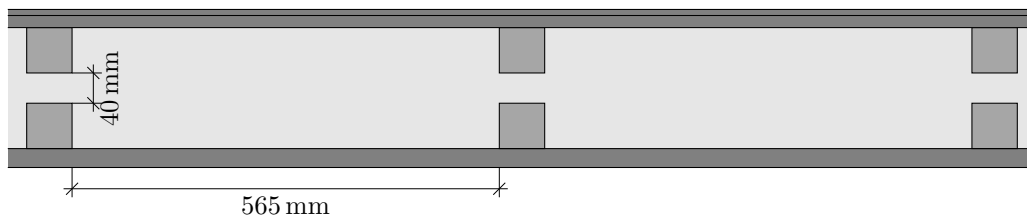
**3.6** Izračunajte zunanji površinski upor pri fasadi z emitanco 0,5. Povprečna zunanja temperatura je 10 °C, povprečna hitrost vetra 10 m/s, izraz za prestopni površinski koeficient pa je od hitrosti vetra  $v$  odvisen kot

$$h_{ce} = 4 + 4v.$$

(0,021 m<sup>2</sup> K/W)

**3.7** Zunanja navpična stena je sestavljena iz 15 mm debele mavčno-kartonske plošče toplotne prevodnosti  $0,21 \text{ W}/(\text{m K})$ , 150 mm debele mineralne volne toplotne prevodnosti  $0,04 \text{ W}/(\text{m K})$ , 16 mm debele cementno iverne plošče prevodnosti  $0,35 \text{ W}/(\text{m K})$ , 50 mm debele zračne reže z ene strani prevlečene z aluminijsko folijo in 100 mm debele fasadne opeke toplotne prevodnosti  $0,76 \text{ W}/(\text{m K})$ . Prestopni površinski koeficient za zračno režo znaša  $1,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ , emitanci površin reže pa sta 0,9 in 0,05. Izračunajte toplotno prepustnost stene in tipične temperature, če je notranja temperatura  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ , zunanja temperatura pa  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ , za povprečno temperaturo v zračni reži pa privzemite  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . ( $0,206 \text{ W}/\text{m}^2$ ;  $20,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $19,9 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $-0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $-0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $-4,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $-4,8 \text{ }^\circ\text{C}$ )

**3.8** Lesena okvirna konstrukcija je sestavljena iz lesene podkonstrukcije, sestavljene iz dveh vrst navpičnih lesenih tramov dimenzij  $60 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$  toplotne prevodnosti  $0,14 \text{ W}/(\text{m K})$ , med seboj oddaljenih vzdolž stene za 565 mm in pravokotno na steno za 40 mm. Podkonstrukcija je z ene strani zaprta z 25 mm debelimi mavčnimi ploščami toplotne prevodnosti  $0,21 \text{ W}/(\text{m K})$ , z druge strani pa z 16 mm debelo cementno iverno ploščo toplotne prevodnosti  $0,35 \text{ W}/(\text{m K})$  ter 8 mm debelim ometom toplotne prevodnosti  $0,50 \text{ W}/(\text{m K})$ . Vmesni prostor je zapolnjen z mineralno volno toplotne prevodnosti  $0,04 \text{ W}/(\text{m K})$ . Izračunajte zgornjo in spodnjo mejo celotnega toplotnega upora in toplotno prepustnost stene s pomočjo poenostavljene metode. ( $4,14 \text{ m}^2 \text{ K}/\text{W}$ ,  $3,77 \text{ m}^2 \text{ K}/\text{W}$ ,  $0,126 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ )



**3.9** Okno višine 150 cm in širine 100 cm je sestavljeno iz okvirja širine 10 cm in toplotne prepustnosti  $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ , ter zasteklitve toplotne prepustnosti  $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ . Izračunajte toplotno prepustnost celotnega okna, če je dolžinska toplotna prepustnost na stiku okvirja in zasteklitve  $0,07 \text{ W}/(\text{m K})$ . ( $1,37 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ )

**3.10** Izračunajte transmissijski koeficient prenosa toplote in povprečno toplotno prepustnost za hišo v obliki kvadra višine 6,0 m, širine 10,0 m in globine 8,0 m. Toplotna prepustnost navpičnih sten je  $2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ , vodoravnih sten  $2,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ , dolžinska toplotna prepustnost na stiku navpičnih sten je  $-0,05 \text{ W}/(\text{m K})$ , na stiku vodoravnih in navpičnih sten pa  $0,20 \text{ W}/(\text{m K})$ . ( $714 \text{ W}/\text{K}$ ,  $2,41 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ )

## 4 Navlaževanje gradbenih konstrukcij

**4.1** V  $1,0\text{ m}^3$  vlažnega zraka temperature  $20^\circ\text{C}$  in tlaka  $1,0\text{ bar}$  je  $9,0\text{ g}$  vodne pare. Zrak izotermno stiskamo. Pri kolikšnem tlaku postane zrak nasičeno vlažen? Molska masa vode je  $18\text{ g/mol}$ . ( $1,9\text{ bar}$ )

**4.2** Celotni toplotni upor navpične gradbene konstrukcije (skupaj z zračnimi sloji) je  $0,50\text{ m}^2\text{ K/W}$ . Notranja temperatura je  $20^\circ\text{C}$ , notranja vlažnost je  $65\%$ , zunanja temperatura pa  $-5^\circ\text{C}$ . Kolikšna je relativna vlažnost na notranji površini gradbene konstrukcije? ( $98\%$ )

**4.3** Kolikšen mora biti celotni toplotni upor navpične gradbene konstrukcije (skupaj z zračnimi sloji), da pri notranji temperaturi  $20^\circ\text{C}$ , notranji vlažnosti  $70\%$  in zunanji temperaturi  $0^\circ\text{C}$  ne pride do rasti plesni? Nevarnost rasti plesni se pojavi pri relativni vlažnosti  $80\%$ . ( $1,21\text{ m}^2\text{ K/W}$ )

**4.4** V sobi se nahaja vlažen zrak temperature  $30^\circ\text{C}$  in relativne vlažnosti  $40\%$ . S pomočjo Mollierovega diagrama določite temperaturo rosišča. ( $15^\circ\text{C}$ )

**4.5** V sobi se nahaja  $50\text{ kg}$  zraka pri temperaturi  $25^\circ\text{C}$  in relativni vlažnosti  $30\%$ . V sobo postavimo (adiabatni) vlažilnik zraka in ga pustimo delovati, dokler se vlažnost ne poveča na  $60\%$ . S pomočjo Mollierovega diagrama določite, kolikšna je takrat temperatura in koliko vode se upari? ( $18,5^\circ\text{C}$ ;  $135\text{ g}$ )

**4.6** Z razvlaževalnikom zraka, ki deluje na principu odvajanja toplote, izločimo presežek vlage v sobi dimenzij  $8,0\text{ m} \times 6,0\text{ m} \times 3,0\text{ m}$ . Začetna temperatura zraka je  $30^\circ\text{C}$ , relativna vlažnost  $70\%$ , končna temperatura pa  $11^\circ\text{C}$ . S pomočjo Mollierovega diagrama določite količino izločene vode, če je začetna gostota suhega zraka  $1,14\text{ kg/m}^3$ . ( $1,8\text{ kg}$ )

**4.7** Zrak mase  $100\text{ kg}$  pri temperaturi  $30^\circ\text{C}$  in relativni vlažnosti  $60\%$  v klimatski napravi prvo ohladimo, nato pa segrejemo, tako da dobimo zrak pri temperaturi  $20^\circ\text{C}$  in relativni vlažnosti  $65\%$ . S pomočjo psihrometrijskega diagrama določite, koliko toplote najprej odvzamemo, nato pa dodamo vlažnemu zraku? Koliko vode se izloči? ( $890\text{ kJ}$ ,  $690\text{ kJ}$ ;  $660\text{ g}$ )

**4.8** Zrak temperature  $20^\circ\text{C}$  in mase  $50\text{ kg}$ , od česa je  $700\text{ g}$  masa vodne pare, adiabatsno zmešamo z zrakom temperature  $25^\circ\text{C}$ , mase  $80\text{ kg}$  in relativne vlažnosti  $30\%$ . S pomočjo psihrometrijskega diagrama določite, kolikšni sta končna temperatura in relativna vlažnost? ( $22^\circ\text{C}$ ,  $65\%$ )



**4.9** Za vse tri možne situacije (|beton|kamen|, |EPS|beton|kamen|, |beton|EPS|kamen|) v nalogi 3.3 izračunajte celotne ekvivalentne debeline zračnih slojev in tipične tlake saturirane vodne pare ter tipične tlake vodne pare pod predpostavko, da ni kondenzacije. Zunanja in notranja relativna vlažnost sta 65 %, zunanja temperatura  $-5^{\circ}\text{C}$ , notranja temperatura  $20^{\circ}\text{C}$ , faktorji upora vodne pare so 120 za beton, 200 za kamen in 60 za ekspanzirani polistiren (EPS). Narišite tlak vodne pare in tlak nasičene vodne pare kot funkcijo debeline slojev in kot funkcijo ekvivalentne debeline zračnih slojev. V kateri situaciji se pojavi kondenzacija in kje? (30, 37, 37; 401 Pa, 501 Pa, 530 Pa, 1352 Pa, 2337 Pa; 401 Pa, 409 Pa, 410 Pa, 450 Pa, 2238 Pa, 2337 Pa; 401 Pa, 409 Pa, 410 Pa, 2093 Pa, 2238 Pa, 2337 Pa; 261 Pa, 441 Pa, 1519 Pa; 261 Pa, 397 Pa, 1213 Pa, 1519 Pa; 261 Pa, 397 Pa, 703 Pa, 1519 Pa)

**4.10** Zunanje navpične stene so sestavljene (od znotraj navzven) iz 8 cm debelega sloja ekspandiranga polistirena toplotne prevodnosti  $0,035\text{ W}/(\text{m K})$  ter faktorja upora vodne pare 60, 20 cm debelega sloja betona toplotne prevodnosti  $1,0\text{ W}/(\text{m K})$  ter faktorja upora vodne pare 120 in 2 cm debele cementno iverne plošče toplotne prevodnosti  $1,5\text{ W}/(\text{m K})$  ter faktorja upora vodne pare 50. Povprečna mesečna notranja temperatura je  $20^{\circ}\text{C}$ , relativna vlažnost pa 45 %, povprečna mesečna zunanja temperatura je  $0^{\circ}\text{C}$ , relativna vlažnost pa 80 %. Z Mollierovim diagramom ugotovite, ali pride do kondenzacije in koliko vodne pare se kondenzira v enem mesecu. (da,  $34\text{ g}/\text{m}^2$ )

**4.11** Zunanje navpične stene so sestavljene iz 10 cm debelega opečnatega sloja toplotne prevodnosti  $0,16\text{ W}/(\text{m K})$  ter faktorja upora vodne pare 16, 10 cm debelega sloja mineralne volne toplotne prevodnosti  $0,035\text{ W}/(\text{m K})$  ter faktorja upora vodne pare 1 in 10 cm debelega opečnatega sloja toplotne prevodnosti  $0,16\text{ W}/(\text{m K})$  ter faktorja upora vodne pare 16. Povprečna mesečna notranja temperatura je  $20^{\circ}\text{C}$ , relativna vlažnost pa 50 %, povprečna mesečna zunanja temperatura je  $5^{\circ}\text{C}$ , relativna vlažnost pa 80 %. Če je na najbolj občutljivem mestu kondenzirana vlaga, z Mollierovim diagramom ugotovite, koliko vodne pare izpari v enem mesecu. ( $62\text{ g}/\text{m}^2$ )

## 5 Osnove valovanja

**5.1** Pri kateri najmanjši oddaljenosti med dvema vzporednima stenama bo prišlo do stoječega valovanja za zvok frekvence 110 Hz? (1,54 m)

## 6 Širjenje hrupa

**6.1** Zvočna moč točkastega vira je  $2,0 \times 10^{-6}\text{ W}$ . Najdite raven zvočne moči vira, ter intenziteto zvoka in raven zvočnega tlaka 10 m od vira zvoka. (63 dB,  $1,6 \times 10^{-9}\text{ W}/\text{m}^2$ , 32 dB)

**6.2** Na oddaljenosti 3,0 m od linijskega zvočnega vira je raven zvočnega tlaka 70 dB. Pri kateri oddaljenosti je raven zvočnega tlaka 58 dB? (48 m)

**6.3** Kolikšna je skupna raven zvočne moči treh naprav, če so ravni zvočnih moči posameznih naprav 55 dB, 50 dB in 45 dB? Pri kateri najmanjši oddaljenosti od zvočnih virov le-teh ne slišimo več? (56,5 dB, 189 m)

**6.4** Točka meritve hrupa se nahaja 15 m od elektromotorja ravni zvočne moči 90 dB in 25 m od ceste linearne ravni zvočne moči 75 dB. Kolikšno raven zvočnega tlaka izmerimo? (57,4 dB)

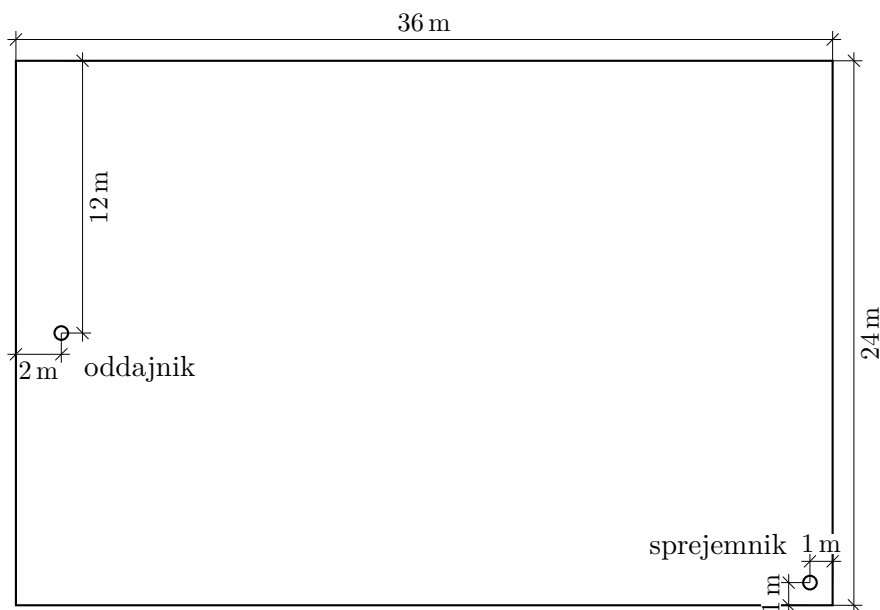
**6.5** Ko obratujeta dva vira hrupa, izmerimo raven zvočnega tlaka 80 dB, ko prvi vir hrupa izklopimo pa 75 dB. Koliko raven zračnega tlaka povzroča prvi vir hrupa? (78,3 dB)

**6.6** Raven zvočnega tlaka med 8:00 in 11:00 znaša 60 dB, med 11:00 in 18:00 pa 50 dB. Kolikšna je povprečna raven zvočnega tlaka? (55,7 dB)

## 7 Gradbena akustika

**7.1** Predavalnica tlorisa  $10\text{ m} \times 20\text{ m}$  in višine 4 m ima betonske stene, tla pokrita s parketom, šest oken površine  $10\text{ m}^2$  in 70 sedežev. Izračunajte čas potišanja, če je absorbanca betona 0,02, absorbanca lesa 0,06, absorbanca stekla 0,03, ekvivalentna absorpcijska površina praznega sedeža pa  $0,5\text{ m}^2$ . (2,3 s)

**7.2** V dvorani tlorisa  $24\text{ m} \times 36\text{ m}$  in višine 6 m se, kot je narisano na sliki, na eni strani nahaja zvočni oddajnik, na drugi pa zvočni sprejemnik, oba na višini 2 m. Izračunajte časovne zamike za odboj od bočne stene na nasprotni strani od sprejemnika in za odboj od stropa. (39 ms, 2,6 ms)



**7.3** Raven zvočnega tlaka enkrat odbitega zvoka želimo zmanjšati za 7,0 dB. Kolikšna mora biti absorbanca stene? (0,8)

**7.4** Zvok se dvakrat odbije od stene z absorbanco 0,2. Za koliko se zmanjša zvočna raven tlaka? (1,9 dB)

**7.5** V enem prostoru se nahaja zvočni vir ravni zvočne moči 80 dB. Kolikšna je raven difuzijskega zvočnega tlaka v tej sobi in v sosednji sobi? Površina stene med obema sobama je  $8 \text{ m}^2$ , indeks utišanja zvoka 50 dB, ekvivalentna absorpcijska površina v obeh sobah pa je  $12 \text{ m}^2$ . (71 dB, 23 dB)

**7.6** V nalogi 7.2 izračunajte za koliko sta ravni zvočnega tlaka pri odbitih poteh manjši od ravni zvočnega tlaka pri direktni poti. Upoštevajte geometrijsko zvočno oslabitev in za absorbanco sten privzamite 0,1. (0,58 dB, 1,87 dB)

**7.7** Med točkastim virom zvoka in 40 m oddaljenim poslušalcem *na prostem* postavimo oviro indeksa utišanja zvoka 5 dB. Na katero oddaljenost od vira se mora približati poslušalec, da bo zvok slišal enako glasno? (13 m)

## 8 Svetloba

**8.1** Štiri navpične ulične svetilke višine 8 m so postavljene tako, da njihova projekcija na tleh tvori kvadrat s stranico 5 m. Kolikšna mora biti njihova svetilnost, da bo osvetljenost na središču tal pod njimi (točka 0) 50 lx? (1050 cd)

