VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

BJ07

Izolační materiály

Sbírka příkladů

BRNO 2011

Tato sbírka příkladů vznikla na Stavební fakultě Vysokého učení technického v Brně za finanční podpory projektu FRVŠ G1 465/2011 „Inovace studijního předmětu Izolační materiály“.

Jiří Zach, Jitka Hroudová

Brno 2011

AKUSTIKA

Tab. 1 Přehled výpočtových vzorců:

Vlastnost	***Výpočtový vztah***	***Vysvětlivky***	***Jednotky***
Akustická výchylka	$u = U_o \sin(\omega\tau + \varphi)$ $u = \frac{v}{\omega} = \frac{v}{2\pi f}$	U_o - max. výchylka, amplituda [m] ω - úhlová frekvence [Hz] τ - čas [s] φ - fázový posun [-] v - akustická rychlost [m.s^{-1}] f - frekvence zvukové vlny [Hz]	[m]
Rychlost šíření zvuku vzduchem	$c_0 = 331{,}8 + 0{,}607\,\theta_a$	θ_a - teplota vzduchu [°C]	[m.s^{-1}]
Frekvence	$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{1}{T}$	c - rychlost zvuku v daném prostředí [m.s^{-1}] λ - vlnová délka [m] T - perioda [s]	[Hz]
Akustický vlnový odpor prostředí	$z = \rho \cdot c = \frac{p}{v}$	ρ - objemová hmotnost prostředí [kg.m^{-3}] c - rychlost zvuku v daném prostředí [m.s^{-1}] p - akustický tlak [Pa] v - akustická rychlost [m.s^{-1}]	[kg.m^{-2}.s^{-1}]
Hladina akustického tlaku	$L_p = 10.\log\frac{p^2}{p_0^2} = 20.\log\frac{p}{p_0}$	p - akustický tlak [Pa] p_0 - prahový akustický tlak, $p_0 = 2.10^{-5}$ *Pa*	[dB]
Efektivní akustický tlak	$p_{ef} = \frac{p_{\max}}{\sqrt{2}}$	p_{max} - maximální akustický tlak [Pa]	[Pa]
Intenzita zvuku	$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi r^2}$ $I = \frac{p_{ef}^2}{z_0} = \frac{p_{ef}^2}{\rho \cdot c_0}$	P - akustický výkon [W] S - plocha [m^2] r - vzdálenost od bodového akustického zdroje [m] c_0 - rychlost šíření zvuku ve vzduchu [m.s^{-1}] ρ - objemová hmotnost prostředí [kg.m^{-3}] z_0 - akustický vlnový odpor prostředí [kg.m^{-2}.s^{-1}]	[W.m^{-2}]
Činitel zvukové pohltivosti	$\alpha = \frac{W_a}{W_i}$ $\alpha = 1 - \left(\frac{s-1}{s+1}\right)^2 = \frac{4s}{(s+1)^2}$ $s = \frac{p_{\max}}{p_{\min}}$ $\alpha = \frac{4 \cdot n}{(n+1)^2}$	W_a - akustický výkon pohlcený konstrukcí [W] W_i - celkový akustický výkon dopadající na konstrukci při kolmém dopadu zvukové vlny [W] s - poměr maximálního a minimálního akustického tlaku [-] U_{max} - napětí na výstupu voltmetru analyzátoru v kmitně akustického tlaku	[-]

	$n = \frac{U_{max}}{U_{min}}$	[mV] U_{min} - napětí na výstupu voltmetru analyzátoru v uzlu akustického tlaku [mV]	
Pohltivost uzavřeného prostoru	$A = \alpha \cdot S$ $A = \alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + ... + \alpha_n \cdot S_n =$ $= \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \cdot S_i = \sum_{i=1}^{n} A_i$	S - celková plocha [m^2] α - činitel zvukové pohltivosti [-]	[m^2]
Sabinův vztah	$A = 0{,}164 \cdot \frac{V}{T}$	V - objem uzavřeného prostoru [m^3] T - doba dozvuku [s]	[m^2]
Střední činitel zvukové pohltivosti	$\alpha_s = \frac{A}{S}$	A - pohltivost uzavřeného prostoru [m^2] S - celková plocha [m^2]	[-]
Akustický výkon	$P = \frac{p_{ef}^2}{\rho \cdot c_0} \cdot S = I \cdot S$ $P = \frac{p_{ef}^2}{\rho \cdot c_0} \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^2$	I - intenzita zvuku [W.m^{-2}] p_{ef} - efektivní akustický tlak [Pa] S - celková plocha [m^2] r - vzdálenost od bodového akustického zdroje [m] c_0 - rychlost šíření zvuku ve vzduchu [m.s^{-1}] ρ - objemová hmotnost prostředí [kg.m^{-3}]	[W]
Hustota zvukové energie	$w = \frac{I}{c_0}$	I - intenzita zvuku [W.m^{-2}] c_0 - rychlost šíření zvuku ve vzduchu [m.s^{-1}]	[J.m^{-3}]
Hladina intenzity zvuku	$L_I = 10.\log\frac{I}{I_0}$	I - skutečná intenzita zvuku [W.m^{-2}] I_0 - smluvní hraniční intenzita zvuku [W.m^{-2}], $I_0 = 10^{-12}$ W.m^{-2}	[dB]
Přepočet hladiny na jinou šířku pásma	$L_n = L_s + 10\log\frac{f_{hn} - f_{dn}}{f_{hs} - f_{ds}}$	L_n, L_s - nová a stará hodnota hladiny akustického tlaku [dB] f_{hn}, f_{hs} - nová a stará horní mezní frekvence [Hz] f_{dn}, f_{ds} - nová a stará dolní mezní frekvence [Hz]	[dB]
Jednočíselná hodnota zvukové pohltivosti u protihlukových stěn	$DL_\alpha = -10\log\left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_{Si} 10^{0,1 L_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i}}\right)$	α_i - činitel zvukové pohltivosti [-] L_i - hladina akustické intenzity normalizovaného spektra silničního hluku dle ČSN EN 1793 [dB]	[dB]
Jednočíselná hodnota vzduchové neprůzvučnosti u protihlukových stěn	$DL_R = -10\log\left(\frac{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i} 10^{-0,1 R_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{10 L_i}}\right)$	L_i - hladina akustické intenzity normalizovaného spektra silničního hluku dle ČSN EN 1793 [dB]	[dB]

Doba dozvuku (Eyringův vztah)	$T = 0{,}164 \cdot \frac{V}{\alpha_E \cdot S}$	V - objem uzavřeného prostoru [m^3] S - plocha [m^2] α_e - činitel zvukové pohltivosti [-]; $\alpha_e = -\ln.(1-\alpha_s)$	[s]
Doba dozvuku (Sabinův vztah)	$T = 0{,}164 \cdot \frac{V}{\alpha_S \cdot S} = 0{,}164 \cdot \frac{V}{A}$	V - objem uzavřeného prostoru [m^3] S - plocha [m^2] α_s - střední činitel zvukové pohltivosti [-]	[s]
Doba dozvuku (Millingtonův vztah)	$T_M = \frac{0{,}164 \cdot V}{-\sum_{i=1}^{n} S_i \ln(1-\alpha_i)}$	V - objem uzavřeného prostoru [m^3] α_i - činitel zvukové pohltivosti [-] S_i - plocha [m^2]	[s]
Rezonanční kmitočet plovoucích podlah	$f_r = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{s'}{m'}}$	s' - dynamická tuhost [$MPa.m^{-1}$] m' - plošná hmotnost [$kg.m^{-2}$]	[Hz]
Útlum kročejového hluku	$\Delta L = 40.\log\frac{f}{f_r}$	f_r - rezonanční frekvence [Hz] f - frekvence [Hz]	[dB]
Dynamická tuhost	$s' = \frac{F}{\Delta d \cdot S}$ $s'_t = 4.\pi^2.m'_t.f_r^{\,2}$	S - plocha vzorku [m^2] F - dynamická síla působící kolmo na zkušební vzorek [N] Δd - výsledná dynamická změna tloušťky vzorku [m] m'_t - celková plošná hmotnost zatěžovacího tělesa [$kg.m^{-2}$] f_r - extrapolovaná hodnota rezonančního kmitočtu [Hz]	[$MPa.m^{-1}$]
Hustota sálavého tepelného toku, Kirchhoffův zákon	$\Phi_r = \varepsilon.S.\sigma_0.T^4$	σ_0 - součinitel sálání absolutně černého tělesa, tj $\sigma_0 = 5{,}67.10^{-8}$ $W.m^{-2}.K^{-4}$ ε - emisivita povrchu [-] S - plocha [m^2] T - teplota [K]	[W]
Tepelný tok	$\Phi = \frac{Q}{\tau}$	Q - teplo [J] τ - čas [s]	[$J.s^{-1}$ = W]
Tepelný tok, 1. Fourierova rovnice	$q = -\lambda \frac{d\theta}{dx}$	λ - součinitel tepelné vodivosti [$W.m^{-1}.K^{-1}$] $d\theta/dx$ - teplotní gradient [$K.m^{-1}$] q - hustota tepelného toku [$W.m^{-2}$]	[W]
Teplo	$Q = \lambda \cdot \frac{\theta_1 - \theta_2}{d} \cdot S \cdot \tau = q \cdot S \cdot \tau$	λ - součinitel tepelné vodivosti [$W.m^{-1}.K^{-1}$] d - tloušťka vrstvy tělesa [m] S - plocha tělesa [m^2] τ - čas [s] θ_1- teplota tělesa na jedné straně vrstvy [°C]	[J]

		θ_2 - teplota tělesa na druhé straně vrstvy [°C]	
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce	$R_e = \frac{1}{h_e}$	h_e - součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce (dle *ČSN 73 0540* nabývá h_e pro zimní období hodnoty 23 $W.m^{-2}.K^{-1}$ a hodnoty 15 $W.m^{-2}.K^{-1}$ pro období letní).	$[m^2.K.W^{-1}]$
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce	$R_i = \frac{1}{h_i}$	h_i - součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (dle *ČSN 73 0540* nabývá h_i hodnoty 8 $W.m^{-2}.K^{-1}$ pro svislé konstrukce, 10 $W.m^{-2}.K^{-1}$ pro vodorovné konstrukce při tepelném toku ze zdola nahoru a 5,9 $W.m^{-2}.K^{-1}$ při tepelném toku se shora dolů)	$[m^2.K.W^{-1}]$
Tepelný odpor (vrstvy konstrukce jsou ve směru kolmém na směr tepelného toku)	$R = \sum_{j=1}^{n} R_j = \sum_{j=1}^{n} \frac{d_j}{\lambda_j}$	d - tloušťka [m] λ - součinitel tepelné vodivosti $[W.m^{-1}.K^{-1}]$	$[m^2.K.W^{-1}]$
Tepelný odpor konstrukce	$R_0 = R_i + \sum_{j=1}^{n} R_j + R_e$	R_i – tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce $[m^2.\ K.W^{-1}]$ R_e – tepelný odpor na vnější straně konstrukce $[m^2.\ K.W^{-1}]$ R_j – tepelný odpor jednotlivých vrstev konstrukce $[m^2.\ K.W^{-1}]$	$[m^2.K.W^{-1}]$
Tepelný odpor (vrstvy konstrukce jsou rovnoběžné se směrem tepelného toku)	$R_{II} = \frac{S_1 + S_3 + S_3 + ... + S_n}{\frac{S_1}{R_1} + \frac{S_2}{R_2} + \frac{S_3}{R_3} + ... + \frac{S_n}{R_n}} = \frac{1}{U_{II}}$	S - plocha $[m^2]$ R - tepelný odpor $[m^2.\ K.W^{-1}]$	$[m^2.K.W^{-1}]$
Tepelný odpor (kombinace vrstev kolmých a rovnoběžných se směrem tepelného toku)	$R = \frac{R^{II} + 2R^{\perp}}{3}$	R^{II} - tepelný odpor vrstev rovnoběžných se směrem tepelného toku $[m^2.K.W^{-1}]$ $R^{\perp}$ tepelný odpor vrstev kolmých ke směru tepelného toku $[m^2.K.W^{-1}]$	$[m^2.K.W^{-1}]$
Součinitel prostupu tepla	$U = \frac{1}{R_0}$ $U = \frac{\lambda}{d}$	R_0 - tepelný odpor konstrukce $[m^2.\ K.W^{-1}]$ d - tloušťka [mm] λ - součinitel tepelné vodivosti $[W.m^{-1}.K^{-1}]$	$[W.m^{-2}.K^{-1}]$
STEFAN-BOLTZMANNŮV ZÁKON	$\frac{\Phi_r}{S} = \sigma_0 . T^4$	σ_0 - součinitel sálání absolutně černého tělesa, tj. $\sigma_0 = 5{,}67.10^{-8}$ $[W.m^{-2}.K^{-4}]$ T - absolutní teplota povrchu tělesa T= θ + 273 [K] θ - teplota povrchu tělesa [°C] S - plocha povrchu $[m^2]$	$[W.m^{-2}]$

		Φ_r - tepelný tok [W]	
Emisivita	$\varepsilon = \frac{q_s}{q_č}$	$q_č$ - je teplo vyzářené černým povrchem o ploše S [W.m^{-2}] q_s - je teplo vyzářené reálným povrchem o ploše S [W.m^{-2}]	[-]
Hustota tepelného toku mezi dvěma trans paralelními povrchy	$q_{r,12} = \frac{\sigma_0(\Theta_1^4 - \Theta_2^4)}{\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} - 1}$	σ_0 - součinitel sálání absolutně černého tělesa, tj σ = 5,67.10^{-8} [W.m^{-2}.K^{-4}] T - absolutní teplota povrchu tělesa [K] A - pohltivost [-], za běžných podmínek platí: ε≈A	[W.m^{-2}]
Hustota tepelného toku	$q = \frac{(\theta_i - \theta_e)}{R_i + \sum_{j=1}^{n} R_j + R_e}$ $q = \frac{\theta_i - \theta_e}{R_0} = U_0(\theta_i - \theta_e)$	θ_i - teplota vnitřního prostředí [°C] θ_e - teplota vnějšího prostředí [°C] R_0 - tepelný odpor stavební konstrukce při prostupu tepla [m^2. K.W^{-1}] U_0 - koeficient prostupu tepla stavební konstrukcí [W.m^{-2}.K^{-1}]	[W.m^{-2}]
Parciální tlak páry	$p_d = c\, R_D\, T$	p_d - parciální tlak vodní páry [Pa] c - koncentrace vodní páry [kg.m^{-3}] R_D - speciální plynová konstanta vodní páry; R_D = 462 J.kg^{-1}.K^{-1} T - termodynamická teplota [K]	[Pa]
Parciální tlak nasycené vodní páry	$p_d'' = a.\left(b + \frac{\theta}{100°C}\right)^n$	θ - teplota [°C] a, b, n - konstanty [-]	[Pa]

ŘEŠENÉ VÝPOČTOVÉ ÚLOHY

Příklad 1

Zadání:
Určete vlnovou délku zvukového signálu o frekvenci 150 Hz při teplotě vzduchu + 25°C.

Výpočet:
Výpočet rychlosti šíření zvukových vln:

$$c_0 = 331{,}8 + 0{,}607\,\theta_a$$

$$c_0 = 331{,}8 + 0{,}607\,\theta_a = 331{,}8 + 0{,}607.\ 25 = 346{,}98\ \mathrm{m.s^{-1}}$$

Výpočet vlnových délek:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

f = 150 Hz: $\lambda = \frac{346{,}98}{150} = \mathbf{2{,}313\ m}$

Vlnová délka zvukového signálu o frekvenci 150 Hz při teplotě vzduchu + 25°C je 2,313 m.

Příklad 2

Zadání:
Stanovte maximální hodnotu akustického tlaku, je-li zadána hladina akustického tlaku L_p = 60 dB.

Výpočet:
Výpočet hladiny akustického tlaku, efektivního akustického tlaku:

$$L_p = 10.\log\frac{p^2}{p_0^2} = 20.\log\frac{p}{p_0}$$

$$p_{ef} \approx p = p_0\ .10^{\frac{L_p}{20}}$$

$$p_{ef} \approx p = p_0\ .10^{\frac{L_p}{20}} = 2.10^{-5}.10^{\frac{60}{20}} = 0{,}02\ \mathrm{Pa}$$

Výpočet maximální hodnoty akustického tlaku:

$$p_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\,p_{\max}^2\left[\frac{t}{2} - \frac{\sin(\omega.t)}{4.\omega}\right]_0^T} = \sqrt{\frac{1}{T}\,p_{\max}^2\left[\frac{T}{2} - 0\right]} = \sqrt{\frac{p_{\max}^2}{2}} = \frac{p_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$p_{max} = p_{ef}\ .\sqrt{2} = \mathbf{0{,}028\ Pa}$$

Maximální hodnota akustického tlaku, při hladině akustického tlaku L_p = 60 dB, je 0,028 Pa.

Příklad 3

Zadání:
Vypočítejte hodnotu akustické rychlosti *v*.
Pro výpočet předpokládejte teplotu prostředí +18°C a hustotu vzduchu ρ = 1,2 kg.m^{-3}.

Výpočet:
Výpočet rychlosti šíření zvukových vln:

$$c_0 = 331{,}8 + 0{,}607\,\theta_a$$

$$c_0 = 331{,}8 + 0{,}607\,\theta_a = 331{,}8 + 0{,}607.18 = \mathbf{342{,}7\ m.s^{-1}}$$

Platí:

$$\rho \cdot c_0 = \frac{p}{v}$$

Výpočet akustické rychlosti zvuku:

$$v = \frac{p}{\rho\, c_0}$$

$$v = \frac{p}{\rho\, c_0} = \frac{0{,}159}{1{,}2\,.\,342{,}7} = \mathbf{3{,}87.10^{-4}\ m.s^{-1}}$$

Akustická rychlost zvuku byla 3,87.10^{-4} m.s^{-1}.

Příklad 4

Zadání:
Vypočítejte intenzitu zvuku *I* a hladinu intenzity zvuku L_I pro akustický tlak 0,35 Pa. Pro výpočet předpokládejte teplotu prostředí +23°C a hustotu vzduchu ρ = 1,2 kg.m^{-3}.

Výpočet:
Výpočet rychlosti šíření zvukových vln:

$$c_0 = 331{,}8 + 0{,}607\,\theta_a$$

$$c_0 = 331{,}8 + 0{,}607\,\theta_a = 331{,}8 + 0{,}607.\ 23 = \mathbf{345{,}8\ m.s^{-1}}$$

Výpočet intenzity zvuku:

$$I = \frac{p_{ef}^{\ 2}}{z_0} = \frac{p_{ef}^{\ 2}}{\rho . c_0}$$

$$I = \frac{p_{ef}^{\ 2}}{\rho . c_0} = \frac{0{,}35^2}{1{,}2\,.\,345{,}8} = \mathbf{2{,}95.10^{-4}\ W.m^{-2}}$$

Výpočet hladiny intenzity zvuku:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{2{,}95 \,.10^{-4}}{10^{-12}} = \mathbf{84{,}7\ dB}$$

Intenzita zvuku I je 2,95.10^{-4} W.m^{-2},hladina intenzity zvuku L_I je 84,7 dB.

Příklad 5

Zadání:
Určete hustotu zvukové energie *w* [J.m^{-3}] zvuku s efektivním akustickým tlakem p_{ef} = 0,19 Pa. Pro výpočet předpokládejte teplotu prostředí +10°C hustotu vzduchu ρ = 1,2 kg.m^{-3}.

Výpočet:
Výpočet rychlosti šíření zvukových vln:

$$c_0 = 331{,}8 + 0{,}607\,\theta_a$$

$$c_0 = 331{,}8 + 0{,}607\,\theta_a = 331{,}8 + 0{,}607 \,.\, 10 = \mathbf{337{,}9\ m.s^{-1}}$$

Výpočet hustoty zvukové energie:

$$w = \frac{I}{c_0}\ ;\ I = \frac{p_{ef}^{\ 2}}{z_0} = \frac{p_{ef}^2}{\rho \,.\, c_0}$$

$$w = \frac{p_{ef}^2}{\rho\, c_0^2}$$

$$w = \frac{p_{ef}^2}{\rho\, c_0^2} = \frac{0{,}19^2}{1{,}2 \,.\, 337{,}9^2} = \mathbf{2{,}63.10^{-7}\ J.m^{-3}}$$

Hustota zvukové energie *w* zvuku s efektivním akustickým tlakem p_{ef} = 0,19 Pa byla 2,63.10^{-7} J.m^{-3}.

Příklad 6

Zadání:
Určete výslednou hladinu akustické intenzity dvou zdrojů, jestli-že $L_{I1} = L_{I2}$= 58dB.

Výpočet:
Výpočet hladiny intenzity zvuku:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Výpočet hladiny intenzity zvuku:

$$I = 10^{\frac{L_I - 120}{10}}$$

$$I_1 = I_2 = 10^{\frac{58-120}{10}} = \mathbf{6{,}3.10^{-7}\ W.m^{-2}}$$

$$I = I_1 + I_2 = 2 \cdot 6{,}3.10^{-7} = \mathbf{12{,}61.10^{-7}\ W.m^{-2}}$$

$$L_I = 10.\log\frac{12{,}61.10^{-7}}{10^{-12}} = \mathbf{61{,}0\ dB}$$

Výsledná hladina akustické intenzity zdrojů je rovna 61 dB.

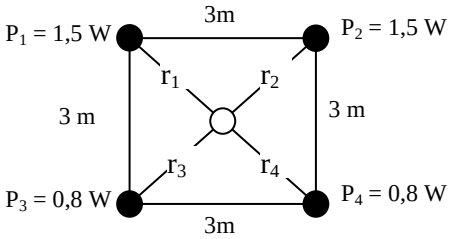
Příklad 7

Zadání:

Posluchač sedí v místnosti uprostřed kvadrofonní soustavy reproduktorů, z nichž přední dva mají výkon 1,5 W a zadní dva výkon 0,8 W. Jaká je hladina akustického tlaku L_p [dB] uprostřed zvukové soustavy (reproduktory jsou umístěny v rozích čtverce o hraně 3 m)? Pro výpočet předpokládejte teplotu prostředí +23°C hustotu vzduchu ρ = 1,2 kg.m^{-3}.

Výpočet:

V prvním kroku vypočítáme vzdálenost posluchače od jednotlivých reproduktorů $r_1 = r_2 = r_3 = r_4$ (viz. následující obrázek).



$$r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = \frac{\sqrt{2}.3}{2} = \mathbf{2{,}12\ m}$$

Výpočet akustické intenzity:

$$I_1 = I_2 = \frac{P_1}{4\,\pi\, r_1^2}$$

$$I_1 = I_2 = \frac{P_1}{4\,\pi\, r_1^2} = \frac{1{,}5}{4\,\pi\, 2{,}12^2} = \mathbf{26{,}6.10^{-3}\ W.m^{-2}}$$

$$I_3 = I_4 = \frac{P_3}{4\,\pi\, r_3^2}$$

$$I_3 = I_4 = \frac{P_3}{4\,\pi\, r_3^2} = \frac{0{,}8}{4\,\pi\, 2{,}12^2} = \mathbf{14{,}2.10^{-3}\ W.m^{-2}}$$

Výsledná akustická intenzita:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 26{,}6.10^{-3} + 26{,}6.10^{-3} + 14{,}2.10^{-3} + 14{,}2.10^{-3} = \mathbf{81{,}6.10^{-3}\ W.m^{-2}}$$

Výpočet rychlosti šíření zvukových vln:

$$c_0 = 331{,}8 + 0{,}607\,\theta_a$$

$$c_0 = 331{,}8 + 0{,}607\,\theta_a = 331{,}8 + 0{,}607.\ 23 = \mathbf{345{,}8\ m.s^{-1}}$$

Výpočet efektivní hodnoty akustického tlaku:

$$p_{ef} = \sqrt{I\,.\,\rho\,.\,c_0}$$

$$p_{ef} = \sqrt{I\,.\,\rho\,.\,c_0} = \sqrt{0{,}0816\ .\ 1{,}2\ .\ 345{,}8} = \mathbf{5{,}82\ Pa}$$

Výpočet hladiny akustického tlaku:

$$L_p = 20\log\frac{p_{ef}}{p_0}$$

$$L_p = 20\log\frac{p_{ef}}{p_0} = 20\log\frac{5{,}82}{2\,.10^{-5}} = \mathbf{109{,}3\ dB}$$

Uprostřed zvukové soustavy je hladina akustického tlaku rovna 109,3 dB.

Příklad 8

Zadání:

Určete maximální hodnotu hladiny akustického tlaku $L_{p,1}$, kterou může mít jeden ze zdrojů hluku před nemocniční budovou, pokud požadujeme, aby maximální hodnota hladiny akustického tlaku $L_{p,max}$ byla 42 dB. Hodnota hladiny akustického tlaku je u druhého zdroje $L_{p,2}$ = 30 dB.

Výpočet:

Výpočet akustického tlaku druhého zdroje hluku:

$$p_2 = p_0\,.10^{\frac{L_{p,2}}{20}}$$

$$p_2 = p_0\,.10^{\frac{L_{p,2}}{20}} = 2.10^{-5}.10^{\frac{30}{20}} = \mathbf{63{,}25.10^{-5}\ Pa}$$

Výpočet maximálního přípustného akustického tlaku:

$$p_{max} = p_0\,.10^{\frac{L_{p,\max}}{20}}$$

$$p_{max} = p_0\,.10^{\frac{L_{p,\max}}{20}} = 2.10^{-5}.10^{\frac{42}{20}} = \mathbf{25{,}18.10^{-4}\ Pa}$$

Výpočet akustického tlaku:

$$p_1 = p_{max} - p_2$$

$$p_1 = p_{max} - p_2 = 25{,}18.10^{-4} - 63{,}25.10^{-5} = \mathbf{18{,}86.10^{-4}\ Pa}$$

Výpočet hladiny akustického tlaku:

$$L_{p,1} = 20\log\frac{p_1}{p_0}$$

$$L_{p,1} = 20\log\frac{p_1}{p_0} = 20\log\frac{18{,}86.10^{-4}}{2\,.10^{-5}} = \mathbf{45{,}5\ dB}$$

Maximální hodnota hladiny akustického tlaku prvního akustického zdroje je 45,5 dB.

Příklad 9

Zadání:

Určete, jaká je hladina akustického tlaku L_p ve vzdálenosti 85 m od zdroje akustickém výkonu P = 32 W. Pro výpočet předpokládejte teplotu prostředí +20°C hustotu vzduchu ρ = 1,2 kg.m^{-3}.

Výpočet:

Výpočet intenzity ve vzdálenosti 85 m od zdroje hluku:

$$I = \frac{P}{4\,\pi\,r^2}$$

$$I = \frac{P}{4\,\pi\,r^2} = \frac{32}{4\,\pi\,85^2} = \mathbf{3{,}52.10^{-4}\ W.m^{-2}}$$

Výpočet rychlosti šíření zvukových vln:

$$c_0 = 331{,}8 + 0{,}607\,.\,\theta_a$$

$$c_0 = 331{,}8 + 0{,}607\,.\,\theta_a = 331{,}8 + 0{,}607.\ 20 = \mathbf{343{,}9\ m.s^{-1}}$$

Výpočet akustického tlaku:

$$p_{ef} = \sqrt{I\,.\,\rho\,.\,c_0}$$

$$p_{ef} = \sqrt{I\,.\,\rho\,.\,c_0} = \sqrt{3{,}52.10^{-4}\ .\ 1{,}2\ .\ 343{,}9} = \mathbf{0{,}381\ Pa}$$

Výpočet hladiny akustického tlaku:

$$L_p = 20\log\frac{p}{p_0} = 20\log\frac{0{,}381}{2\,.10^{-5}} = \mathbf{85{,}6\ dB}$$

Hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 85 m od zdroje o akustickém výkonu 32 W je 85,6 dB.

Příklad 10

Zadání:

Při měření hladiny akustického tlaku byla použita oktávová propust 500 – 1000 Hz přepočítejte naměřenou hodnotu L_p = 58 dB pro rozšířené pásmo: 300 – 1150 Hz.

Výpočet:

$$L_n = L_s + 10\log\frac{f_{hn} - f_{dn}}{f_{hs} - f_{ds}}$$

$$L_n = L_s + 10\log\frac{f_{hn} - f_{dn}}{f_{hs} - f_{ds}} = 58 + 10\log\frac{1150 - 300}{1000 - 500} = \mathbf{60{,}3\ dB}$$

Pro rozšířené pásmo 300 – 1150 Hz byla L_p rovna 60,3 dB.

Příklad 11

Zadání:

Do místnosti o rozměru 3,5×5 m a výšce 2,1m vniká zvuk o hladině akustického tlaku L_{pi} = 42 dB. Jaká bude hladina akustického tlaku L_p v místnosti, pokud stěny i podlaha střední činitel nabývají hodnoty činitele zvukové pohltivosti α_s = 0,28. (Vliv otevřeného okna se zanedbává.)

Výpočet:
Výpočet hladiny akustického tlaku:

$$L_p = L_{p1} - 10 \,.\, log \frac{S}{A}$$

Vzhledem k tomu, že stěny, podlaha i strop mají shodnou hodnotu činitele zvukové pohltivosti, můžeme pohltivost vnitřního uzavřeného prostoru vyjádřit vztahem:

$$A = \alpha_s \,.\, S$$

Po dosazení do vzorce pro výpočet hladiny akustického tlaku obdržíme:

$$L_p = L_{p1} - 10 \,.\, \log \frac{S}{A} = L_{p1} - 10 \log \frac{1}{\alpha_s}$$

$$L_p = L_{p1} - 10 \,.\, \log \frac{S}{A} = L_{p1} - 10 \log \frac{1}{\alpha_s} = 42 - 10 \log \frac{1}{0{,}28} = \mathbf{36{,}5\ dB}$$

Hladina akustického tlaku L_p v místnosti bude 36,5 dB.

Příklad 12

Zadání:
Stanovte dobu dozvuku T pro místnost z o rozměru 4,25×6,00 m a výšce 2,1m. Hodnota činitele zvukové pohltivosti stěn a stropu α_s = 0,2, hodnota činitele zvukové pohltivosti podlahy α_s = 0,75. Pro výpočet použijte Millingtonův vztah.

Výpočet:
Výpočtový vztah pro dobu dozvuku (Millingtonův vztah):

$$T_M = \frac{0{,}164 V}{-\sum_{i=1}^{n} S_i \ln(1-\alpha_i)}$$

Objem místnosti:

V = 4,25 . 6 . 2,1 = 53,55 m^3

Plocha stěn a stropu:

S_1 = 4,25. 6 + 2 . 2,1 . 4,25 + 2 . 2,1 . 6 = 68,55 m^2

Plocha podlahy:

S_2 = 4,25 . 6 = 25,5 m^2

Výpočet doby dozvuku:

$$T_M = \frac{0{,}164 V}{-\sum_{i=1}^{n} S_i \ln(1-\alpha_i)}$$

$$T_M = \frac{0{,}164 V}{-\sum_{i=1}^{n} S_i \ln(1-\alpha_i)} = \frac{0{,}164 \,.\, 53{,}55}{-(68{,}55 \,.\, \ln(1-0{,}2) + 25{,}5 \,.\, \ln(1-0{,}75))} = \mathbf{0{,}17\ s}$$

Doba dozvuku T pro místnost z o rozměru 4,25×6,00 m a výšce 2,1m byla 0,17 s.

Příklad 13

Zadání:
Vypočítejte rezonanční kmitočet plovoucí podlahy, kde plošná hmotnost m' je 38 kg.m^{-2}, dynamická tuhost podkladního materiálu s' je 1,15 MPa.m^{-1}.

Výpočet:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{s'}{m'}}$$

Výpočet rezonanční frekvence:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{s'}{m'}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1{,}15.10^6}{38}} = \mathbf{27{,}7\ Hz}$$

Rezonanční kmitočet f_r zadané podlahové konstrukce činí 27,7 Hz.

Příklad 14

Zadání:
Jaký útlum kročejového hluku podlahy o plošné hmotnosti m' je 25 kg.m^{-2}, s dynamickou tuhostí podkladního materiálu s' 1,35 MPa.m^{-1}, lze předpokládat, jestliže na ni působí rázy ze zdroje o frekvenci f = 55 Hz.

Výpočet:
Výpočet útlumu kročejového hluku:

$$\Delta L = 40.\log\frac{f}{f_r}$$

$$\Delta L = 40.\log\frac{f}{f_r} = 40.\log\frac{55}{37} \cong \boldsymbol{6{,}9\ dB}$$

Útlum zadané podlahové konstrukce ΔL činí pro frekvenci zdroje f = 50 Hz ΔL = 6,9 dB.

Příklad 15

Zadání:
Vypočítejte rezonanční frekvenci desky s dynamickou tuhostí s' = 8,3 MPa.m^{-1} o objemové hmotnosti ρ_v = 1230 kg.m^{-3} a tloušťce 45 mm.

Výpočet:
Výpočet plošné hmotnosti zatěžovací desky:

$$m' = d \,.\, \rho_v$$

$$m' = d \,.\, \rho_v = 0{,}045 \,.\, 1230 = 55{,}35 \text{ kg.m}^{-2}$$

Výpočet rezonanční frekvence:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{s'}{m'}}$$

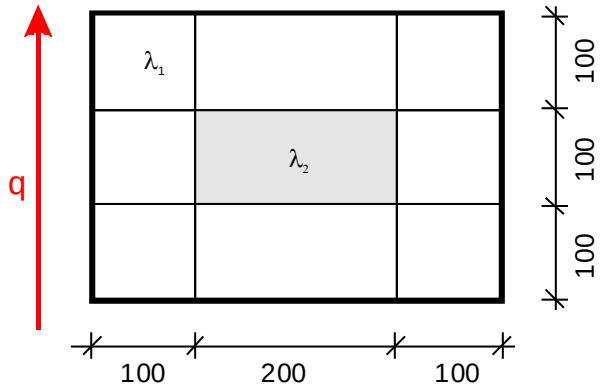
$$f_r = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{s'}{m'}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{8{,}3.10^6}{55{,}35}} = \mathbf{61{,}63\ Hz}$$

Rezonanční frekvence desky (s' = 8,3 MPa, ρ_v = 1230 kg.m^{-3}, d = 45 mm) byla 61,63 Hz.

Příklad 16

Zadání:
Vypočítejte hodnotu součinitele prostupu tepla U [W.m^{-2}.K^{-1}] u dutinové keramické tvarovky rozměrů 400 x 200 x 240 mm dle následujícího zadání:

h_e = 23 W.m^{-2}.K^{-1}, h_i = 8 W.m^{-2}.K^{-1}, θ_e = -15 °C, θ_i = +21 °C, λ_1 = 0,4 W.m^{-1}.K^{-1}, λ_2 = 0,05 W.m^{-1}.K^{-1}



Výpočet:
Výpočet jednotlivých tepelných odporů:

$$R_I = R_{III}$$

$$R_I = R_{III} = \frac{0{,}3}{0{,}4} = 0{,}75\ m^2 K W^{-1}$$

$$R_{II} = \frac{0{,}1}{0{,}4} + \frac{0{,}1}{0{,}05} + \frac{0{,}1}{0{,}4} = 2{,}5\ m^2 K W^{-1}$$

$$R^{II} = \frac{\sum_{i=I}^{III} S_i}{\sum_{i=I}^{III} \frac{S_i}{R_i}}$$

$$R^{II} = \frac{\sum_{i=I}^{III} S_i}{\sum_{i=I}^{III} \frac{S_i}{R_i}} = \frac{0{,}4}{\frac{0{,}1}{0{,}75} + \frac{0{,}2}{2{,}5} + \frac{0{,}1}{0{,}75}} = 1{,}15\ m^2 K W^{-1}$$

$$R_1 = R_3 = \frac{0{,}1}{0{,}4} = 0{,}25\ m^2 K W^{-1}$$

$$R_2 = \frac{0{,}1}{\frac{0{,}4.0{,}2 + 0{,}05.0{,}2}{0{,}4}} = 0{,}44\ m^2 K W^{-1}$$

$$R^{\perp} = \sum_{i=1}^{3} R_i$$

$$R^{\perp} = \sum_{i=1}^{3} R_i = 0{,}25 + 0{,}44 + 0{,}25 = 0{,}94\ m^2 K W^{-1}$$

$$R = \frac{2R^{\perp} + R^{II}}{3}$$

$$R = \frac{2R^{\perp} + R^{II}}{3} = \frac{2.0{,}94 + 1{,}15}{3} = 1{,}01\ m^2 K W^{-1}$$

$$R_0 = R_i + R + R_e = \frac{1}{h_i} + R + \frac{1}{h_e}$$

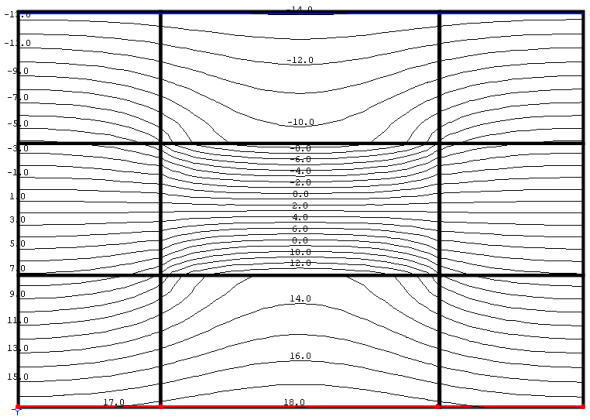
$$R_0 = R_i + R + R_e = \frac{1}{h_i} + R + \frac{1}{h_e} = \frac{1}{8} + 1{,}01 + \frac{1}{23} = 1{,}18\ m^2 K W^{-1}$$

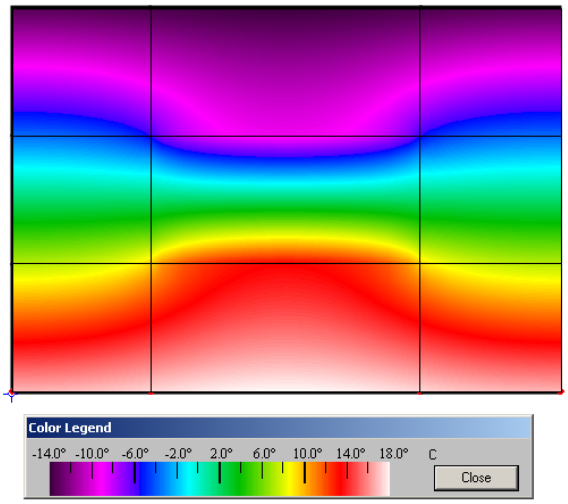
Výpočet součinitele prostupu tepla:

$$U = \frac{1}{R_0}$$

$$U = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{1{,}18}$$

U = **0,85 W.m^{-2}.K^{-1}**





Součinitel prostupu tepla U u dutinové keramické tvarovky o rozměrech 400 x 200 x 240 mm byl 0,85 W.m^{-2}.K^{-1}.

Příklad 17

Zadání:

Vypočítejte tepelný odpor vícevrstvé stavební konstrukce a znázorněte graficky průběh teploty ve stavební konstrukci. Výpočet proveďte pro zimní podmínky:

α_e = 23 W.m^{-2}.K^{-1} α_i = 8 W.m^{-2}.K^{-1}

θ_e = -15°C θ_i = +21°C

Skladba stavební konstrukce:

Vrstva	***d*** [mm]	λ [W.m^{-1}.K^{-1}]
vnější omítka	10	0,65
tepelná izolace	40	0,04
keramická tvarovka	365	0,18
vnitřní omítka	10	0,95

Výpočet:

Výpočet tepelných odporů:

$$R_e = \frac{1}{\alpha_e} \quad R_e = \frac{1}{\alpha_e} = \frac{1}{23} = 0{,}043\, m^2.K.W^{-1}$$

$$R_i = \frac{1}{\alpha_i} \quad R_i = \frac{1}{\alpha_i} = \frac{1}{8} = 0{,}125\, m^2.K.W^{-1}$$

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

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0{,}010}{0{,}65} = 0{,}015\, m^2.\,K.W^{-1} \quad R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0{,}040}{0{,}04} = 1{,}000\, m^2.\,K.W^{-1}$$

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0{,}365}{0{,}18} = 2{,}028\, m^2.\,K.W^{-1} \quad R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4} = \frac{0{,}010}{0{,}95} = 0{,}011\, m^2.\,K.W^{-1}$$

Výpočet celkového tepelného odporu:

$$R = \sum_{i=1}^{n} R_i$$

$$R = \sum_{i=1}^{n} R_i = \frac{0{,}010}{0{,}65} + \frac{0{,}040}{0{,}04} + \frac{0{,}365}{0{,}18} + \frac{0{,}010}{0{,}95} = 3{,}05\, m^2.\,K.W^{-1}$$

$$R_0 = R_i + R + R_e = 0{,}125 + 3{,}054 + 0{,}043 = 3{,}22\, m^2.\,K.W^{-1}$$

Výpočet hustoty tepelného toku:

$$q = \frac{(\Theta_i - \Theta_e)}{R_0}$$

$$q = \frac{(\Theta_i - \Theta_e)}{R_0} = \frac{(21+15)}{3{,}222} = 11{,}174\, W.m^{-2}$$

Výpočet povrchových teplot (výpočet ze strany exteriéru):

$$\Theta_{pi} = \Theta_i - \frac{(\Theta_i - \Theta_e).\,R_{pi}}{R_0} = 21 - \frac{(21+15).\,0{,}125}{3{,}222} = 19{,}6\,°C$$

$$\Theta_{pe} = \Theta_i - \frac{(\Theta_i - \Theta_e).\,R_{pe}}{R_0} = 21 - \frac{(21+15).(3{,}222 - 0{,}043 - 0{,}011)}{3{,}222} = -14{,}5\,°C$$

Výpočet teplot na rozhraní skladebných vrstev:

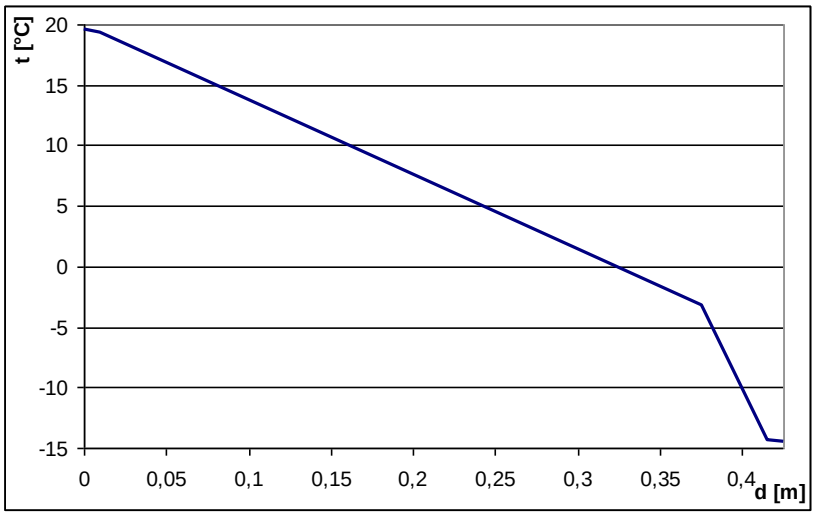
$$\Theta_x = \Theta_i - \frac{(\Theta_i - \Theta_e).\,R_x}{R_0}$$

$$\Theta_1 = \Theta_i - \frac{(\Theta_i - \Theta_e).\,R_1}{R_0} = 21 - \frac{(21+15).(3{,}222 - 0{,}043)}{3{,}222} = -14{,}4\,°C$$

$$\Theta_2 = \Theta_i - \frac{(\Theta_i - \Theta_e).\,R_2}{R_0} = 21 - \frac{(21+15).(3{,}222 - 0{,}043 - 1)}{3{,}222} = -3{,}2\,°C$$

$$\Theta_3 = \Theta_i - \frac{(\Theta_i - \Theta_e).\,R_3}{R_0} = 21 - \frac{(21+15).(3{,}222 - 0{,}043 - 1 - 2{,}028)}{3{,}222} = 19{,}4\,°C$$

Grafické znázornění průběhu teplot ve vyšetřované stavební konstrukci:

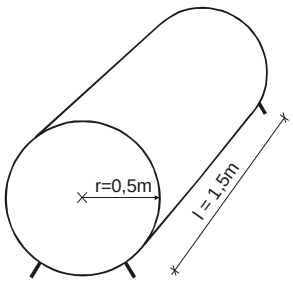


Tepelný odpor zadané vícevrstvé stavební konstrukce je při daných klimatických podmínkách R = 3,05 $m^2.K.W^{-1}$ a tepelný odpor konstrukce s přestupy tepla je roven R_0 = 3,22 $m^2.K.W^{-1}$.

Příklad 18

Zadání:

Vypočítejte hustotu sálavého tepelného toku pláštěm válcové pece o vnějším poloměru 0,5 m a výšce 1,5 m. Povrchová teplota pece je +250°C a emisivita povrchu pece je 0,85.



Výpočet:

Výpočet plochy povrchu válcové pece:

$$S = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l + 2 \cdot \pi \cdot r^2$$

$$S = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l + 2 \cdot \pi \cdot r^2 = 2 \cdot \pi \cdot 0{,}5 \cdot 1{,}5 + 2 \cdot \pi \cdot 0{,}5^2 = 6{,}28 \text{ m}^2$$

Výpočet hustoty sálavého tepelného toku:

$$\Phi_r = \varepsilon . S . \sigma_0 . T^4$$

$$\Phi_r = \varepsilon . S . \sigma_0 . T^4 = 0{,}85 \cdot 6{,}28 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot (273 + 250)^4 =$$

= **22,66 kW**

Hustota sálavého tepelného toku pláštěm válcové pece o vnějším poloměru 0,5 m a výšce 1,5 m byla 22,66 kW.

Příklad 19

Zadání:

Jakou teplotu má povrch o ploše 0,5 m^2, pokud sálá tepelným tokem 0,95 kW? Emisivita povrchu je 0,91.

Výpočet:

Výpočet teploty odvodíme ze vzorce (Kirchhoffův zákon):

$$\Phi_r = \varepsilon . S . \sigma_0 . \Theta^4$$

Výpočet teploty povrchu:

$$\theta = \sqrt[4]{\frac{\Phi_r}{\varepsilon . S . \sigma_0}} - 273 = \sqrt[4]{\frac{0{,}95.10^3}{0{,}91.0{,}5\ .5{,}67.10^{-8}}} - 273 = \mathbf{165{,}1°C}$$

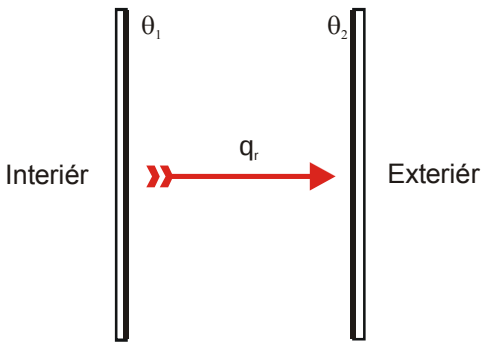
Povrch o ploše 0,5 m^2 sálající tepelným tokem 0,95 kW s emisivitou 0,91 má teplotu 165,1°C.

Příklad 20

Zadání:

Vypočítejte tepelné ztráty prostupem tepla okenním zasklením o ploše 1,5 m^2 za 24 hodin. Okenní zasklení je tvořeno dvěma skleněnými deskami, mezi nimiž se nachází vakuum.

Emisivita skla je rovna: ε_{sklo} = 0,92.
Teploty vnitřních povrchů zasklení jsou: θ_1 = +15°C, θ_2 = -8°C



Výpočet:
Výpočet tepelného toku:

$$\Phi_{r,12} = S.\frac{\sigma_0(\Theta_1^4 - \Theta_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

$$\Phi_{r,12} = S.\frac{\sigma_0(\Theta_1^4 - \Theta_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} = 1{,}5.\frac{5{,}67.10^{-8}\left(288^4 - 265^4\right)}{\frac{1}{0{,}92} + \frac{1}{0{,}92} - 1} =$$

Výpočet tepelné ztráty:

$$Q_{12} = \Phi_{r,12}.\tau = 141{,}1.\,86400 = \mathbf{12{,}2\ MJ}$$

Tepelné ztráty prostupem tepla okenním zasklením o ploše 1,5 m^2 za 24 hodin byly 12,2 MJ.

Příklad 21

Zadání:
V potrubí o délce l = 100 m a průměru d = 100 mm protéká voda rychlostí 0,1 m.s^{-1}. Nadimenzujte tloušťku tepelné izolace takovým způsobem, aby voda nezamrzla. Teplota vody na vtoku do potrubí má +5°C. (pozn. řešte jako válcovou stěnu, kde je možné zanedbat tloušťku stěny, tepelný odpor trubky a přestup tepla na vnějším povrchu izolace, tloušťka tepelné izolace bude dána $x=r_2-r_1$).
θ_e = -50°C, h_e = 1000 W.m^{-2}.K^{-1}, $c_{0,voda}$ = 4200 J.kg^{-1}.K^{-1}, $\lambda_{izolace}$ = 0,08 W.m^{-1}.K^{-1}

Výpočet:
Výpočet množství vody v 1m trubky (l_0 = 1m):

$$V = \frac{\pi . d^2}{4} .\ l_0$$

$$V = \frac{\pi . d^2}{4} . l_0 = \frac{3{,}14 . 0{,}1^2}{4} . 1 = 7{,}85.10^{-3}\ m^3$$

$$m = \rho_{voda} . V$$

$$m = \rho_{voda} . V = 1000.7{,}85.10^{-3} = 7{,}85\ kg$$

Výpočet množství tepla, které se uvolní při ochlazení vody z +5°C na 0°C:

$$Q = m.c_{0,voda}.\Delta\theta$$
$$Q = m.c_{0,voda}.\Delta\theta = 7{,}85.4200.5 = 164850\ J$$

Výpočet doby průtoku vody trubkou:

$$\tau = \frac{l}{v}$$
$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{100}{0{,}01} = 1000\ s$$

Výpočet tepelného toku:

$$\Phi = \frac{Q}{\tau}$$
$$\Phi = \frac{Q}{\tau} = \frac{164850}{1000} = 164{,}85\ W$$

Výpočet střední teploty vody:

$$\theta_{si} = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$$
$$\theta_{si} = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} = \frac{0+5}{2} = 2{,}5°C$$

Výpočet potřebné tloušťky tepelné izolace pro vnitřní teplotu rovnou střední teplotě vody při průtoku potrubím:

$$\Phi = \frac{(\theta_{si} - \theta_e)}{\frac{1}{2\pi.\lambda_{izolace}} \ln \frac{d+2x}{d}}$$

$$\ln \frac{d+2x}{d} = \frac{2\pi.\lambda_{izolace}(\theta_{si} - \theta_e)}{\Phi}$$

$$\frac{d+2x}{d} = e^{\frac{2\pi.\lambda_{izolace}(\theta_{si} - \theta_e)}{\Phi}}$$

$$x = \frac{d}{2}(e^{\frac{2\pi.\lambda_{izolace}(\theta_{si} - \theta_e)}{\Phi}} - 1)$$

x = 8,6 mm

Tloušťka přídavné tepelné izolace, kterou je nutné izolovat potrubí, aby nedošlo k zamrznutí protékající vody, je přibližně 10 mm.

Příklad 22

Zadání:

Vypočítejte tepelnou jímavost podlahové konstrukce podle schématu. Podlaha se nachází mezi dvěma místnostmi vytápěnými na stejnou teplotu θ_{ai} = 20 °C.

Skladba podlahy:

Materiál	d [m]	λ [W/m.K]	ρ [kg/m^3]	c [J/kg.K]
1. dřevotřísková deska	0,015	0,17	600	2510
2. betonová mazanina	0,040	1,15	2100	840
3. lepenka	0,002	0,21	1100	1470
4. izolační rohož	0,015	0,09	350	920
5. keram. nosný strop	0,240	0,47	1100	960
6. omítka	0,010	0,7	1600	840

Výpočet:

Vyjádříme hodnoty parametru $y_j = \dfrac{d_j^2}{a_j \cdot \tau}$ postupně pro jednotlivé vrstvy a posuzujeme zda y_j vyšetřované vrstvy sečtené s hodnotami předchozích vrstev poskytuje celkovou hodnotu rovnu nebo vyšší hodnotě 3,00 (-). Tímto postupem zjistíme, kolik skladebných vrstev od horního líce ovlivňuje tepelnou jímavost celé podlahové konstrukce.

$$a_1 = \frac{\lambda_1}{\rho_1 \cdot c_1} = \frac{0{,}17}{600 \cdot 2510} = 1{,}129 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{m^2.s^{-1}}$$

$$y_1 = \frac{d_1^2}{a_1 \cdot \tau} = \frac{0{,}015^2}{1{,}129 \cdot 10^{-7} \cdot 600} = 3{,}32\,;$$

$y_1 > 3{,}00 \Rightarrow$ tzn., že na tepelné jímavosti podlahové konstrukce se podílí jen tepelná jímavost první (nášlapné) vrstvy, a proto tepelnou jímavost první vrstvy dosadíme za tepelnou jímavost celé podlahové konstrukce při krátkodobém styku τ = 600 s.

$$B = B_1 = \sqrt{\lambda_1 \cdot \rho_1 \cdot c_1} = \sqrt{0{,}17 \cdot 600 \cdot 2510} = 506{,}0\ \mathrm{W.s^{0,5}.m^{-2}.K}$$

$$\Delta t_{10} = \frac{(33 - t_{sim}) \cdot B}{1117 + B} = \frac{(33 - 20) \cdot 506{,}0}{1117 + 506{,}0} = \mathbf{4{,}05\ ^{o}C}.$$

Tepelná jímavost podlahové konstrukce dle zadání je 506 W.s^{0,5}/m^2.K. Tuto podlahu, vzhledem k hodnotě poklesu dotykové teploty Δt_{10}, lze zařadit do II. kategorie s označením „teplá“.

Příklad 23

Zadání:

Vypočítejte emisivitu chladné desky Bockova přístroje ε_2, pokud víte, že teplota teplé desky je +15,0°C, teplota chladné desky je +5,0 °C, emisivita teplé desky je ε_1 = 0,92. Mezi deskami Bockova přístroje se nachází při dané úloze vakuum. Hustota tepelného toku mezi deskami je 25 W.m^{-2}. σ_0 = 5,67.10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}.

Výpočet:

Výpočet hustoty tepelného toku:

$$q_{r,12} = \frac{\sigma_0(\Theta_1^4 - \Theta_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

$$25 = \frac{5{,}67.10^{-8}\left(288^4 - 278^4\right)}{\frac{1}{0{,}92} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

$$25 = \frac{51{,}42}{\frac{1}{0{,}92} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

$$\frac{1}{0{,}92} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 = 2{,}057$$

$$\frac{1}{\varepsilon_2} = 1{,}970$$

$$\varepsilon_2 = \mathbf{0{,}51}$$

Emisivita chladné desky Bockova přístroje byla 0,51.

Příklad 24

Zadání:

Do místnosti o vnitřní teplotě θ_a = 21,0°C a relativní vlhkosti φ_1 = 60,0 % a vnitřních rozměrech 4 x 5 x 3 m umístíme kondenzační sušičku vzduchu o teplotě +10°C. Kolik vodní páry v gramech v sušičce zkondenzuje, než se v místnosti ustálí konstantní relativní vlhkost φ_2 a jaká bude hodnota ustálené relativní vlhkosti v místnosti, při které nebude docházet k další kondenzaci vodní páry v sušičce.

Vzorce:

$$p_d = c\, R_D\, T$$

kde: p_d – parciální tlak vodní páry [Pa],
c – koncentrace vodní páry [kg.m^{-3}],
R_D – speciální plynová konstanta vodní páry, R_D = 462 J.kg^{-1}.K^{-1},
T – termodynamická teplota [K].

$$p_d'' = a.\left(b + \frac{\theta}{100°C}\right)^n$$

kde: θ – teplota [°C],
a, b, n – konstanty.

Konstanta	***30°C ≥ θ ≥ 0°C***	***0°C > θ ≥ -20°C***
a	288,68 (Pa)	4,689 (Pa)
b	1,098	1,486
n	8,02	12,3

Výpočet:

Výpočet parciálních tlaků nasycené vodní páry:

$$p''_{d,21°C} = 288{,}68.\left(1{,}098 + \frac{21}{100°C}\right)^{8{,}02} = 2486{,}36\ Pa$$

$$p''_{d,10°C} = 288{,}68.\left(1{,}098 + \frac{10}{100°C}\right)^{8{,}02} = 1229{,}25\ Pa$$

Výpočet relativní vlhkosti vzduchu:

$$\varphi_2 = \frac{p_{d,21°C}}{p''_{d,21°C}}.100 = \frac{p''_{d,10°C}}{p''_{d,21°C}} = 49{,}43\,\%$$

Výpočet koncentrace vodní páry:

$$c_{21°C} = \frac{p_{d,21°C}}{R_d\ (21+273)} = \frac{p''_{d,21°C}\ \varphi_1}{R_d\ (21+273)} = \frac{2486{,}36\,.\,\frac{60}{100}}{462\ (21+273)} = 0{,}01094\ kg.m^{-3} = 10{,}94\ g.m^{-3}$$

$$c'_{21°C} = \frac{p'_{d,21°C}}{R_d\ (21+273)} = \frac{p''_{d,21°C}\ \varphi_2}{R_d\ (21+273)} = \frac{2486{,}36\,.\,\frac{49{,}43}{100}}{462\ (21+273)} = 0{,}00905\ kg.m^{-3} = 9{,}05\ g.m^{-3}$$

Výpočet hmotnosti vodní páry:

$$m = \left(c_{21°C} - c'_{21°C}\right)V = (10{,}94 - 9{,}05)\,60 = \mathbf{116{,}06\ g}$$

V sušičce zkondenzuje 116,06 g vodní páry.

NEŘEŠENÉ VÝPOČTOVÉ ÚLOHY

Příklad 1

Zadání:
Určete vlnovou délku zvukového signálu daných frekvencí při teplotě vzduchu + 21°C. Zadané frekvence: 100, 400, 1250, 5000 Hz.

[f = 100 Hz: λ = 3,445 m; f = 400 Hz: λ = 0,861 m; f = 1250 Hz: λ = 0,276 m; f = 5000 Hz: λ = 0,069 m]

Příklad 2

Zadání:
Stanovte efektivní a maximální hodnotu akustického tlaku, je-li zadána hladina akustického tlaku L_p = 75 dB.

[p_{max} = 0,159 Pa]

Příklad 3

Zadání:
Odvoďte veličinu *akustického tlaku p* z výpočtového vzorce pro výpočet hladiny akustického tlaku.

Příklad 4

Zadání:
Odvoďte vztah pro výpočet *intenzity zvuku I* z výpočtového vzorce pro výpočet hladiny akustické intenzity.

Příklad 5

Zadání:
Zdrojem zvuku v místnosti jsou tikající hodiny s L_{p1}=28 dB, vysavač prachu ve stejné místnosti způsobí hladinu akustického tlaku L_{p2}=55 dB**.** Jaká je hladina výsledné hladiny akustického tlaku?
[L_p = 55 dB]

Příklad 6

Zadání:

Vypočítejte hodnotu akustické rychlosti *v*, intenzitu *I* a hladinu intenzity L_I pro akustický tlak 0,2 Pa a teplotu prostředí +20°C. Pro výpočet předpokládejte hustotu vzduchu ρ = 1,2 kg.m^{-3}.

[v = 4,85.10^{-4} m.s^{-1}; I = 9,69.10^{-5}W.m^{-2}; L_i = 79 dB]

Příklad 7

Zadání:

Určete hustotu zvukové energie *w* [J.m^{-3}] zvuku se akustickým tlakem p_{ef} = 0,15 Pa. Pro výpočet předpokládejte teplotu prostředí +20°C hustotu vzduchu ρ = 1,2 kg.m^{-3}.

[w = 1,59.10^{-7} J.m^{-3}]

Příklad 8

Zadání:

Určete výslednou hladinu akustické intenzity dvou zdrojů, jestli-že L_{I1} = L_{I2}= 65dB.

[L_I = 68,0 dB]

Příklad 9

Zadání:

Určete výslednou hladinu akustické tlaku v místě pozorovatele, kde se vyskytují tři akustické zdroje s $L_{i,1}$ = 35 dB, $L_{i,2}$ = 36 dB a $L_{i,3}$ = 37 dB

[L_p = 40,85 dB]

Příklad 10

Zadání:

Určete výslednou hladinu akustické intenzity dvou zdrojů, jestli-že L_{I1} = 57 dB a L_{I2}= 65dB.

[L_I = 65,6 dB]

Příklad 11

Zadání:

Posluchač sedí v místnosti uprostřed kvadrofonní soustavy reproduktorů, z nichž přední dva mají výkon 1 W a zadní dva výkon 0,5 W. Jaká je hladina akustického tlaku L_p [dB] uprostřed

zvukové soustavy (reproduktory jsou umístěny v rozích čtverce o hraně 4 m)? Pro výpočet předpokládejte teplotu prostředí +22°C hustotu vzduchu ρ = 1,2 kg.m^{-3}.

[$L_p = 104{,}9$ dB]

Příklad 12

Zadání:

Posluchač sedí v místnosti uprostřed soustavy reproduktorů, které jsou umístěny po obvodu kruhové místnosti, z nichž reproduktory (sever, jih) mají výkon 0,7 W a reproduktory (východ, západ) mají výkon 1,0 W. Jaká je hladina akustického tlaku L_p [dB] uprostřed zvukové soustavy (reproduktory jsou umístěny po obvodu kruhu o poloměru 3,5 m)? Pro výpočet předpokládejte teplotu prostředí +20°C hustotu vzduchu ρ = 1,2 kg.m^{-3}.

[$L_p = 119{,}35$ dB]

Příklad 13

Zadání:

Určete maximální hodnotu hladiny akustického tlaku $L_{p,1}$, kterou může mít jeden ze zdrojů hluku před nemocniční budovou, pokud požadujeme, aby maximální hodnota hladiny akustického tlaku $L_{p,max}$ byla 40 dB. Hodnota hladiny akustického tlaku je u druhého zdroje $L_{p,2}$ = 35 dB.

[$L_{p,1} = 32{,}8$ dB]

Příklad 14

Zadání:

Určete, jaká je hladina akustického tlaku L_p ve vzdálenosti 100 m od zdroje akustickém výkonu P = 25W. Pro výpočet předpokládejte teplotu prostředí +10°C hustotu vzduchu ρ = 1,2 kg.m^{-3}.

[$L_p = 83{,}1$ dB]

Příklad 15

Zadání:

Při měření hladiny akustického tlaku byla použita oktávová propust 500 – 1000 Hz přepočítejte naměřenou hodnotu L_p = 65 dB pro rozšířené pásmo: 400 – 1250 Hz.

[$L_n =$ 67,3 dB]

Příklad 16

Zadání:

Proveďte výpočet jednočíselné hodnoty zvukové pohltivosti DL_α [dB] a vzduchové neprůzvučnosti DL_R [dB] u protihlukové stěny na základě naměřených hodnot činitele zvukové pohltivosti a vzduchových neprůzvučností v jednotlivých třetinooktávových pásmech. Protihluková stěna je tvořena ze složené konstrukce 150 mm železobetonové desky s předsazenou absorpční vrstvou z mezerovitého betonu. Akustické vlastnosti protihlukové stěny v oblasti zvukové pohltivosti a vzduchové neprůzvučnosti jsou uvedeny v tab. č. 2.

Tab. 2: Normalizované spektrum hluku silničního provozu dle ČSN EN 1793-3

f_i [Hz]	L_i [dB]
100	-20
125	-20
160	-18
200	-16
250	-15
315	-14
400	-13
500	-12
630	-11
800	-9
1000	-8
1250	-9
1600	-10
2000	-11
2500	-13
3150	-15
4000	-16
5000	-18

Tab. 3: Přehled činitelů zvukové pohltivosti pohltivé vrstvy protihlukové stěny a vzduchové neprůzvučnosti celé stěny v závislosti na frekvenci

f_i [Hz]	α_{si} [-]	R_i [dB]
100	0,89	35,9
125	0,91	35,9
160	0,80	35,9
200	0,81	39,
250	0,80	42,3
315	0,80	45,6
400	0,84	47,7
500	0,81	49,7
630	0,86	51,7
800	0,89	53,7
1000	0,86	55,7
1250	0,81	57,7
1600	0,73	59,7

2000	0,85	61,7
2500	0,88	63,7
3150	0,90	65,7
4000	0,91	67,7
5000	0,93	69,7

Vztah pro výpočet jednočíselné hodnoty zvukové pohltivosti:

$$DL_\alpha = -10\log\left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_{Si} 10^{0,1 L_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i}}\right)$$

Vztah pro výpočet jednočíselné hodnoty vzduchové neprůzvučnosti:

$$DL_R = -10\log\left(\frac{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i}\, 10^{-0,1 R_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{10 L_i}}\right)$$

[$DL_\alpha = 7{,}96$ dB; $DL_R = 47{,}42$ dB]

Příklad 17

Zadání:

Do místnosti o rozměru 5×4 m a výšce 2,5m vniká zvuk o hladině akustického tlaku L_{pi} = 40 dB. Jaká bude hladina akustického tlaku L_p v místnosti, pokud stěny i podlaha střední činitel nabývají hodnoty činitele zvukové pohltivosti α_s = 0,3. (Vliv otevřeného okna se zanedbává.)

[$L_p = 34{,}8$ dB]

Příklad 18

Zadání:

Stanovte dobu dozvuku T pro místnost z o rozměru 5×4 m a výšce 2,5m. Hodnota činitele zvukové pohltivosti stěn a stropu α_s = 0,2, hodnota činitele zvukové pohltivosti podlahy α_s = 0,8. Pro výpočet použijte Millingtonova vztahu.

[$T_M = 0{,}15$ s]

Příklad 19

Zadání:

Vypočítejte rezonanční kmitočet plovoucí podlahy, kde plošná hmotnost je m' = 25 kg.m^{-2}, dynamická tuhost podkladního materiálu s' je 1,35 MPa.m^{-1}.

[f_r=37 Hz]

Příklad 20

Zadání:

Jaký útlum kročejového hluku podlahy z příkladu 13 lze předpokládat, jestliže na ni působí rázy ze zdroje o frekvenci f = 50 Hz.

[ΔL = 5,2 dB]

Příklad 21

Zadání:

Vypočítejte rezonanční frekvenci desky s dynamickou tuhostí s' = 10 MPa o objemové hmotnosti ρ_v = 1100 kg.m^{-3} a tloušťce 50 mm.

[f_r = 67,86 Hz]

Příklad 22

Zadání:

Určete maximální hodnotu hladiny akustického tlaku Lp, kterou může mít jeden ze zdrojů hluku před nemocniční budovou, pokud požadujeme, aby maximální hodnota hladiny akustického tlaku Lp byla 40 dB. Hodnota hladiny akustického tlaku je u druhého zdroje Lp1 = 30 dB.

[L_p = 39,5 dB]

Příklad 23

Zadání:

Vypočítejte hustotu sálavého tepelného toku pláštěm válcové pece o vnějším poloměru 0,8 m a výšce 2,5 m. Povrchová teplota pece je +210°C a emisivita povrchu pece je 0,79.

[Φ_r = 40,44 kW]

Příklad 24

Zadání:

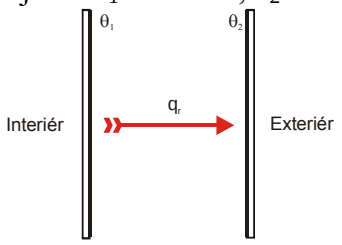
Jakou teplotu má povrch o ploše 2,3 m^2, pokud sálá tepelným tokem 0,80 kW? Emisivita povrchu je 0,85.

[Θ = 291,5 °C]

Příklad 25

Zadání:

Vypočítejte tepelné ztráty prostupem tepla okenním zasklením o ploše 1,9 m^2 za 48 hodin. Okenní zasklení je tvořeno dvěma skleněnými deskami, mezi nimiž se nachází vakuum.
Emisivita skla je rovna: ε_{sklo} = 0,92.
Teploty vnitřních povrchů zasklení jsou: θ_1 = +14°C, θ_2 = -5°C



[Q_{12} = 25,8 MJ]

Příklad 26

Zadání:

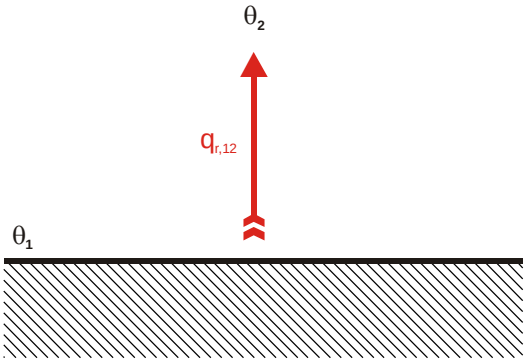
Jaká bude povrchová teplota pece, pokud jsou její tepelné ztráty na 1 m^2 rovny 1000 W. Povrchová teplota stěn pece na vnitřní straně je 1200°C. Konstrukci řešte jako rovinnou stěnu se započítáním přestupu tepla a sálavé složky tepelného toku.
Emisivita povrchu pece je rovna: ε = 0,85.
Teplota okolního prostředí je rovna θ_{ae} = +21°C.

[θ_{se} = +75,23°C]

Příklad 27

Zadání:

Vypočítejte hustotu sálavého tepelného toku stavební konstrukce s povrchovou teplotou +10°C a emisivitou 0,87 vůči jasné noční obloze. Teplota jasné noční oblohy je rovna přibližně -75°C a emisivita je rovna 1.



Sálání povrchu konstrukce vůči jasné obloze

[$q_{r,12}$ = 240,6 $W.m^{-2}$]

Příklad 28

Zadání:

Jakou emisivitu musí mít povrch konstrukce, aby jeho tepelné ztráty na $1m^2$ nepřesáhly při teplotě +800°C hodnotu 22,5 kW?

[$\varepsilon = 0{,}34$]

Příklad 29

Zadání:

Jaká je hustota sálavého tepelného toku konstrukce, pokud povrch konstrukce s emisivitou 0,85 a teplotou +20°C sálá vůči jinému rovnoběžnému povrchu s teplotou +10°C a emisivitou 0,92?

[$q_{r,12} = 42{,}9\ W.m^{-2}$]

Příklad 30

Zadání:

Nadimenzujte tloušťku tepelné izolace vícevrstvé podlahové konstrukce nad otevřeným průjezdem tak, aby vnější povrchová teplota θ_{se} byla nižší než -14,0°C. Výpočet proveďte pro zimní podmínky:
$h_e = 23\ W.m^{-2}.K^{-1}$; $h_i = 8\ W.m^{-2}.K^{-1}$
$\theta_e = -15$ °C; $\theta_i = +21$ °C
Skladba stavební konstrukce:

	Vrstva	d [mm]	λ [$W.m^{-1}.K^{-1}$]
1	Vnitřní nášlapná vrstva	8	0,31
2	Betonová mazanina	40	1,40
3	Tepelná izolace	x	0,04
4	Železobeton	150	1,45
5	Vnější omítka	15	0,80

[$x = 0{,}049\ m$]

Příklad 31

Zadání:

Stanovte tepelný odpor vícevrstvé podlahové konstrukce nad otevřeným průjezdem a znázorněte graficky průběh teploty v konstrukci. Výpočet proveďte pro zimní podmínky:

$h_e = 23\ W.m^{-2}.K^{-1}$; $h_i = 10\ W.m^{-2}.K^{-1}$
$\theta_e = -15$ °C; $\theta_i = +21$ °C

Skladba stavební konstrukce:

Vrstva		*d* [mm]	*λ* [W.m^{-1}.K^{-1}]
1	Vnitřní nášlapná vrstva	8	0,31
2	Betonová mazanina	40	1,40
3	Tepelná izolace	50	0,04
4	Železobeton	150	1,45
5	Tepelná izolace	20	0,07
6	Vnější omítka	15	0,80

[R=1,8753 m^2.K.W^{-1}]

Příklad 32

Zadání:

Jaké množství vlhkosti v gramech se teoreticky vyvětrá v zimním období za 1 hodinu, z místnosti o rozměrech 5 x 10 x 3 m při intenzitě výměny vzduchu 0,5.
Uvažujte pro výpočet následující podmínky: θ_e = -15°C, φ_e = 84 %, θ_i = +21°C, φ_i = 60 %
Vzorce:

$$p_d = c\, R_D\, T$$

kde: p_d – parciální tlak vodní páry [Pa],
c – koncentrace vodní páry [kg.m^{-3}],
R_D – speciální plynová konstanta vodní páry, R_D = 462 J.kg^{-1}.K^{-1},
T – termodynamická teplota [K].

$$p_d'' = a.\left(b + \frac{t}{100°C}\right)^n$$

kde: t – teplota [°C],
a, b, n – konstanty.

Konstanta	*30°C ≥ θ ≥ 0°C*	*0°C > θ ≥ -20°C*
a	288,68 (Pa)	4,689 (Pa)
b	1,098	1,486
n	8,02	12,3

[m = 736,4 g]

Příklad 33

Zadání:

Stanovte povrchovou teplotu podlahy nad nevytápěným prostorem s návrhovou teplotou 0,0°C. Výpočtová teplota vzduchu v místnosti je +21,0°C. Skladba podlahové konstrukce je uvedena v tabulce níže.

h_e = 23 W.m^{-2}.K^{-1}; h_i = 10 W.m^{-2}.K^{-1}

Skladba stavební konstrukce:

Vrstva		***d*** [mm]	***λ*** [W.m^{-1}.K^{-1}]
1	Vnitřní nášlapná vrstva	20	0,21
2	Betonová mazanina	20	1,45
3	Tepelná izolace	50	0,04
4	Železobeton	150	1,55
6	Vnější omítka	15	0,90

[θ_{si}=19,7 °C]

Příklad 34

Zadání:

Klimatizace smíchává teplý vzduch o teplotě +30°C a relativní vlhkosti 40 % a chladný vzduch o teplotě +10°C a relativní vlhkosti 60 % v poměru 1:2. Jaká bude teplota a relativní vlhkost výsledného vzduchu na výstupu z klimatizace.

Vzorce:

$$p_d = c\, R_D\, T$$

kde: p_d – parciální tlak vodní páry [Pa],
c – koncentrace vodní páry [kg.m^{-3}],
R_D – speciální plynová konstanta vodní páry, R_D = 462 J.kg^{-1}.K^{-1},
T – termodynamická teplota [K].

$$p_d'' = a.\left(b + \frac{\theta}{100°C}\right)^n$$

kde: θ – teplota [°C],
a, b, n – konstanty.

Konstanta	***30°C ≥ θ ≥ 0°C***	***0°C > θ ≥ -20°C***
a	288,68 (Pa)	4,689 (Pa)
b	1,098	1,486
n	8,02	12,3

Měrná tepelná kapacita vzduchu: c_0 = 1020 J.kg^{-1}.K^{-1}
Měrná tepelná kapacita vody: c_0 = 4180 J.kg^{-1}.K^{-1}
Objemová hmotnost vzduchu: ρ = 1,19 kg.m^{-3}

[θ = 16,76°C; φ = 54,70 %]