

# Aplikovaná matematika pro obor Instalatér

1. až 3. ročník

Ing. Karel Kovářík

Pracovní sešit 102018

# Obsah

1. Úvod – význam předmětu.....	3
2. Základní příklady.....	4
2.1. Objem těles.....	4
2.2. Hmotnost vody.....	7
2.3. Ohřev vody.....	8
2.4. Účinnost zdrojů tepla.....	10
2.5. Prodloužení (dilatace) potrubí.....	11
2.6. Kompenzace potrubí.....	13
2.7. Tepelné ztráty.....	16
2.8. Velikost otopných těles.....	21
2.9. Hydrostatický tlak.....	22
3. Příklady pro rozšíření dovedností.....	23
4. Výsledky příkladů k procvičení.....	24

# 1. Úvod – význam předmětu

Každý člověk se denně setkává s potřebou znalosti matematiky. Při každém placení si musíme správně přepočítat peníze. Když neumíme počítat, snadno nás někdo okrade.

V technické praxi je matematika nezbytná. Bez matematických dovedností nejsme schopni naše zařízení správně navrhnout, provést montáž, ani provozovat. Rovněž pro výpočet požadované ceny za naši práci potřebujeme matematiku.

V každém zadání závěrečné zkoušky se nachází alespoň jeden početní příklad. Cílem předložené učebnice je poskytnout průpravu pro úspěšné složení závěrečné zkoušky včetně početních příkladů. Učebnice může samozřejmě sloužit také pro praktické řešení návrhu našeho zařízení na stavbě. Mezi často podceňovaná témata patří zejména řešení dilatace a kompenzace potrubí. Projekt obvykle přesné provedení neřeší, proto je nutné, aby návrh provedl instalatér.

Předložená učebnice je rozdělena na tři části. První část obsahuje základní příklady v přímé návaznosti na výuku a obsah závěrečné zkoušky. Druhá část obsahuje příklady pro rozšíření dovedností o další početní dovednosti, které jsou uplatnitelné při práci instalatéra. Třetí část obsahuje výsledky početních příkladů.

## **Pokyny pro práci s pracovním sešitem**

Cílem pracovního sešitu je podat postupy výpočtů co nejsrozumitelněji, ale zároveň co nejúplněji. Při výkladu se snaž spojit vyložené informace s pracovním sešitem. Po výkladu bude vždy ponechán čas na samostatný výpočet příkladů. Vždy se snaž všechny příklady vypočítat vlastními silami, pomocí informací nalezených v pracovním sešitu. Jen tak získáš početní dovednosti a budeš úspěšný při testech i u závěrečných zkoušek. Pokud to jen opíšeš od kamaráda, málo si zapamatuješ.

Text psaný kurzívou (*tj. šikmým písmem*) je pouze doplňující a není obsahem učiva.

Vysvětlivky:

[1] – odkaz na doporučenou literaturu, ta je uvedena na konci sešitu,

<sup>1</sup> – odkaz na poznámku k textu, ta je uvedena pod čarou na konci příslušné stránky.

# **Nezapomeň! Výuční list je náš společný cíl!**

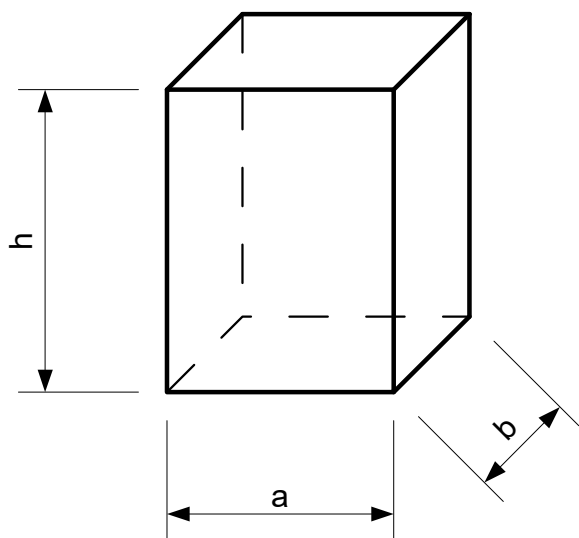
## 2. Základní příklady

### 2.1. Objem těles

Výpočet objemu tělesa, nebo naopak určení potřebných rozměrů pro zadaný objem, patří zcela základní úlohy technické praxe. Samotný výpočet objemu tělesa může být součástí dalších složitějších výpočtů. V instalátéřské praxi se výpočet objemu využívá například pro stanovení objemu vody v rozvodech a návrh rozměrů expanzní nádoby.

Mezi nejčastější případy těles patří hranoly se čtyřúhelníkovou podstavou (čtverec, obdélník) a kruhovou podstavou (válec). Zde je nutné si uvědomit, že krychle a kvádr jsou jen zvláštní případy hranolu. Proto je výpočet objemu totožný. Připomeňme, že krychle je hranol, jehož všechny hrany mají stejnou délku.

#### Výpočtové vzorce



Obr. 1: Čtyřboký hranol

Výpočet objemu

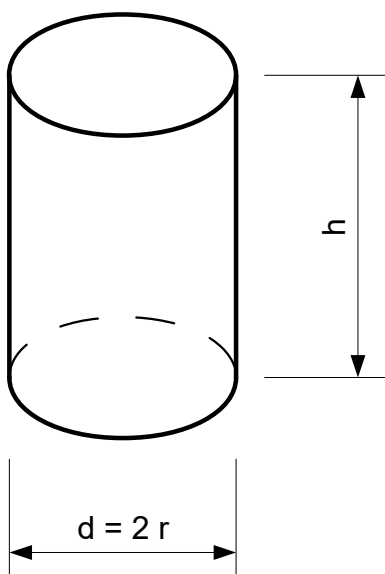
$$V = a \cdot b \cdot h$$

Výpočet požadované výšky

$$h = \frac{V}{a \cdot b}$$

Pro krychli

$$V = a^3 \rightarrow a = \sqrt[3]{V}$$



Obr. 2: Válec

Výpočet objemu

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \rightarrow$$

$$\rightarrow V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h$$

Výpočet požadované výšky

$$h = \frac{V}{\pi \cdot r^2} \rightarrow h = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d^2}$$

## Vzorové příklady

- Vypočítejte, kolik litrů vody obsahuje zcela zaplněná nádrž o průměru 500 mm a výšce 1 200 mm.

*Protože hovoříme o průměru, jedná se o nádrž ve tvaru válce (stejný případ při udání poloměru). Nejprve musíme rozměry převést do základních jednotek (tj. na metry). Následně dosadíme do vzorce a výsledek převedeme na požadovanou jednotku (litry).*

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} \cdot 1,2 = 0,236 \text{ m}^3 = \underline{\underline{236 \text{ litrů}}}$$

- Vypočítejte, kolik litrů vody obsahuje z poloviny zaplněná nádrž o průměru 500 mm a výšce 1 200 mm.

*Příklad je stejný jako předchozí, pouze výše zaplnění je jiná. Postup výpočtu je stejný, pouze vydělíme objem příslušným podílem.*

$$V = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h = \frac{1}{2} \cdot \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} \cdot 1,2 = 0,118 \text{ m}^3 = \underline{\underline{118 \text{ litrů}}}$$

- Vypočítejte, kolik litrů vody se nachází ve zcela zaplněné nádrži o rozměrech 200 × 200 × 600 mm.

*Protože hovoříme o jiných rozměrech než průměru/poloměru, jedná se o nádrž ve tvaru hranolu (v tomto případě se čtvercovou podstavou). Nejprve musíme rozměry převést do základních jednotek (tj. na metry). Následně dosadíme do vzorce a výsledek převedeme na požadovanou jednotku (litry).*

$$V = a \cdot b \cdot h = 0,2 \cdot 0,2 \cdot 0,6 = 0,024 \text{ m}^3 = \underline{\underline{24 \text{ litrů}}}$$

- Vypočítejte, kolika litry vody lze naplnit nádobu ve tvaru krychle o hraně 500 mm. Nejprve rozměry převedeme do základních jednotek (tj. na metry). Následně dosadíme do vzorce a výsledek převedeme na požadovanou jednotku (litry).

$$V = a^3 = 0,5^3 = 0,125 \text{ m}^3 = \underline{\underline{125 \text{ litrů}}}$$

- Navrhněte expanzní nádobu tvaru krychle o objemu 216 litrů.

*Úkolem je navrhnout délku hrany krychle. Požadovaný objem nejprve musíme převést na základní jednotku (tj. na m<sup>3</sup>). Následně dosadíme do vzorce.*

$$a = \sqrt[3]{V} = \sqrt[3]{0,216} = \underline{\underline{0,6 \text{ metru}}}$$

- Navrhněte výšku (hrany) expanzní nádoby o objemu 135 litrů a rozměrech podstavy 300 × 300 mm.

*Nejprve musíme převést objem a rozměry podstavy na základní jednotky (tj. na m<sup>3</sup> a m). Následně dosadíme do vzorce.*

$$h = \frac{V}{a \cdot b} = \frac{0,135}{0,3 \cdot 0,3} = \underline{\underline{1,5 \text{ metru}}}$$

## Příklady k procvičení

1. Vypočítejte, kolik litrů vody se vejde do zcela naplněné nádrže o rozměrech  $400 \times 300 \times 800$  mm.
2. Vypočítejte, kolik litrů vody se vejde do z poloviny naplněné nádrže o rozměrech  $500 \times 400 \times 1\,000$  mm.
3. Vypočítejte, kolik litrů vody se vejde do ze třetiny naplněné nádrže o rozměrech  $400 \times 400 \times 700$  mm.
4. Vypočítejte, kolik litrů vody se vejde do zcela naplněné nádrže o rozměrech  $0,6 \times 0,5 \times 1,2$  m.
5. Vypočítejte, kolik litrů vody obsahuje zcela zaplněná nádrž o průměru 400 mm a výšce 1 400 mm.
6. Vypočítejte, kolik litrů vody obsahuje zcela zaplněná nádrž o průměru 400 mm a výšce 1,1 m.
7. Vypočítejte, kolik litrů vody obsahuje ze čtvrtiny zaplněná nádrž o průměru 700 mm a výšce 1 600 mm.
8. Vypočítejte, kolik litrů vody obsahuje ze tří čtvrtin zaplněná nádrž o průměru 600 mm a výšce 1 300 mm.
9. Vypočítejte, kolik litrů vody obsahuje zcela naplněná nádrž o poloměru 250 mm a výšce 900 mm.
10. Vypočítejte, kolik litrů vody obsahuje ze třetiny naplněná nádrž o poloměru 400 mm a výšce 800 mm.
11. Vypočítejte, kolik litrů vody obsahuje zcela naplněná nádrž ve tvaru krychle o délce hrany 700 mm.
12. Vypočítejte, kolik litrů vody obsahuje z poloviny naplněná nádrž ve tvaru krychle o délce hrany 800 mm.
13. Navrhněte velikost hrany expanzní nádoby tvaru krychle o objemu 729 litrů.
14. Navrhněte výšku (hrany) expanzní nádoby o objemu 192 litrů a rozměrech podstavy  $400 \times 400$  mm.
15. Navrhněte výšku (hrany) expanzní nádoby o objemu 283 litrů a poloměru podstavy 600 mm.

## 2.2. Hmotnost vody

Hmotnost vody vypočítáme pomocí vzorce pro hustotu vody (lze použít pro jakoukoliv jinou látku). Nejprve musíme stanovit objem látky, a po dosazení do níže uvedeného vzorce, vypočítáme hmotnost. Pokud není zadána jiná hodnota, uvažujeme hustotu vody  $1\,000\text{ kg/m}^3$ .

### Výpočtový vzorec

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho \cdot V$$

### Vzorový příklad

- Kolik kilogramů váží voda při úplném naplnění nádrže ve tvaru hranolu o rozměrech 20 cm, 15 cm, 70 cm?

*Nejprve musíme zjistit objem vody, proto vzorec pro výpočet objemu vložíme do vzorce pro výpočet hustoty.*

$$V = a \cdot b \cdot h \leftarrow \rightarrow m = \rho \cdot V \rightarrow m = \rho \cdot a \cdot b \cdot h$$

$$m = 1000 \cdot 0,2 \cdot 0,15 \cdot 0,7 = \underline{\underline{21\text{ kg}}}$$

### Příklady k procvičení

1. Kolik kilogramů váží voda ve zcela zaplněné nádobě tvaru válce o poloměru podstavy 500 mm a výšce 1,8 m?
2. Kolik kilogramů váží voda ve zcela zaplněné nádobě tvaru válce o průměru podstavy 900 mm a výšce 1,3 m?
3. Kolik kilogramů váží voda ve zcela zaplněné nádobě tvaru krychle o délce hrany 0,4 m?
4. Kolik kilogramů váží voda ve zcela zaplněné nádobě tvaru krychle o délce hrany 0,7 m?
5. Kolik kilogramů váží voda ve zcela zaplněné nádobě tvaru hranolu o rozměrech 400 mm, 600 mm, 1 400 mm?
6. Kolik kilogramů váží voda ve zcela zaplněné nádobě tvaru hranolu o rozměrech 300 mm, 180 mm, 700 mm?
7. Kolik kilogramů váží voda ve z poloviny zaplněné nádobě tvaru válce o poloměru podstavy 800 mm a výšce 2,1 m?
8. Kolik kilogramů váží voda v nádobě tvaru krychle o délce hrany 0,4 m, která je zaplněna ze tří čtvrtin?
9. Kolik kilogramů váží voda v nádobě tvaru hranolu o rozměrech 400 mm, 600 mm, 1 400 mm, která je zaplněna ze dvou třetin?

### 2.3. Ohřev vody

V technické praxi potřebujeme často určit množství tepla spotřebovaného na ohřev vody nebo naopak velikost výkonu, kterým dokážeme ohřát vodu za stanovenou dobu. Příkladem může být stanovení výkonu topné spirály elektrického bojleru tak, aby se potřebné množství vody ohřálo během noční doby.

Pro úspěšný výpočet musíme znát měrnou tepelnou kapacitu vody ( $c$ ). Tato veličina je závislá na teplotě vody. Pokud se změní teplota vody, změní se i velikost tepelné kapacity. Pokud nebude uvedeno jinak, uvažujeme velikost měrné tepelné kapacity  $1,17 \text{ Wh/kg.K}$  nebo  $4\,200 \text{ J/kg.K}$ .

#### Výpočtový vzorec

$$E = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \rightarrow P = \frac{E}{\eta \cdot \tau}$$

kde:

$E$  – potřeba energie (Wh)

$t_2$  – teplota vody po ohřevu ( $^{\circ}\text{C}$ )

$m$  – hmotnost vody (kg)

$P$  – příkon ohřivače (W)

$c$  – měrná tepelná kapacita (Wh/kg.K)

$\eta$  – účinnost ohřevu

$t_1$  – teplota vody před ohřevem ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\tau$  – doba ohřevu (h)

Pokud nebude udána jiná hodnota, můžeme ve výpočtech zjednodušeně uvažovat účinnost 1. Protože platí, že litr vody váží přibližně jeden kilogram, můžeme zjednodušeně místo hmotnosti vody (v kg) dosadit objem v litrech.

#### Vzorové příklady

- Vypočítejte, kolik tepla obsahuje 300 kg vody o teplotě  $85^{\circ}\text{C}$ . Tepelná kapacita vody je  $1,16 \text{ Wh/kg.K}$ .

*Pokud není udána teplota vody před ohřevem, uvažujeme ji hodnotou  $0^{\circ}\text{C}$ . Pro výpočet tepla stačí zadat hodnoty do vzorce*

$$E = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = 300 \cdot 1,16 \cdot 85 = 29\,580 \text{ Wh} = \underline{\underline{29,58 \text{ kWh}}}$$

- Kolik tepla musíme dodat do 150 litrů vody, aby se ohřála z  $10^{\circ}\text{C}$  na  $50^{\circ}\text{C}$ ?

$$E = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)$$

$$E = 150 \cdot 1,17 \cdot (50 - 10) = 7\,020 \text{ Wh} = \underline{\underline{7,02 \text{ kWh}}}$$

- Jaký tepelný výkon je potřeba k ohřátí 200 litrů vody z  $5$  na  $60^{\circ}\text{C}$  za 3 hodiny?

*Nejprve musíme dosadit vzorec pro výpočet potřeby tepla do vzorce pro výpočet příkonu (viz níže). Poté již jen dosadíme.*

$$P = \frac{m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{\eta \cdot \tau} = \frac{200 \cdot 1,17 \cdot (60 - 5)}{1 \cdot 3} = 4\,290 \text{ W} = \underline{\underline{4,29 \text{ kW}}}$$



- Vypočítejte, kolik hodin trvá ohřev 200 litrů vody z 5 °C na 60 °C výkonem 2 kW. *Nejprve musíme upravit vzorec pro výpočet příkonu (viz předchozí příklad) do podoby uvedené níže. Poté již jen dosadíme. Pozor kW musíme převést na W.*

$$\tau = \frac{m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{\eta \cdot P} = \frac{200 \cdot 1,17 \cdot (60 - 5)}{1 \cdot 2000} = \underline{\underline{6 \text{ hodin}}}$$

- Jaký tepelný výkon je potřeba k ohřátí 125 kg vody z 10 na 55 °C za 1 hodinu? *Nejprve musíme dosadit vzorec pro výpočet potřeby tepla do vzorce pro výpočet příkonu (viz níže). Poté již jen dosadíme.*

$$P = \frac{m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{\eta \cdot \tau} = \frac{125 \cdot 1,17 \cdot (55 - 10)}{1 \cdot 1} = 6\,581 \text{ W} = \underline{\underline{6,58 \text{ kW}}}$$

### Příklady k procvičení

1. Vypočítejte, kolik tepla obsahuje 400 kg vody o teplotě 90 °C. Tepelná kapacita vody je 1,16 Wh/kg.K.
2. Vypočítejte, kolik tepla obsahuje 250 litrů vody o teplotě 70 °C.
3. Jaké množství tepla musíme dodat do 300 litrů vody, aby se ohřála z 5 °C na 57 °C? Tepelná kapacita vody je 1,16 Wh/kg.K.
4. Kolik se spotřebuje tepla pro ohřev 125 litrů vody z 15 °C na 80 °C?
5. Jaké množství tepla se spotřebuje pro ohřev 200 kg vody z 12 °C na 70 °C?
6. Jaký tepelný výkon je potřeba k ohřátí 350 litrů vody z 5 na 52 °C za 0,5 hodiny?
7. Jaký tepelný výkon je potřeba k ohřátí 350 litrů vody z 5 na 52 °C za 2 hodiny?
8. Jaký tepelný výkon je potřeba k ohřátí 350 litrů vody z 5 na 52 °C za 4 hodiny?
9. Jaký tepelný výkon je potřeba k ohřátí 350 litrů vody z 5 na 52 °C za 10 hodin?
10. Jaký tepelný výkon je potřeba k ohřátí 600 kg vody z 8 na 58 °C za 5 hodin?
11. Vypočítejte, kolik hodin trvá ohřev 100 litrů vody z 10 na 65 °C výkonem 2 kW.
12. Vypočítejte, kolik hodin trvá ohřev 100 litrů vody z 10 na 65 °C výkonem 6 kW.
13. Vypočítejte, kolik hodin trvá ohřev 100 litrů vody z 10 na 65 °C výkonem 12 kW.
14. Vypočítejte, kolik hodin trvá ohřev 400 kg vody z 15 na 85 °C výkonem 4 kW.

## 2.4. Účinnost zdrojů tepla

Účinnost nám říká, jaký díl dodané energie (příkon  $P'$ ) lze účelně využít (výkon  $P$ ). Zbývající díl jsou tepelné ztráty. Výše účinnosti nám pomáhá porovnat jednotlivé spotřebiče mezi sebou a vybrat ten nejúspornější. (Účinnost však není jediným, ani hlavním kritériem výběru.) Účinnost vypočítáme jako bezrozměrné (de)setinné číslo. Pokud chceme účinnost vyjádřit v procentech, vynásobíme ji číslem 100.

Pokud potřebujeme vypočítat účinnost, pomůže nám jednoduchá pomůcka. Menší číslo vždy dáme nad zlomkovou čáru a větší pod zlomkovou čáru.

### Výpočtový vzorec

$$\eta = \frac{P}{P'} \rightarrow P = \eta \cdot P' \rightarrow P' = \frac{P}{\eta}$$

### Vzorové příklady

- Vypočítej účinnost plynového kotle, který má příkon 33 kW a výkon 30 kW.  
*Protože dosazujeme dvě hodnoty se stejnou jednotkou, můžeme si dovolit ponechat výkon i příkon v kW (není to základní jednotka).*

$$\eta = \frac{P}{P'} = \frac{30}{33} = \underline{\underline{0,91 \rightarrow 91 \%}}$$

- Vypočítej příkon elektrického kotle, který má výkon 24 kW a účinnost 97 %.  
*Nejprve musíme účinnost převést na (de)setinné číslo.*

$$P' = \frac{P}{\eta} = \frac{24}{0,97} = \underline{\underline{25 \text{ kW}}}$$

- Vypočítej výkon kotle na pevná paliva, při účinnosti 80 % a příkonu 40 kW.

$$P = \eta \cdot P' = 0,8 \cdot 40 = \underline{\underline{32 \text{ kW}}}$$

### Příklady k procvičení

1. Vypočítejte účinnost kotle na uhlí, který má příkon 80 kW a výkon 64 kW.
2. Vypočítejte účinnost plynového kotle, který má příkon 26 kW a výkon 24 kW.
3. Vypočítejte účinnost elektrického kotle, který má příkon 51 kW a výkon 50 kW.
4. Vypočítejte výkon kotle na uhlí, který má příkon 60 kW a účinnost 83 %.
5. Vypočítejte výkon plynového kotle, který má příkon 120 kW a účinnost 94 %.
6. Vypočítejte výkon elektrického kotle, který má příkon 24,5 kW a účinnost 98 %.
7. Vypočítejte příkon kotle na uhlí, který má výkon 140 kW a účinnost 80 %.
8. Vypočítejte příkon plynového kotle, který má výkon 64 kW a účinnost 93 %.

## 2.5. Prodloužení (dilatace) potrubí

Pokud se změní teplota potrubí, změní se jeho délka. Tomuto jevu (změně délky) říkáme dilatace potrubí. Pro návrh kompenzátorů, a celého řešení kompenzace, potřebujeme znát číselnou hodnotu změny délky. Této hodnotě říkáme prodloužení ( $\Delta l$ ) bez ohledu na fakt, zda jde o přírůstek nebo úbytek délky.

### Výpočtový vzorec

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot (t_2 - t_1)$$

kde:

$\Delta l$  Rozdíl délek (mm), tj. přírůstek/úbytek délky

$\Delta t$  Rozdíl teplot  $\Delta t = t_2 - t_1$

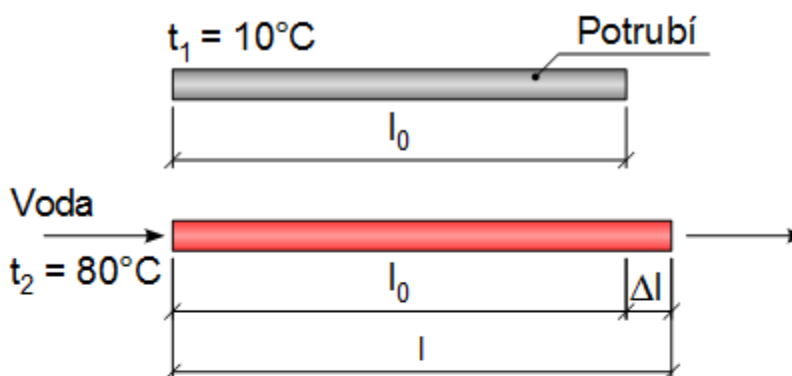
$l_0$  Původní délka (m) při montáži

$t_1$  Teplota vzduchu při montáži

$\alpha$  Součinitel délkové teplotní roztažnosti (mm/m·K)

$t_2$  Nejvyšší teplota dopravovaného média při provozu

### Schéma roztažnosti



### Hodnoty součinitel délkové teplotní roztažnosti

Materiál	ocel	měď, nerez	PVC, PVC-C	PB, PVDF	Al/PEX
$\alpha$ (mm/m·K)	0,012	0,017	0,08	0,12	0,02
Materiál	PP	PEX	HDPE (PE100)	LDPE (PE40)	
$\alpha$ (mm/m·K)	0,15	0,18	0,20	0,26	

*Poznámka: označení HDPE zahrnuje PE80 i PE100*

Rozdíl teplot většinou nedokážeme přesně stanovit (nevíme jaké bude počasí v době montáže), proto můžeme vyjít z nejméně příznivých hodnot. Minimální teplota při montáži je  $5^\circ\text{C}$  a maximální  $35^\circ\text{C}$ . Studená voda má nejméně  $5^\circ\text{C}$ , teplá voda maximálně  $60^\circ\text{C}$  a vytápění maximálně  $90^\circ\text{C}$ . Z uvedených hodnot můžeme vyvodit maximální rozdíly teplot. Pro studenou vodu  $-30^\circ\text{C}$  a pro teplou vodu maximálně  $55^\circ\text{C}$ . Pro vytápění je maximum  $85^\circ\text{C}$ , ale doporučuji si zjistit maximální teplotu topné vody řešené soustavy a následně vypočítat rozdíl při montážní teplotě  $5^\circ\text{C}$ .

## Vzorové příklady

- Vypočítejte výši prodloužení potrubí studené vody z PE100. Délka potrubí 32 m. *Protože nejsou zadány výpočtové teploty, použijeme mezní hodnoty uvedené výše. Pro studenou vodu -30 °C.*

$$\Delta l = l_o \cdot \alpha \cdot (t_2 - t_1) = 32 \cdot 0,20 \cdot (-30) = \underline{\underline{-192 \text{ mm}}}$$

- Vypočítejte velikost prodloužení potrubí teplé vody z PPR. Délka potrubí 18 m. *Protože nejsou zadány výpočtové teploty, použijeme mezní hodnoty uvedené výše. Pro teplou vodu 55 °C.*

$$\Delta l = l_o \cdot \alpha \cdot (t_2 - t_1) = 18 \cdot 0,15 \cdot 55 = \underline{\underline{148.5 \text{ mm}}}$$

- Vypočítejte velikost prodloužení potrubí topné vody z Cu. Délka potrubí 22 m. Teplota topné vody maximálně 65 °C. *Protože je zadána výpočtová teplota vody, vypočteme rozdíl teplot pro montážní teplotu 5 °C.*

$$\Delta l = l_o \cdot \alpha \cdot (t_2 - t_1) = 22 \cdot 0,017 \cdot (65 - 5) = \underline{\underline{22.44 \text{ mm}}}$$

## Příklady k procvičení

1. Vypočítejte velikost prodloužení potrubí studené vody z oceli. Délka potrubí 28 m.
2. Vypočítejte velikost prodloužení potrubí teplé vody z oceli. Délka potrubí 28 m.
3. Vypočítejte velikost prodloužení potrubí studené vody z PPR. Délka potrubí 23 m.
4. Vypočítejte velikost prodloužení potrubí teplé vody z PPR. Délka potrubí 23 m.
5. Vypočítejte velikost prodloužení potrubí studené vody z Cu. Délka potrubí 31 m.
6. Vypočítejte velikost prodloužení potrubí teplé vody z Cu. Délka potrubí 31 m.
7. Vypočítejte velikost prodloužení potrubí topné vody z oceli. Délka potrubí 41 m.
8. Vypočítejte velikost prodloužení potrubí topné vody z Cu. Délka potrubí 41 m.
9. Vypočítejte velikost prodloužení potrubí topné vody z PEX. Délka potrubí 38 m. Teplota topné vody maximálně 55 °C.
10. Vypočítejte velikost prodloužení potrubí topné vody z oceli. Délka potrubí 34 m. Teplota topné vody maximálně 80 °C.
11. Vypočítejte velikost prodloužení ocelového potrubí, které se ohřeje z 15 °C na teplotu 72 °C. Délka potrubí 12 m.
12. Vypočítejte velikost prodloužení PPR potrubí, které se ohřeje z 23 °C na teplotu 68 °C. Délka potrubí 15 m.
13. Vypočítejte velikost prodloužení PEX potrubí, které se ohřeje z 30 °C na teplotu 60 °C. Délka potrubí 20 m.

## 2.6. Kompenzace potrubí

V této kapitole se budeme zabývat návrhem tvarových (ohybových) kompenzátorů. Návrh vychází ze znalosti délkového prodloužení řešeného úseku. Na základě hodnoty prodloužení vypočítáme kompenzační délku (tzv. vyložení U kompenzátoru). Kompenzační délka znamená nejmenší možnou délku ohýbané části kompenzátoru. Tato část potrubí zajišťuje absorbování roztažnosti potrubí (tento jev se nazývá kompenzace) změnou svého tvaru. Velikost kompenzační délky závisí na tuhosti potrubí. Veškeré navržené rozměry velkoryse zaokrouhlíme směrem nahoru.

### Výpočtový vzorec

$$L_S = k \cdot \sqrt{D \cdot \Delta l}$$

kde:

$L_S$	Kompenzační délka (mm)	$D$	Vnější průměr (mm)
$\Delta l$	Rozdíl délek (mm), tj. přírůstek/úbytek délky	$k$	Materiálová konstanta (-)

Schéma kompenzace (U kompenzátor)

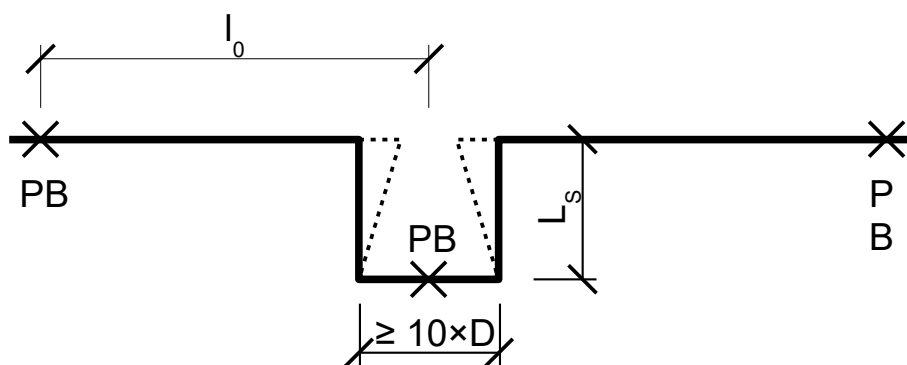
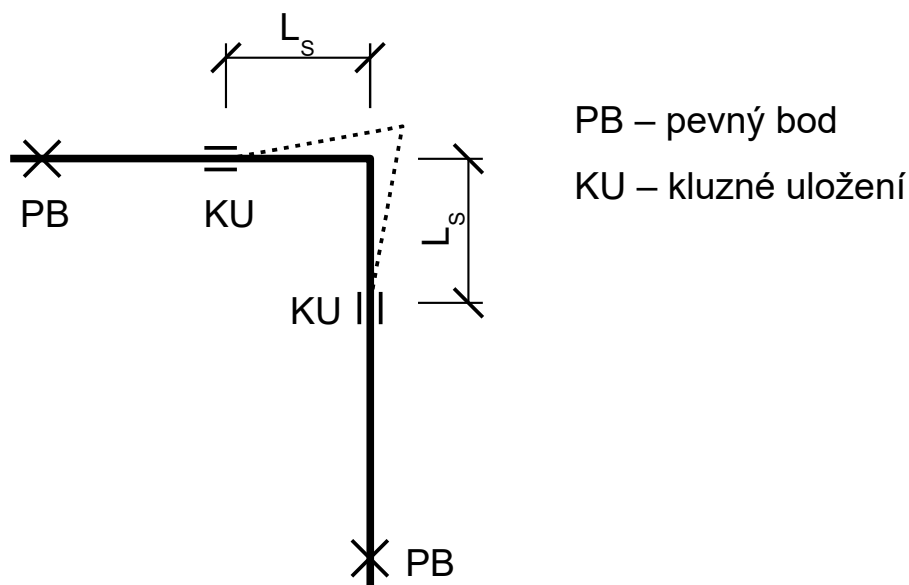


Schéma kompenzace (L kompenzátor)

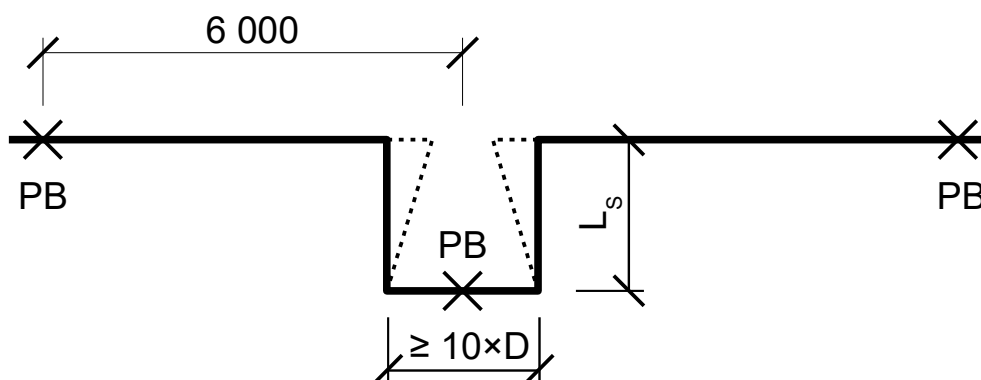


## Hodnoty materiálové konstanty

materiál	k (-)	materiál	k (-)
ocel	90	PE	26
měď	16,25	PB	10
PP	30	PVC	33,5

### Vzorové příklady

- Navrhněte velikost U kompenzátoru pro rozvod topné vody z ocelových trub. Teplota topné vody maximálně 70 °C. Původní délka potrubí při montáži je 6 m (mezi pevným bodem a kompenzátořem). Dimenze potrubí je G 2" (vnější průměr 60,2 mm).



Naším úkolem je stanovit vyložení kompenzátoru (kompenzační délka) a šířku kompenzátoru. Nejprve musíme vypočítat hodnotu prodloužení.

$$L_s = k \cdot \sqrt{D \cdot \Delta l} \rightarrow \Delta l = l_o \cdot \alpha \cdot (t_2 - t_1)$$

$$L_s = k \cdot \sqrt{D \cdot (l_o \cdot \alpha \cdot (t_2 - t_1))} = 90 \cdot \sqrt{60,2 \cdot (6 \cdot 0,012 \cdot (70 - 5))}$$

$$L_s = 1510,65 \text{ mm} \rightarrow 1520 \text{ mm} = 1,52 \text{ m}$$

Šířku kompenzátoru volíme 650 mm (minimálně 10 × 60,2 mm).

- Navrhněte velikost U kompenzátoru pro rozvod topné vody z PPR trub. Teplota topné vody maximálně 70 °C. Původní délka potrubí při montáži je 6 m (mezi pevným bodem a kompenzátořem). Dimenze potrubí je D 63.

Naším úkolem je stanovit vyložení kompenzátoru (kompenzační délka) a šířku kompenzátoru. Nejprve musíme vypočítat hodnotu prodloužení.

$$L_s = k \cdot \sqrt{D \cdot \Delta l} \rightarrow \Delta l = l_o \cdot \alpha \cdot (t_2 - t_1)$$

$$L_s = k \cdot \sqrt{D \cdot (l_o \cdot \alpha \cdot (t_2 - t_1))} = 30 \cdot \sqrt{63 \cdot (6 \cdot 0,15 \cdot (70 - 5))}$$

$$L_s = 1821,25 \text{ mm} \rightarrow 1830 \text{ mm} = 1,83 \text{ m}$$

Šířku kompenzátoru volíme 650 mm (minimálně 10 × 63 mm).

## Příklady k procvičení

1. Navrhňte velikost U kompenzátoru pro rozvod teplé vody z PPR trub. Původní délka potrubí při montáži je 4 m. Dimenze potrubí je D 32.
2. Navrhňte velikost U kompenzátoru pro rozvod teplé vody z Cu trub. Původní délka potrubí při montáži je 8 m. Dimenze potrubí je  $\varnothing 42 \times 1,5$ .
3. Navrhňte velikost U kompenzátoru pro rozvod teplé vody z pozinkovaných ocelových trub. Původní délka potrubí při montáži je 12 m. Dimenze potrubí je G 5/4" (vnější průměr 42,4 mm).
4. Navrhňte velikost L kompenzátoru pro rozvod topné vody z PEX trub. Maximální teplota topné vody 65 °C. Původní délka potrubí při montáži je 10 m. Dimenze potrubí je D 40.
5. Navrhňte velikost L kompenzátoru pro rozvod topné vody z PPR trub. Maximální teplota topné vody 65 °C. Původní délka potrubí při montáži je 10 m. Dimenze potrubí je D 40.
6. Navrhňte velikost L kompenzátoru pro rozvod topné vody z Cu trub. Maximální teplota topné vody 80 °C. Původní délka potrubí při montáži je 5 m. Dimenze potrubí je  $\varnothing 35 \times 1,5$ .
7. Navrhňte velikost U kompenzátoru pro rozvod topné vody z ocelových trub. Maximální teplota topné vody 130 °C. Původní délka potrubí při montáži je 40 m. Dimenze potrubí je  $\varnothing 159 \times 4,5$ .

## 2.7. Tepelné ztráty

Tepelnou ztrátu lze vypočítat buď pomocí přesných metod, nebo pomocí přibližných metod. Přesná metoda vychází z výpočtu ztráty postupem každou konstrukcí na základě plochy a součinitele prostupu tepla. Dále se připočítává ztráta větráním pomocí n-násobné výměny vzduchu. N-násobná výměna znamená, kolikrát se objem místnosti vymění za hodinu.

My se však přidržíme zjednodušené metody, kterou může využívat i řemeslník. Ta je založena na výpočtu objemu místnosti a znalosti měrné tepelné ztráty (viz tabulky).

### Postup výpočtu zjednodušenou metodou

1. V tabulce<sup>1</sup> najdeme měrnou tepelnou ztrátu  $q$  ( $W/m^3$ ). Najdeme podle stáří budovy, jejího provedení a teplotní oblasti<sup>2</sup>.
2. Vypočteme objem každé místnosti samostatně a údaje zapíšeme do tabulky. Údaje o rozměrech místností vyčteme z projektové dokumentace. Konstrukční výšku lze u obytných budov zjednodušeně uvažovat 3 m.
3. U každé místnosti vynásobíme objem, přírážku a měrnou tepelnou ztrátu.
4. Tepelnou ztrátu všech místností sečteme (výsledek použijeme pro návrh kotle).

### Přirážka k tepelné ztrátě

Zohledňuje míru slunečního svitu dle světové strany. Obvykle na jižní stranu svítí slunce výrazně více než na ostatní strany. Na sever naopak slunce téměř nesvítí. Přirážka udává, kolik procent ztrát se musí přidat k vypočítané hodnotě. Pro určení výše přirážky je rozhodující poloha oken nebo nejméně příznivá stěna.

Přirážku připočítáme pomocí vzorce:

$$Q_c = Q \cdot (1 + p)$$

kde:

$Q_c$  – celková tepelná ztráta (W)

$p$  – přirážka (-)

$Q$  – tepelná ztráta bez přirážky (W)

Světová strana	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV
Přirážka $p$ (-)	-0,05	0	0	0,05	0,1	0,05	0,05	0

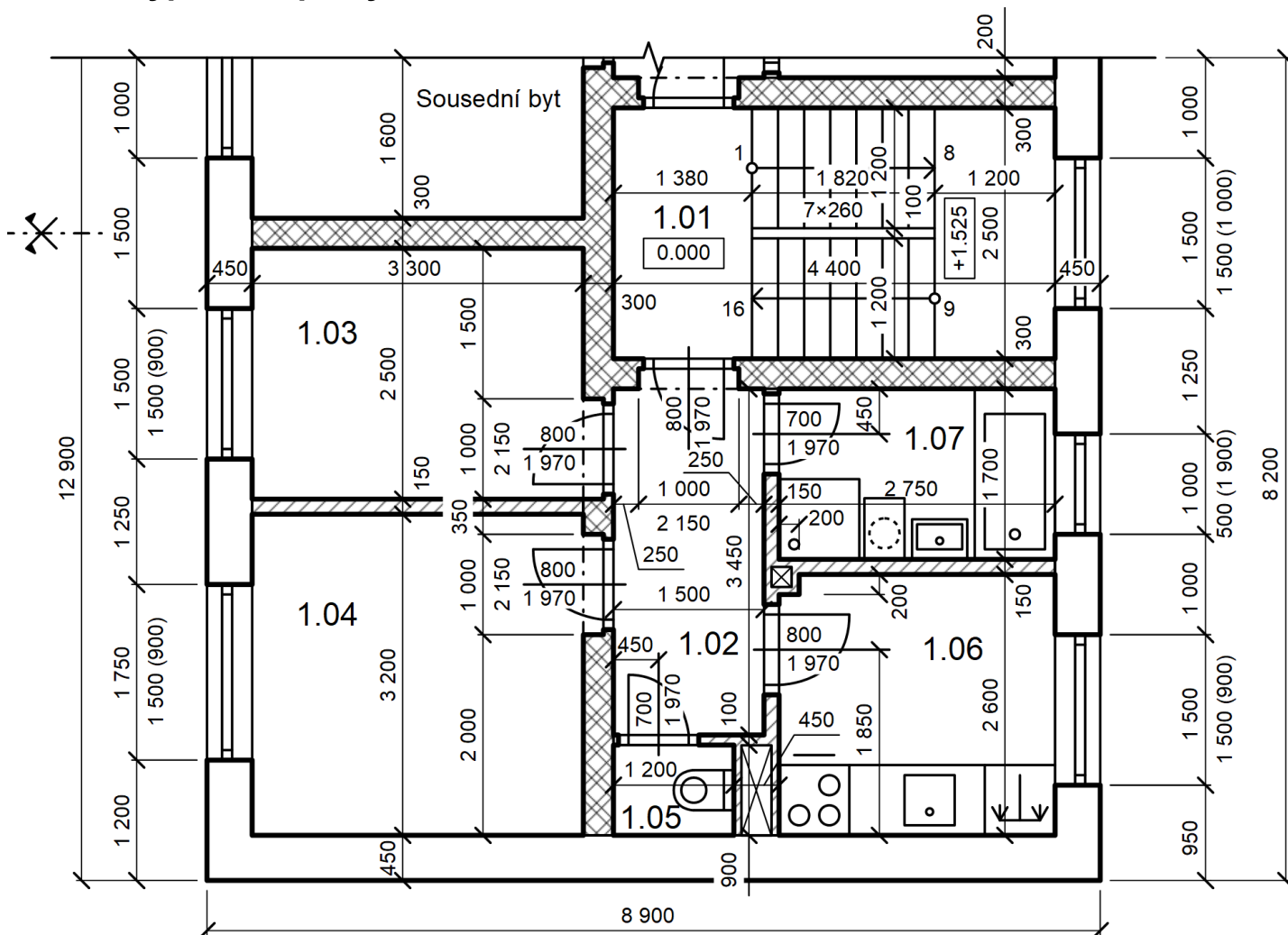
Poznámka: pro jižní stranu je lépe uvažovat přirážku 0.

1 <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/40-merne-tepelne-ztraty-objektu-q-w-m3>

2 <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>



## Příklad výpočtu tepelných ztrát



Naším úkolem je spočítat zjednodušenou metodou tepelné ztráty bytové jednotky dle přiloženého výkresu. Ta je umístěna ve čtyřpodlažním zděném obytném objektu. Sever je na horní straně výkresu.

Údaje o stavbě:

<b>Místo stavby:</b>	<b>Kostelec u Stříbra</b>
<b>Okres:</b>	<b>Tachov</b>
<b>Rok výstavby</b>	<b>novostavba</b>
<b>Návrhová teplota:</b>	<b>- 15 °C</b>
<b>Měrná tepelná ztráta:</b>	<b>27 W/m<sup>3</sup></b>

Samotný výpočet formou tabulky:

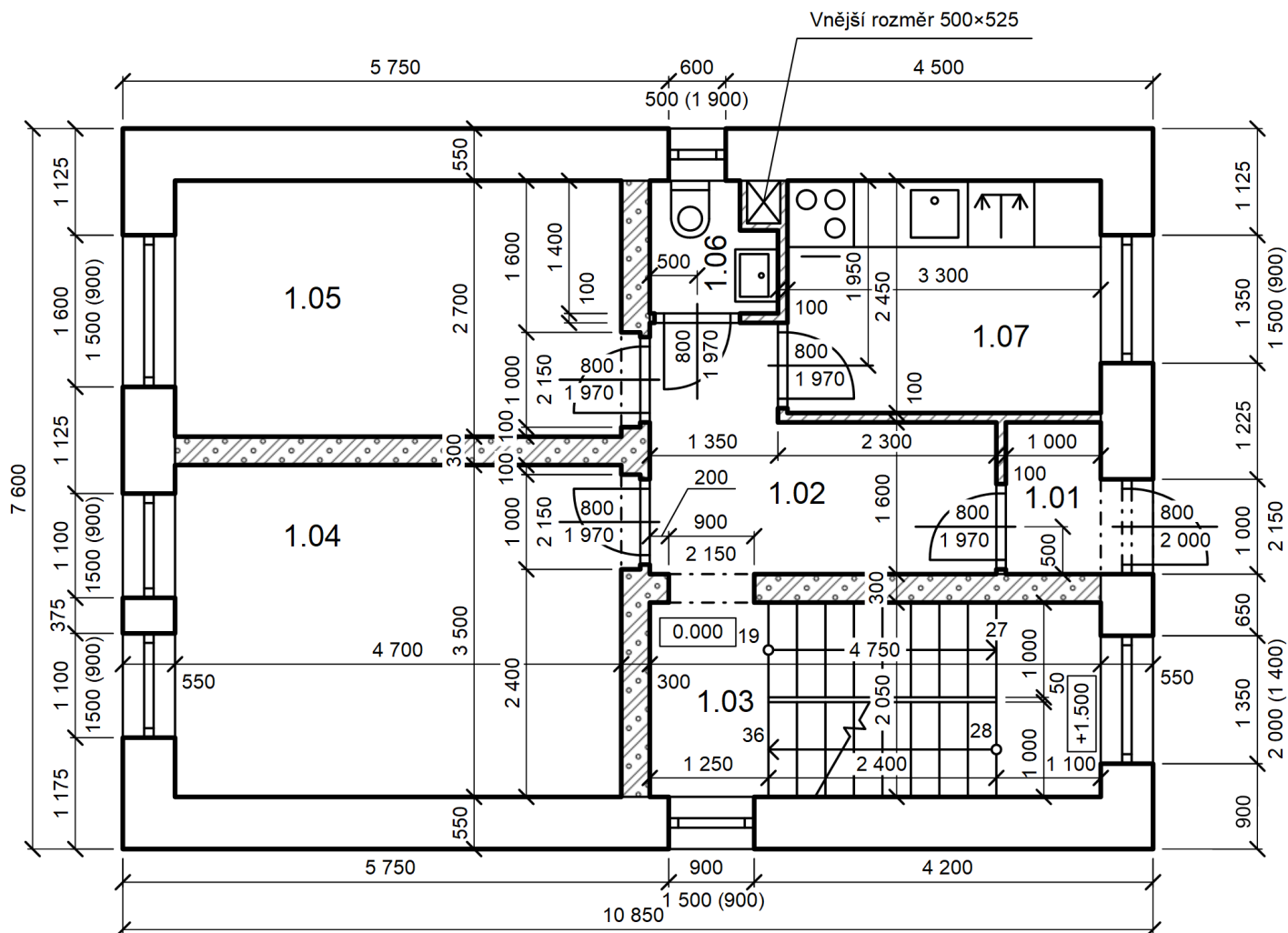
Místnost číslo (MČ)	Výpočet objemu	Objem V (m <sup>3</sup> )	Ztráta Q (W)	Přirážka (-)	Ztráta Q <sub>c</sub> (W)
1.01	<i>není součástí bytové jednotky</i>				
1.02	$3,45 \times 1,5 \times 3^3$	15,5	419,2	0	419,2
1.03	$2,5 \times 3,3 \times 3$	24,8	668,3	0	668,3
1.04	$3,2 \times 3,3 \times 3$	31,7	855,4	0	855,4
1.05	$0,9 \times 1,2 \times 3$	3,2	87,5	0	87,5
1.06	$2,6 \times 2,75 \times 3$	21,5	579,2	0,05	608,1
1.07	$1,7 \times 2,75 \times 3$	14,0	378,7	0,05	397,6
<b>Celkem tepelná ztráta (W)</b>					<b>3036,0</b>

Pokud potřebujeme řešený byt vytápět pomocí etážového vytápění, potřebujeme kotel alespoň o výkonu 3,04 kW. Při volbě otopného tělesa volíme těleso s nejbližším vyšším výkonem, než je výše celkové tepelné ztráty. Např. pro místnost č. 1.04 volíme těleso s výkonem minimálně 855 W.

3 Výška objektu, protože ji neurčíme z příloženého výkresu, můžeme zjednodušeně brát 3 m.

## Příklady k procvičení

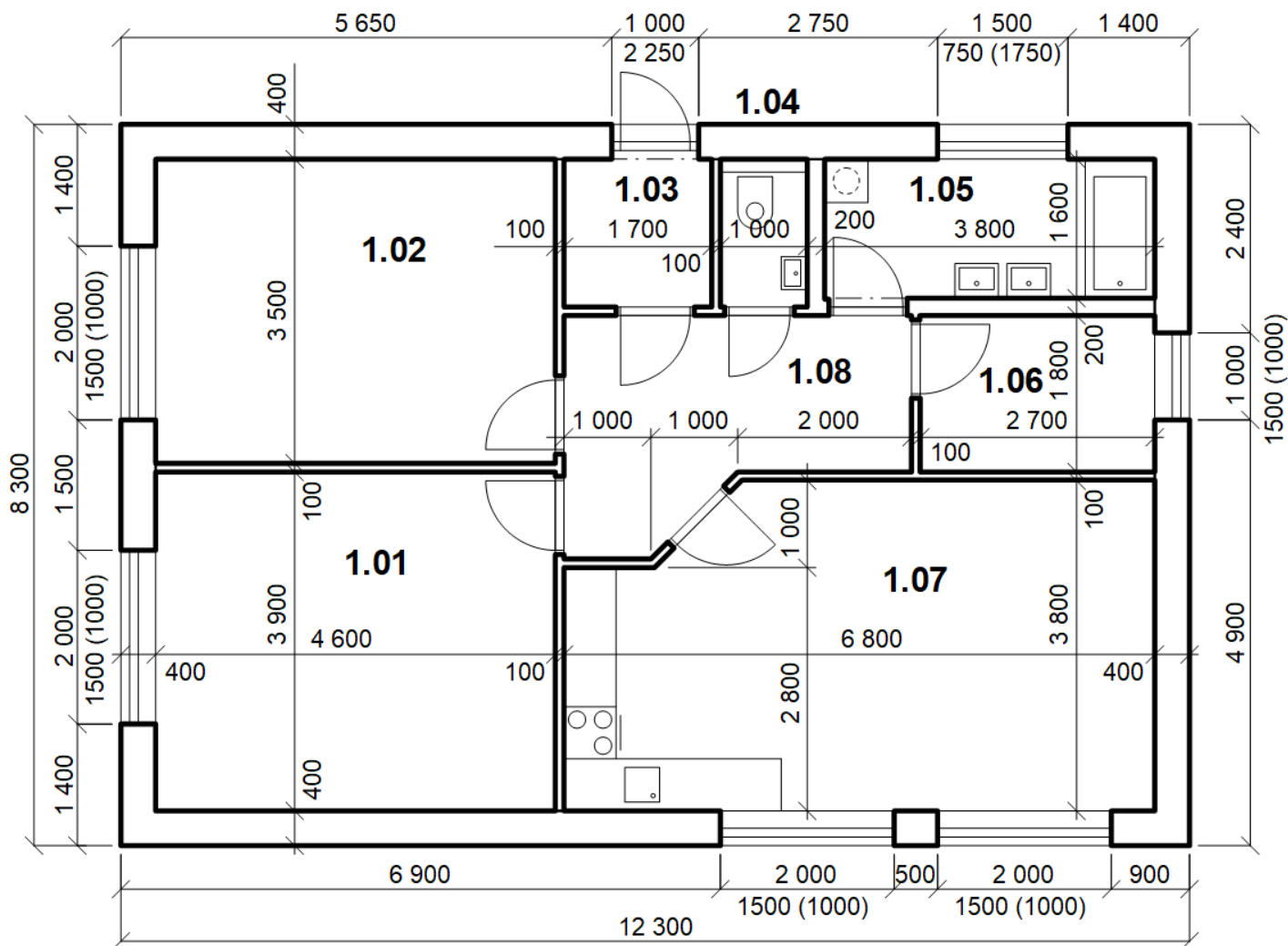
1. Zjednodušenou metodou vypočítejte tepelné ztráty přízemí dvoupodlažního rodinného domu. Sever se nachází na pravé straně výkresu.



Údaje o stavbě:

<b>Místo stavby:</b>	<b>Vochoz</b>
<b>Okres:</b>	<b>Plzeň-sever</b>
<b>Rok výstavby</b>	<b>novostavba</b>
<b>Návrhová teplota:</b>	<b>- 12 °C</b>
<b>Měrná tepelná ztráta:</b>	<b>28 W/m<sup>3</sup></b>

2. Zjednodušenou metodou vypočítejte tepelné ztráty jednopodlažního rodinného domu. Výpočet proveďte pro novostavbu a stávající stavbu dokončenou v roce 1980. Sever se nachází na horní straně výkresu.



Údaje o stavbě:

<b>Místo stavby:</b>	<b>Vlachovo Březí</b>
<b>Okres:</b>	<b>Prachatice</b>
<b>Rok výstavby</b>	<b>novostavba/1980</b>
<b>Návrhová teplota:</b>	<b>- 18 °C</b>
<b>Měrná tepelná ztráta:</b>	<b>42/62 W/m<sup>3</sup></b>

## 2.8. Velikost otopných těles

Velikost otopných těles volíme podle tepelné ztráty. U většiny typů otopných těles volíme konkrétní hotový výrobek podle katalogu výrobce tak, aby zvolené těleso mělo nejbližší vyšší výkon. V případě článkových otopných těles musíme zvolit počet článků. Ten zjistíme výpočtem a počet zaokrouhlíme směrem nahoru.

### Výpočtový vzorec

$$n = \frac{Q}{q_{\text{čl}}}$$

kde:

$n$  – počet článků

$q_{\text{čl}}$  – výkon jednoho článku (kW)

$Q$  – tepelná ztráta místnosti (kW)

### Vzorové příklady

- Vypočítejte potřebný počet článků otopného tělesa pro místnost s tepelnou ztrátou 1 100 W. Výkon jednoho článku 86 W.

$$n = \frac{Q}{q_{\text{čl}}} = \frac{1\,100}{86} = \underline{\underline{12,79}} \rightarrow \underline{\underline{13}} \text{ článků}$$

- Vypočítejte výkon otopného tělesa, které má 16 článků. Výkon jednoho článku 61 W.

$$Q = n \cdot q_{\text{čl}} = 16 \cdot 61 = \underline{\underline{976}} \text{ W}$$

### Příklady k procvičení

1. Vypočítejte potřebný počet článků otopného tělesa pro místnost s tepelnou ztrátou 2 260 W. Výkon jednoho článku 138 W.
2. Vypočítejte potřebný počet článků otopného tělesa pro místnost s tepelnou ztrátou 890 W. Výkon jednoho článku 74 W.
3. Vypočítejte potřebný počet článků otopného tělesa pro místnost s tepelnou ztrátou 1 610 W. Výkon jednoho článku 112 W.
4. Vypočítejte potřebný počet článků otopného tělesa pro místnost s tepelnou ztrátou 1 260 W. Výkon jednoho článku 132 W.
5. Vypočítejte potřebný počet článků otopného tělesa pro místnost s tepelnou ztrátou 3 100 W. Výkon jednoho článku 93 W.
6. Vypočítejte výkon otopného tělesa, které má 21 článků. Výkon jednoho článku 93 W.
7. Vypočítejte výkon otopného tělesa, které má 8 článků. Výkon jednoho článku 146 W.

## 2.9. Hydrostatický tlak

Hydrostatický tlak je vyvolaný vodním sloupcem. Čím výše je hladina vody, tím vyšší tlak voda vyvozuje na dno nádoby. Velikost hydrostatického tlaku závisí pouze na (geodetické) výšce hladiny. Nezáleží na tvaru nádoby ani reálném objemu. Hydrostatický tlak se často využívá při posuzování tlakové odolnosti topných nebo vodovodních soustav. V případě vodovodních soustav je také důležitý pro posouzení tlakových ztrát vodovodu nebo pro návrh výtlačné výšky čerpadla. U topných soustav musíme pomocí čerpadla překonat pouze tlakovou ztrátu třením o stěny potrubí a tlakovou ztrátu vřazenými odpory. Hydrostatický tlak nehraje u topných soustav roli, protože stejné množství vody čerpáme nahoru i dolů. Tím se účinek vyrovná.

Pokud není uvedena jiná hodnota, můžeme hustotu vody uvažovat  $1\,000\text{ kg/m}^3$ . Stejný vzorec a postup výpočtu platí pro jakoukoliv jinou kapalinu. Pouze se musí dosadit správná hustota, odpovídající dané látce (např. rtuť  $13\,534\text{ kg/m}^3$ ).

### Výpočtový vzorec

$$p_h = h \cdot \rho \cdot g$$

$h$	Výška vodní hladiny (m)	$\rho$	Hustota vody ( $\text{kg/m}^3$ ) ( $1\,000\text{ kg/m}^3$ )
-----	----------------------------	--------	--

$g$	Gravitační zrychlení ( $9,81\text{ m/s}^2$ )
-----	--

### Vzorové příklady

- Vypočítejte maximální velikost hydrostatického tlaku ve vodovodním potrubí o výšce 8 m.

*Pokud hovoříme o maximálním tlaku, ten vznikne na nejnižším bodě potrubí.*

$$p_h = h \cdot \rho \cdot g = 8 \cdot 1\,000 \cdot 9,81 = \underline{\underline{78\,480\text{ Pa} \rightarrow 78,5\text{ kPa}}}$$

- Vypočítejte maximální velikost hydrostatického tlaku ve vodovodním potrubí kde nejvyšší bod se nachází na kótě 8,6 m nad úrovní +/- 0. Nejnižší bod potrubí se nachází na kótě - 4,2 m vůči +/- 0.

*Pod pojmem +/- 0 rozumíme výškovou úroveň čisté podlahy v 1.NP. Pokud hovoříme o záporné úrovni (-), jedná se o podzemní podlaží. V našem případě musíme obě čísla sečíst pro získání rozdílu výšek a tedy výšky potrubí.*

$$(8,6 - (-4,2)) = 8,6 + 4,2 = 12,8\text{ m}$$

$$p_h = 12,8 \cdot 1\,000 \cdot 9,81 = \underline{\underline{125\,568\text{ Pa} \rightarrow 125,6\text{ kPa}}}$$

- Vypočítejte maximální možnou výšku vodovodního potrubí s tlakovou odolností 0,25 MPa. Maximální hydrostatický tlak může být 0,25 MPa = 250 000 Pa.

$$h = \frac{p_h}{(\rho \cdot g)} = \frac{250\,000}{(1\,000 \cdot 9,81)} = \underline{\underline{25,48\text{ m}}}$$

### **Příklady k procvičení**

1. Vypočítejte hydrost. tlak v rozvodu ústředního vytápění, který má výšku 6,7 m.
2. Vypočítejte hydrost. tlak v rozvodu ústředního vytápění, který má výšku 28,3 m.
3. Vypočítejte hydrost. tlak ve vodovodním potrubí, které má výšku 13,75 m.
4. Vypočítejte hydrost. tlak v rozvodu ústředního vytápění s otevřenou expanzní nádobou, jejíž hladina vody se nachází 36 m nad nejnižší úrovní potrubí.
5. Vypočítejte maximální možnou výšku vodní hladiny v rozvodu ústředního vytápění, jehož kotel má tlakovou odolnost 0,18 MPa.
6. Vypočítejte max. možnou výšku vodovodního potrubí s tlakovou odolností 1 MPa.
7. Vypočítejte dopravní výšku čerpadla, které má tlak na výtlačném hrdle 330 kPa.
8. Vypočítejte výšku vodní hladiny v nádrži, kde na dno působí tlak 138 kPa.

### **3. Příklady pro rozšíření dovedností**

Bude doplněno v průběhu jara.

## 4. Výsledky příkladů k procvičení

### Kapitola 2.1. Objem těles

96 litrů; 100 litrů; 37,33 litrů; 360 litrů; 175,84 litrů; 138,16 litrů; 153,86 litrů; 275,54 litrů; 176,63 litrů; 133,97 litrů; 343 litrů; 256 litrů; 0,9 m; 1,2 m; 0,25 m;

### Kapitola 2.2. Hmotnost vody

1413 kg; 3306,42 kg; 64 kg; 343 kg; 336 kg; 37,8 kg; 2110,08 kg; 48 kg; 224 kg;

### Kapitola 2.3. Ohřev vody

41 760 Wh; 20 475 Wh; 18 096 Wh; 9 506 Wh; 13 572 Wh; 38 493 W; 9 623 W; 4 812 W; 1 925 W; 7 020 W; 3,2 h; 1,1 h; 0,5 h; 8,2 h;

### Kapitola 2.4. Účinnost zdrojů tepla

0,80; 0,92; 0,98; 49,80 kW; 112,80 kW; 24 kW; 175 kW; 68,82 kW;

### Kapitola 2.5. Prodloužení (dilatace) potrubí

-10,08 mm; 18,48 mm; -103,5 mm; 189,75 mm; -15,81 mm; 28,99 mm; 41,82 mm; 59,25 mm; 342 mm; 30,6 mm; 8,21 mm; 101,25 mm; 108 mm;

### Kapitola 2.6. Kompenzace potrubí

Příklad 1.:  $L_S = 975$  mm tj. volíme 1 m, šířka 320 mm tj. volíme 0,4 m;

Příklad 2.:  $L_S = 288$  mm tj. volíme 0,3 m, šířka 420 mm tj. volíme 0,5 m;

Příklad 3.:  $L_S = 1649$  mm tj. volíme 1,7 m, šířka 424 mm tj. volíme 0,5 m;

Příklad 4.:  $L_S = 1709$  mm tj. volíme 1,8 m;

Příklad 5.:  $L_S = 1800$  mm tj. volíme 1,9 m;

Příklad 6.:  $L_S = 243$  mm tj. volíme 0,3 m;

Příklad 7.:  $L_S = 8791$  mm tj. volíme 9 m, šířka 1590 mm tj. volíme 2 m;



## Kapitola 2.7. Tepelné ztráty

Příklad č. 1:

Měrná tepelná ztráta 28 W/m<sup>3</sup>

Místnost číslo (MČ)	Výpočet objemu	Objem V (m <sup>3</sup> )	Ztráta Q (W)	Přirážka (-)	Ztráta Q <sub>c</sub> (W)
1.01	$1,6 \times 1 \times 3$	4,8	134,4	0,1	147,8
1.02	$(1,6 \times 3,65 + 1,05 \times 1,35) \times 3$	21,8	609,6	0	609,6
1.03	$2,05 \times 4,75 \times 3$	29,2	818,0	0,1	818,0
1.04	$3,5 \times 4,7 \times 3$	49,4	1381,8	0	1381,8
1.05	$2,7 \times 4,7 \times 3$	38,1	1066,0	0	1066,0
1.06	$1,4 \times 1,35 \times 3$	5,7	158,8	0	158,8
1.07	$2,45 \times 3,3 \times 3$	24,3	679,1	0,1	747,1
<b>Celkem tepelná ztráta (W)</b>					<b>4929,0</b>

Příklad č. 2:

Měrná tepelná ztráta 42 W/m<sup>3</sup>

Místnost číslo (MČ)	Výpočet objemu	Objem V (m <sup>3</sup> )	Ztráta Q (W)	Přirážka (-)	Ztráta Q <sub>c</sub> (W)
1.01	$3,9 \times 4,6 \times 3$	53,8	2260,4	0	2260,4
1.02	$3,5 \times 4,6 \times 3$	48,3	2028,6	0	2028,6
1.03	$1,7 \times 1,7 \times 3$	8,7	364,1	0,1	364,1
1.04	$1,7 \times 1 \times 3$	5,1	214,2	0,1	214,2
1.05	$1,6 \times 3,8 \times 3$	18,2	766,1	0,1	766,1
1.06	$1,8 \times 2,7 \times 3$	14,6	612,4	0,05	643,0
1.07	$(3,8 \times 6,8 - 1 \times 1 - 1 \times 1/2) \times 3$	73,0	3066,8	0	3066,8
1.08	$(1,8 \times 4 + 1 \times 1 + 1 \times 1/2) \times 3$	26,1	1096,2	0	1096,2
<b>Celkem tepelná ztráta (W)</b>					<b>10439,5</b>

Místnost číslo (MČ)	Výpočet objemu	Objem V (m <sup>3</sup> )	Ztráta Q (W)	Přirážka (-)	Ztráta Q <sub>c</sub> (W)
1.01	3,9 × 4,6 × 3	53,8	3336,8	0	3336,8
1.02	3,5 × 4,6 × 3	48,3	2994,6	0	2994,6
1.03	1,7 × 1,7 × 3	8,7	537,5	0,1	537,5
1.04	1,7 × 1 × 3	5,1	316,2	0,1	316,2
1.05	1,6 × 3,8 × 3	18,2	1130,9	0,1	1130,9
1.06	1,8 × 2,7 × 3	14,6	904,0	0,05	949,2
1.07	(3,8 × 6,8 - 1 × 1 - 1 × 1/2) × 3	73,0	4527,2	0	4527,2
1.08	(1,8 × 4 + 1 × 1 + 1 × 1/2) × 3	26,1	1618,2	0	1618,2
<b>Celkem tepelná ztráta (W)</b>					<b>15410,7</b>

### Kapitola 2.8. Velikost otopných těles

17 článků; 13 článků; 15 článků; 12 článků; 34 článků; 1953 W; 1168 W

### Kapitola 2.9. Hydrostatický tlak

65,73 kPa; 277,62 kPa; 134,89 kPa; 353,16 kPa; 18,35 m; 101,94 m; 33,64 m; 14,07 m;