Použité vzorce pro výpočty programu **PV_1.1**

Ing. Roman Vavřička, Ph.D.

Praha 2012

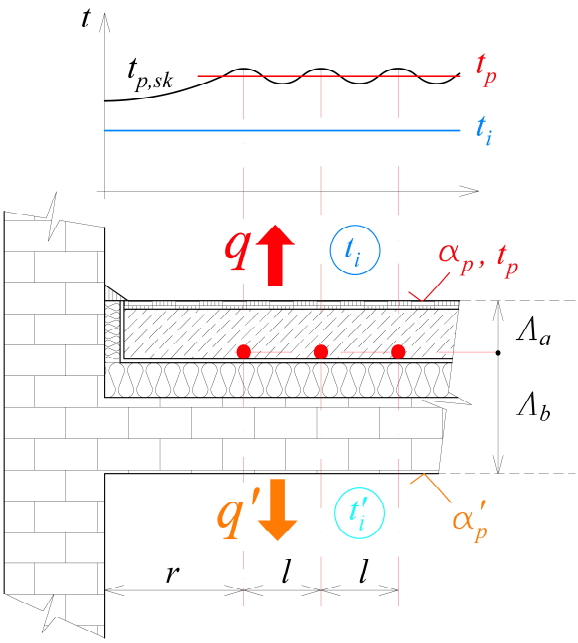
Výpočet je založen na volbě střední povrchové teploty podlahy s ohledem na hygienicky přípustné hodnoty a výpočtem tepelného výkonu podlahové otopné plochy, která bude krýt tepelné ztráty místnosti.

Hlavním výkonovým parametrem je měrný tepelný výkon q při fyziologicky přípustné střední povrchové teplotě podlahové plochy t_P. Výpočtový vztah lze vyjádřit jako:

$$t_P - t_i = \frac{\Lambda_a}{\alpha_P} \cdot (t_m - t_i) \cdot \frac{tgh\left(m \cdot \frac{l}{2}\right)}{m \cdot \frac{l}{2}} \qquad (1)$$

kde

t_p	povrchová teplota podlahové plochy [°C],
t_m	střední teplota otopné vody [°C],
t_i	výpočtová vnitřní teplota [°C],
m	charakteristické číslo podlahy [m^{-1}],
Λ_a	tepelná propustnost vrstev nad trubkami [W/m^2·K],
α_P	celkový součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy [W/m^2·K],
l	rozteč trubek [m].



Charakteristické číslo podlahy při respektování válcového tvaru potrubí se počítá ze vztahu:

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot (\Lambda_a + \Lambda_b)}{\pi^2 \cdot \lambda_{vr} \cdot d}} \qquad (2)$$

kde

Λ_a	tepelná propustnost vrstev nad trubkami [W/m^2·K],
Λ_b	tepelná propustnost vrstev pod trubkami [W/m^2·K],
λ_{vr}	součinitel tepelné vodivosti materiálu, do kterého jsou zality trubky [W/m·K],
d	vnější průměr trubek [m].

Obr. 1 Schematický nákres podlahové otopné plochy pro výpočet dle (1)

tel.: (+420) 224 352 482
fax: (+420) 224 355 606
www.fs.cvut.cz
www.utp.fs.cvut.cz

Při výpočtu tepelné propustnosti vrstvy nad trubkami lze využít vzorec:

$$\Lambda_a = \frac{1}{\sum \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_P}} \tag{3}$$

kde

s_i tloušťka jednotlivých vrstev nad osou trubek [m],
λ_i součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev nad osou trubek [W/m·K],
α_p celkový součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy [W/m^2·K].

Tepelná propustnost vrstvy pod trubkami se vypočítá ze vztahu

$$\Lambda_b = \frac{1}{\sum \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_P^{/}}} = \frac{1}{R_{str} + \frac{1}{\alpha_P^{/}}} \tag{4}$$

kde

R_{str} tepelný odpor konstrukce pod vrstvou trubek [m^2.K/W],
α'_P součinitel přestupu tepla na spodní straně otopné podlahy [volí se α'_P = 8 W/m^2·K].

V případě instalace podlahové otopné plochy nad přilehlou zeminou je nutné rozlišit zda se jedná o přilehlou zeminu v přízemí budovy (tj. budova není podsklepena), nebo zda je podlahová otopná plocha umístěna v suterénu podsklepené budovy. Pro obě varianty se výpočet tepelné propustnosti vrstvy pod trubkami upraví do vztahu

$$\Lambda_b = \frac{1}{\sum \frac{s_i}{\lambda_i} + R_{\text{zeminy}}} = \frac{1}{R_{str} + R_{\text{zeminy}}} \tag{5}$$

kde

R_{zeminy} tepelný odpor zeminy [m^2.K/W] (volí se R_{zemniy} = 1,11 m^2.K/W).

Tepelný odpor zeminy je závislý na konkrétním typu zeminy. V normě ČSN EN ISO 13 370 jsou uvedeny hodnoty součinitele tepelné vodivosti pro typy zeminy jako jsou hlíny a jíly, písky a štěrky, nebo stejnorodá skála. Z pohledu přesnosti výpočtu lze, ale pro zjednodušený model použít hodnotu R_{zeminy} = 1,11 [m^2·K/W] (viz. starší norma ČSN 06 0210). S ohledem na používané skladby podlah, kde výslednou hodnotu tepelného odporu konstrukce přilehlé k zemině tvoří hlavně tloušťka tepelné izolace, je rozptyl nejistot výsledku v případě použití hodnot R_{zeminy} od 0,5 do 2 [m^2·K/W] cca 2 %.

Celkový součinitelem přestupu tepla na povrchu otopné plochy se vypočítá ze sdíleného tepelného toku sáláním a konvekcí při známé povrchové teplotě podlahy a přibližné rovnosti teploty vzduchu v místnosti a střední radiační teploty.

tel.: (+420) 224 352 482
fax: (+420) 224 355 606
www.fs.cvut.cz
www.utp.fs.cvut.cz

$$\alpha_P = \alpha_s + \alpha_k = \frac{\varepsilon_{pod} \cdot c_0 \cdot \left[\left(\frac{(t_p + 273{,}15)}{100} \right)^4 - \left(\frac{(t_i + 273{,}15)}{100} \right)^4 \right]}{(t_P - t_i)} + 2 \cdot (t_P - t_i)^{0{,}33} \qquad (6)$$

kde

ε_{pod} emisivita povrchu podlahy (pro výpočet je zvolena 0,95) [-],
c_0 součinitel sálání absolutně černého tělesa [$c_0 = 10^8 \cdot \sigma = 5{,}67$ W/m^2·K^4],
t_p povrchová teplota podlahové plochy [°C],
t_i teplota vzduchu [°C].

Střední povrchová teplota podlahové otopné plochy nemá z fyziologických důvodů překročit hodnotu:

t_P = 27 až 28 °C u místností pro trvalý pobyt (obytné místnosti, kanceláře),
t_P = 30 až 32 °C u pomocných místností, kde člověk jen příležitostně přechází (předsíně, chodby, schodiště),
t_P = 32 až 34 °C u místností, kde člověk převážně chodí bos (plovárny, lázně, koupelny).

Při daných výchozích teplotách t_m a t_i závisí střední povrchová teplota t_P především na rozteči trubek l. Měrný tepelný výkon otopné plochy lze vypočítat ze vztahu:

$$q = \alpha_P \cdot (t_P - t_i) \qquad (7)$$

Měrný tepelný tok podlahové otopné plochy směrem dolů pokud je pod instalovanou podlahovou otopnou plochou místnost lze přibližně stanovit:

$$q' = \Lambda_b \cdot \frac{\alpha'_P}{\Lambda_a} \cdot (t_P - t_i) \qquad (8)$$

Při rozdílných teplotách na obou stranách podlahy $t_i \neq t'_i$ se počítá měrný tepelný tok na spodní straně podlahy ze vztahu

$$q' = \Lambda_b \cdot \frac{\alpha'_P}{\Lambda_a} \cdot (t_P - t_i) + \Lambda_b \cdot (t_i - t'_i) \qquad (9)$$

kde

t_i' je teplota v místnosti pod instalovanou podlahovou otopnou plochou.

Při instalaci podlahové otopné plochy nad přírodní terén (tj. v přízemí u nepodsklepené budovy, nebo v suterénu podsklepené budovy), lze měrný tepelný výkon na spodní straně podlahové otopné plochy vypočítat zjednodušeně jako

$$q' = \Lambda_b \cdot (t_p - t_z) \qquad (10),$$

kde

t_z teplota přilehlé zeminy pod podlahou [°C].

tel.: (+420) 224 352 482
fax: (+420) 224 355 606
www.fs.cvut.cz
www.utp.fs.cvut.cz

Ve starší normě pro výpočet tepelných ztrát (ČSN 06 0210) je uváděna hodnota teploty přilehlé zeminy pod podlahou t_z = 5 °C. Tato hodnota odpovídá málo tepelně izolovaným podlahám. Pro standardní skladby podlah nad terénem v souladu s ČSN 73 0540-2 (2011), které mají výrazně větší tloušťku tepelné izolace, lze teplotu zeminy uvažovat cca t_z = 3 °C [L4] (tato hodnota je v programu uvažována pro nepodsklepené budovy). U podsklepených domů je teplota zeminy přilehlá k podlaze odvislá od hloubky, ve které se podlaha nachází. Pro výpočty zjednodušeného modelu je uvažováno s teplotou t_z = 5 °C.

Šířka okraje r respektive vzdálenost krajní trubky otopného hadu od stěny závisí na charakteristickém čísle podlahy m, což vyjadřuje empirický vztah

$$r = \frac{2{,}3}{m} \qquad (10).$$

Tepelný výkon podlahové otopné plochy Q_P [W] je dán vztahem:

$$Q_P = S_P \cdot (q + q') \qquad (11),$$

kde

S_p skutečná podlahová plocha otopného hadu [m^2].

Skutečný celkový tepelný výkon otopné plochy Q_{PC} [W] je vyšší o tepelný tok, který sdílí okrajová plocha u zdi, ve které nejsou položeny trubky. V praxi se může jednat o nárůst tepelného výkonu v rozsahu od 5 % do 30 %. Tepelný výkon okrajové plochy Q_o je vyjádřen vztahem.

$$Q_o = Q_P \cdot \frac{O_P}{S_P} \cdot \frac{0{,}448 \cdot l}{tgh\left(\frac{l}{2} \cdot m\right)} \qquad (12),$$

kde O_P [m] obvod otopné podlahové plochy vymezený krajními trubkami,
S_P [m^2] otopná podlahová plocha ohraničená krajní trubkou.

Vliv nábytku na vysokých nohách je možné zanedbat. V ploše pod nábytkem s nízkýma nohama se výkon podlahové otopné plochy snižuje o cca 50 % a u nábytku se soklem se plocha odečítá.

Celkový tepelný výkon instalované podlahové otopné plochy je pak

$$Q_{PC} = Q_p + Q_o \qquad (13).$$

Literatura:

[1] Bašta, J., Vavřička, R.: Otopné plochy – cvičení. Vydavatelství ČVUT, 2005. 109 s. ISBN 80-01-03344-9.
[2] Šesták, J., Bukovský, J., Houška, M.: Tepelné pochody – transportní a termodynamická data. Vydavatelství ČVUT, 1998. 254 s. ISBN 80-01-01795-8.
[3] Rohsenow, W., Hartnett, J., Cho, Y.: Handbook of Heat Transfer. McGraw-Hill: New York. 1998. 1517 s. ISBN 0-07-053555-8.

tel.: (+420) 224 352 482
fax: (+420) 224 355 606
www.fs.cvut.cz
www.utp.fs.cvut.cz