

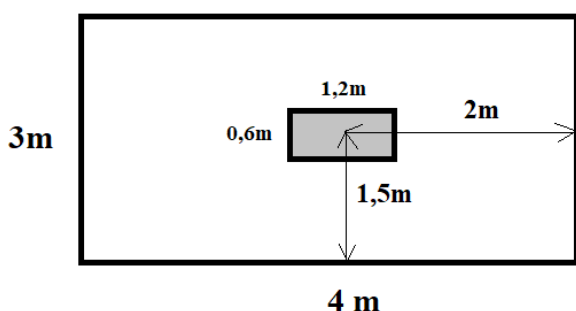
**Příklady k zápočtu z předmětu Aplikovaná fyzika**  
(řešení se odevzdávají v laboratorních cvičeních)

1) Vypočítejte matici pohledových faktorů pro místnost tvaru duté polokoule, tj. kruhová podlaha a nad ní kopule ve tvaru polokoule. Podlaha má číslo 1, kopule má číslo 2 (dodržujte číslování). (Návod na řešení: viz učební text (záření) - "dvoj-plošná" místnost. Využívejte tři základní pravidla pro pohledové faktory, další nápověda na přednášce.)

2) Vypočítejte matici pohledových faktorů pro místnost tvaru dutého kužele, tj. kruhová podlaha s poloměrem  $r = 3\text{ m}$  a nad ní kopule ve tvaru kužele s boční hranou délky  $L = 5\text{ m}$ . Podlaha má číslo 1, kopule má číslo 2 (dodržujte číslování). (Návod na řešení: viz učební text (záření) - "dvoj-plošná místnost". Využívejte tři základní pravidla pro pohledové faktory, další nápověda na přednášce.)

3) Vypočítejte matici pohledových faktorů pro malou místnost ve tvaru dutého kvádra. Místnost má výšku 3 m a půdorys místnosti je 3 m x 4 m. Protože všechny boční stěny mají v naší místnosti stejnou teplotu i emisivitu, můžeme tyto čtyři stěny považovat za jednu souvislou lomenou plochu. Místnost je tudíž "troj-plošná": podlaha číslo 1, boční stěny číslo 2 a strop číslo 3 (dodržujte číslování). Je zadán jeden pohledový faktor  $F_{13} = 0,2374$ . (Návod na řešení: viz učební text (záření) - "troj-plošná místnost". Využívejte tři základní pravidla pro pohledové faktory, další nápověda na přednášce.)

4) V místnosti tvaru dutého kvádra s výškou 3 m a půdorysem 3 m x 4 m je umístěn v podhledu stropu sálavý (otopný) panel s rozměry 0,6 m x 1,2 m. Je nainstalován v jedné rovině s podhledem, takže ze stropu nevyčnívá, a jeho střed je totožný se středem podhledu.



Podhled s panelem je znázorněn na vedlejším obrázku. Čtyři boční stěny mají stejné teploty i emisivity, tudíž je můžeme považovat za jednu souvislou lomenou plochu, kterou označíme číslem 2. Podlahu označíme číslem 1, podhled bez panelu číslem 3 a rovinu panelu číslem 4. Tím vznikne čtyř-plošná místnost, pro kterou je třeba sestavit matici pohledových faktorů.

Jsou zadány dva vstupní pohledové faktory:  $F_{41} = 0,29230$  a  $F_{13} = 0,21986$ .

(Návod na řešení: viz učební text (záření) - postup je obdobný jako u "troj-plošné místnosti". Využívejte tři základní pravidla pro pohledové faktory, další nápověda na přednášce.)

5) V místnosti tvaru duté polokoule zadané v příkladu 1) je vytápěná kruhová podlaha ( $r = 3\text{m}$ ). Místnost se nachází ve stacionárním teplotním stavu. Teplotní parametry jsou uvedeny v následující tabulce. Dodržujte číslování povrchů dle příkladu 1).

Tabulka: Vstupní parametry

| Parametr                                                                                                                            | Povrch č. 1      | Povrch č. 2     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|
| $S \text{ (m}^2\text{)}$                                                                                                            | 28,2745          | 56,5490         |
| $T \text{ (K)}$                                                                                                                     | 303<br>(podlaha) | 291<br>(kopule) |
| $\varepsilon$<br>(emisivita)                                                                                                        | 0,95             | 0,5             |
| $\rho = 1 - \varepsilon$<br>(odrazivost)                                                                                            | 0,05             | 0,5             |
| $\varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \text{ (W/ m}^2\text{)}$<br>$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (Wm}^{-2}\text{K}^{-4}\text{)}$ | 454,022          | 203,294         |

**Při řešení postupujte podle následujících bodů:**

- Uveďte pohledovou matici (byla vypočítána v příkladu 1).
- Sestavte soustavu algebraických rovnic pro radiozity obou povrchů a soustavu vyřešte.
- Vypočítejte hustoty sálavých tepelných toků ( $\text{W/ m}^2$ ) pro oba povrchy.
- Vypočítejte sálavé tepelné výkony ve watech obou povrchů a stanovte, který povrch do místnosti energii dodává a který energii z místnosti odebírá.
- Výsledky sálavých tepelných výkonů zkontrolujte pomocí kompenzačního teorému a rozhodněte, jestli jsou numericky přijatelné.

(Návod na řešení: viz učební text (záření) - "dvoj-plošná místnost". Dílčí výsledek: přibližný sálavý výkon podlahy 1299 watt. Další náповěda na přednášce.)

6) V místnosti tvaru dutého kužele zadaného v příkladu 2) je vytápěná kruhová podlaha. Místnost se nachází ve stacionárním teplotním stavu. Teplotní parametry jsou uvedeny v následující tabulce. Dodržujte číslování povrchů dle příkladu 2).

Tabulka: Vstupní parametry

| Parametr                                                                                                                            | Povrch č. 1      | Povrch č. 2     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|
| $S \text{ (m}^2\text{)}$                                                                                                            | 28,2745          | 47,124          |
| $T \text{ (K)}$                                                                                                                     | 305<br>(podlaha) | 289<br>(kopule) |
| $\varepsilon$<br>(emisivita)                                                                                                        | 0,91             | 0,8             |
| $\rho = 1 - \varepsilon$<br>(odrazivost)                                                                                            | 0,09             | 0,2             |
| $\varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \text{ (W/ m}^2\text{)}$<br>$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (Wm}^{-2}\text{K}^{-4}\text{)}$ | 446,5024         | 316,4204        |

**Při řešení postupujte podle následujících bodů:**

- Uveďte pohledovou matici (byla vypočítána v příkladu 2).
- Sestavte soustavu algebraických rovnic pro radiozity obou povrchů a soustavu vyřešte.
- Vypočítejte hustoty sálavých tepelných toků ( $\text{W/ m}^2$ ) pro oba povrchy.
- Vypočítejte sálavé tepelné výkony ve watech obou povrchů a stanovte, který povrch do místnosti energii dodává a který energii z místnosti odebírá.
- Výsledky sálavých tepelných výkonů zkontrolujte pomocí kompenzačního teorému a rozhodněte, jestli jsou numericky přijatelné.

(Návod na řešení: viz učební text (záření)- "dvoj-plošná místnost" Dílčí výsledek: přibližný sálavý výkon podlahy 2154 watt. Další nápověda na přednášce.)

7) V místnosti tvaru dutého kvádra zadaného v příkladu 3) je vytápěná podlaha. Místnost se nachází ve stacionárním teplotním stavu. Teplotní parametry jsou uvedeny v následující tabulce. Dodržujte číslování povrchů dle příkladu 3).

Tabulka: Vstupní parametry

| Parametr                                                                                                                            | Povrch č. 1      | Povrch č. 2    | Povrch č. 3    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------|----------------|
| $S \text{ (m}^2\text{)}$                                                                                                            | 12               | 42             | 12             |
| $T \text{ (K)}$                                                                                                                     | 304<br>(podlaha) | 290<br>(stěny) | 291<br>(strop) |
| $\varepsilon$<br>(emisivita)                                                                                                        | 0,94             | 0,88           | 0,89           |
| $\rho = 1 - \varepsilon$<br>(odrazivost)                                                                                            | 0,06             | 0,12           | 0,11           |
| $\varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \text{ (W/ m}^2\text{)}$<br>$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (Wm}^{-2}\text{K}^{-4}\text{)}$ | 455,2031         | 352,9049       | 361,8637       |

**Při řešení postupujte podle následujících bodů:**

- Uveďte pohledovou matici (byla vypočítána v příkladu 3).
- Sestavte soustavu algebraických rovnic pro radiozity všech povrchů a soustavu vyřešte.
- Vypočítejte hustoty sálavých tepelných toků ( $\text{W/ m}^2$ ) pro všechny tři povrchy.
- Vypočítejte sálavé tepelné výkony ve watech všech povrchů a stanovte, který povrch do místnosti energii dodává a který energii z místnosti odebírá.
- Výsledky sálavých tepelných výkonů zkontrolujte pomocí kompenzačního teorému a rozhodněte, jestli jsou numericky přijatelné.

(Návod na řešení: viz učební text (záření) - "troj-plošná místnost" Dílčí výsledek: přibližný sálavý výkon podlahy 899 watt. Další nápověda na přednášce.)

8) V místnosti tvaru dutého kvádra zadaného v příkladu 4) je umístěn v podhledu sálavý otopný panel. Místnost se nachází ve stacionárním teplotním stavu. Teplotní parametry jsou uvedeny v následující tabulce. Dodržujte číslování povrchů dle příkladu 4).

Tabulka: Vstupní parametry

| Parametr                                                                                                                            | Povrch č. 1      | Povrch č. 2    | Povrch č. 3    | Povrch č. 4    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| $S \text{ (m}^2\text{)}$                                                                                                            | 12               | 42             | 11,28          | 0,72           |
| $T \text{ (K)}$                                                                                                                     | 295<br>(podlaha) | 290<br>(stěny) | 291<br>(strop) | 343<br>(panel) |
| $\varepsilon$<br>(emisivita)                                                                                                        | 0,92             | 0,85           | 0,90           | 0,98           |
| $\rho = 1 - \varepsilon$<br>(odrazivost)                                                                                            | 0,08             | 0,15           | 0,10           | 0,02           |
| $\varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \text{ (W/ m}^2\text{)}$<br>$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (Wm}^{-2}\text{K}^{-4}\text{)}$ | 395,0563         | 340,8741       | 365,9296       | 769,1850       |

**Při řešení postupujte podle následujících bodů:**

- Uveďte pohledovou matici (byla vypočítána v příkladu 4).
- Sestavte soustavu algebraických rovnic pro radiozity všech povrchů a soustavu vyřešte.
- Vypočítejte hustoty sálavých tepelných toků ( $\text{W/ m}^2$ ) pro všechny čtyři povrchy.
- Vypočítejte sálavé tepelné výkony ve wattech všech povrchů a stanovte, který povrch do místnosti energii dodává a který energii z místnosti odebírá.
- Výsledky sálavých tepelných výkonů zkontrolujte pomocí kompenzačního teorému a rozhodněte, jestli jsou numericky přijatelné.
- Co by se stalo s tepelným výkonem panelu, kdyby byla podlaha studenější.
- Porovnejte vypočítaný výkon panelu uvnitř místnosti ( $P_{\text{uvnitř}}$ ) s výkonem téhož panelu se stejnou teplotou, který by byl umístěn v absolutně volném prostoru ( $P_{\text{venku}} = S\varepsilon\sigma T^4$ ). Kolika procentní úspora výkonu vzniká, když panel o stejné teplotě sálá uvnitř místnosti (v uzavřené obálce)? Pozn.: Úspora sálavého výkonu se projeví úsporou elektrické energie, kterou se topný panel napájí.

(Návod na řešení: viz učební text (záření) - postup je podobný jako u "troj-plošné místnosti"  
Dílčí výsledek: přibližný sálavý výkon panelu 264 watt. Další nápověda na přednášce.)

9) V příkladu 7) jste řešili sálavé výkony všech povrchů místnosti ve tvaru dutého kvádru. Máte tedy k dispozici rovněž sálavý výkon podlahy. Úkolem nyní bude zjistit u této podlahy také konvektivní tepelný výkon a pak její celkový tepelný výkon. Místnost je ve stacionárním teplotním stavu a teplota vzduchu uvnitř je  $T_{\infty} = 293 \text{ K}$  ( $\sim 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Rozměry podlahy a její teplota jsou k dispozici v zadání příkladu 7) resp. 3).

-----  
*Pozn.: K určování tepelných veličin použijte tabulku na konci učebního textu (o konvekci) a provádějte interpolace. Podobné řešení viz kapitoly 6.2.2.2 a 6.2.2.3 učebního textu (o konvekci), ovšem s tím rozdílem, že nyní jde o přirozenou konvekci u "teplé horní" plochy. Dílčí výsledek: přibližný celkový tepelný výkon podlahy  $\sim 2469 \text{ watt}$ . Další nápověda na přednášce.*

**Při řešení postupujte podle následujících bodů:**

- a) Určete charakteristický rozměr vodorovné podlahy  $L = S / O$  (plocha dělena obvodem).
- b) Určete průměrnou teplotu konvektivního proudu (konvektivního filmu)  $T_f$  pro podlahu.
- c) Pro konvektivní proud u podlahy stanovte tepelné parametry  $\beta$ ,  $\nu$ ,  $\lambda$ ,  $\alpha$ ,  $Pr$  (viz tabulka na konci učebního textu o konvekci).
- d) Vypočítejte hodnotu Rayleighova čísla  $Ra_L$  pro konvektivní proud u podlahy.
- e) Pro podlahu stanovte hodnotu součinitele přestupu tepla  $h$  (pozor, jedná se o "horní teplý povrch").
- f) Vypočítejte konvektivní tepelný výkon podlahy  $\Phi_k$ .
- g) U podlahy vypočítejte celkový tepelný výkon  $\Phi_c$  (sálavý plus konvektivní výkon).
- h) Vyčíslete, kolik procent z celkového tepelného výkonu jde do sálání a kolik do konvekce. Rozhodněte, jestli jde o konvektivní nebo sálavé topidlo.

**10)** V příkladu **8)** jste řešili sálavé výkony všech povrchů místnosti ve tvaru dutého kvádra s otopným panelem zabudovaným v podhledu. Máte tedy k dispozici rovněž sálavý výkon otopného panelu. Úkolem nyní bude zjistit u tohoto panelu také konvektivní tepelný výkon a pak jeho celkový tepelný výkon. Místnost je ve stacionárním teplotním stavu a teplota vzduchu uvnitř je  $T_{\infty} = 293\text{ K}$  ( $\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Rozměry panelu a jeho teplota jsou k dispozici v zadání příkladu **8)** resp **4)**.

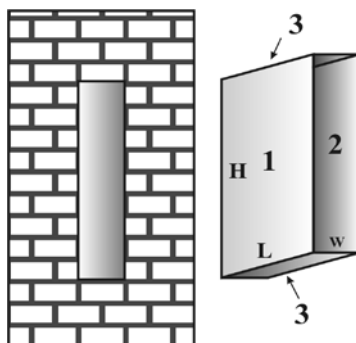
-----  
*Pozn.: K určování tepelných veličin použijte tabulku na konci učebního textu (o konvekci) a provádějte interpolace. Podobné řešení viz kapitoly 6.2.2.2 a 6.2.2.3 učebního textu (o konvekci), ovšem s tím rozdílem, že nyní jde o přirozenou konvekci u "teplé spodní" plochy. Dílčí výsledek: přibližný celkový tepelný výkon panelu 362 watt. Další nápověda na přednášce.*

**Při řešení postupujte podle následujících bodů:**

- a) Určete charakteristický rozměr vodorovně umístěného panelu v podhledu  $L = S / O$  (plocha dělena obvodem).
- b) Určete průměrnou teplotu konvektivního proudu (konvektivního filmu)  $T_f$  u panelu.
- c) Pro konvektivní proud u panelu stanovte tepelné parametry  $\beta$ ,  $\nu$ ,  $\lambda$ ,  $\alpha$ ,  $Pr$  (viz tabulka na konci učebního textu o konvekci).
- d) Vypočítejte hodnotu Rayleighova čísla  $Ra_L$  pro konvektivní proud u panelu.
- e) Pro panel stanovte hodnotu součinitele přestupu tepla  $h$  (pozor, jedná se o "spodní teplý povrch").
- f) Vypočítejte konvektivní tepelný výkon panelu  $\Phi_k$ .
- g) U panelu vypočítejte celkový tepelný výkon  $\Phi_c$  (sálavý plus konvektivní výkon).
- h) Vyčíslete, kolik procent z celkového tepelného výkonu jde do sálání a kolik do konvekce. Rozhodněte, jestli jde o konvektivní nebo sálavé topidlo.

**11)** Aby se zvýšil tepelný odpor venkovní obvodové zdi, byla v ní vytvořena úzká uzavřená vzduchová dutina (viz obrázek níže). Rozměry dutiny:  $L=10$  m,  $H=3$  m,  $w=0.05$  m. Stěny dutiny jsou očíslovány takto:

- Stěna č. 1 (Plocha =  $L \times H$ ), jedná se o levou stranu dutiny (viz obrázek) .
- Stěna č. 2 (Plocha =  $L \times H$ ) jedná se o pravou stranu dutiny (viz obrázek).
- Plocha č. 3 sestává ze 4 úzkých pásů (Plocha =  $2 \cdot [L \cdot w + H \cdot w]$ )



Obr.1 Dutina v obvodové zdi.

Tabulka 1. Data typická pro zimní období.

| Parametry                        | Plocha č. 1 | Plocha č. 2 | Plocha č. 3 |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Emisivita $\varepsilon$          | 0.95        | 0.95        | 0.80        |
| Tempplota ( $^{\circ}\text{C}$ ) | 10          | 4           | 7           |

Analyzujte přenos sálavého tepla dutinou (tj. sálavé tepelné ztráty dutiny) pomocí algebraické radiozitivní metody a vypočítejte charakteristické veličiny v následujícím sledu:

- Matice pohledových faktorů, jestliže je znám faktor  $F_{12} = 0.97874327$  .  
Ostatní faktory stanovte pomocí tří pravidel (pravidlo nulové, symetrické, součtové).
- Radiosity  $R_1, R_2, R_3$  ( $\text{W/m}^2$ ) - řešení soustavy tří lineárních algebraických rovnic.
- Sálavé tepelné toky  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$  (W) . Které z nich určují sálavé ztráty?
- Ověřte si svůj výpočet pomocí kompenzačního teorému.
- Specifikujte sálavé tepelné ztráty dutiny ve Watech.