

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



Příloha C

Výpočtová část

Vypracovala: Bc. Petra Chloupková

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

2016/2017

Obsah

1.	Výpočet roční potřeby tepla.....	2
1.1.	Roční potřeba tepla pro vytápění.....	2
1.2.	Roční potřeba tepla pro přípravu TV.....	3
1.3.	Celková roční potřeba tepla	3
2.	Výpočet zásobníku teplé vody.....	3
2.1.	Stanovení potřeby teplé vody	4
2.2.	Stanovení potřeby tepla	4
2.3.	Stanovení křivky odběru a dodávky tepla	4
2.4.	Stanovení objemu zásobníku	6
3.	Pojistné a zabezpečovací zařízení.....	6
3.1.	Výpočet expanzní nádoby	6
3.2.	Výpočet pojistného zařízení	10
4.	Kompenzace potrubí	11
4.1.	Odstupy uchycení potrubí s osovými (axiálními) kompenzátory	11
4.2.	Způsoby uložení axiálních kompenzátorů	12
5.	Oběhová čerpadla	14

1. Výpočet roční potřeby tepla

1.1. Roční potřeba tepla pro vytápění

$$Q_{\text{VYT},r} = \frac{24 \times Q_c \times \varepsilon \times D}{t_{is} - t_e}$$

$$Q_{\text{VYT},r} = \frac{24 \times 38,75 \times 0,83 \times 3308}{19 - (-12)}$$

$$Q_{\text{VYT},r} = 82,4 \text{ MWh/rok} = 296,6 \text{ GJ/rok}$$

Kde:

Q_c	tepelná ztráta objektu [kW]
D	počet denostupňů [K.den]
ε	opravný součinitel [-]
t_{is}	průměrná vnitřní výpočtová teplota [°C]
t_e	průměrná vnější výpočtová teplota [°C]

Počet denostupňů

$$D = d \times (t_{is} - t_{es})$$

$$D = 225 \times (19 - 4,3)$$

$$D = 3308 \text{ K. den}$$

Kde:

t_{es}	průměrná teplota během otopného období [°C]
d	počet dnů otopného období v roce [-]

Opravný součinitel

$$\varepsilon = \frac{e_i \times e_t \times e_d}{\eta_0 \times \eta_r}$$

$$\varepsilon = \frac{0,9 \times 0,9 \times 1,0}{1,0 \times 0,98}$$

$$\varepsilon = 0,83$$

Kde:

e_i	nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem [-]
e_t	snížení teploty v místnosti během dne respektive noci [-]
e_d	zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu [-]
η_0	účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy [-]
η_r	účinnost rozvodu vytápění [-]

1.2. Roční potřeba tepla pro přípravu TV

$$Q_{TV,r} = Q_{TV,d} \times d + \frac{0,8 \times Q_{TV,d} \times (55 - t_{svl}) \times (365 - d)}{(55 - t_{svz})}$$

$$Q_{TV,r} = 251,7 \times 225 + \frac{0,8 \times 251,7 \times (55 - 15) \times (365 - 225)}{(55 - 5)}$$

$$Q_{TV,r} = 79,2 \text{ MWh/rok} = 285,1 \text{ GJ/rok}$$

Kde:

t_{svl} teplota studené vody v létě [°C]

t_{svz} teplota studené vody v zimě [°C]

$Q_{TV,d}$ denní potřeba tepla pro ohřev TV [kWh/den]

d počet dnů otopného období v roce [-]

1.3. Celková roční potřeba tepla

$$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TV,r}$$

$$Q_r = 82,4 + 79,2$$

$$Q_r = 161,6 \text{ MWh/rok} = 581,8 \text{ GJ/rok}$$

Kde:

$Q_{VYT,r}$ roční potřeba tepla pro vytápění [kWh/rok]

$Q_{TV,r}$ roční potřeba tepla pro přípravu TV [kWh/rok]

2. Výpočet zásobníku teplé vody

Návrh zásobníku teplé vody byl proveden dle ČSN 06 0320 – Tepelné soustavy v budovách – Příprava teplé vody – Navrhování a projektování. Zásobník je dimenzován na maximální odběr teplé vody, doporučený výše zmíněnou normou (82 l/os.den). V běžném provozu se předpokládá spotřeba teplé vody nižší (cca 50 l/os.den).

Vstupní údaje

Teplota vstupní vody: $t_1 = 10^\circ\text{C}$

Teplota výstupní vody: $t_2 = 55^\circ\text{C}$

Měrná tepelná kapacita vody: $c = 1,163 \text{ kWh/m}^3 \cdot \text{K}$

Energetická ztráta: $z = 0,3 \%$

Doba ohřevu zásobníku: $t = 0,5 \text{ h}$

Odběr teplé vody

Pro bytový dům bylo uvažováno následující rozložení odběru teplé vody během dne:

Doba odběru [h]	% denního odběru
0-5	0
5-17	35
17-20	50
20-24	15

2.1. Stanovení potřeby teplé vody

	[jednotka]	Jednotkový odběr [l/jednotka.den]	Celková potřeba [l/den]
Počet uživatelů	74	82	6068
Výměra ploch	157,71	0,2	32
Celková potřeba objektu V_{2p} [l/den]			6100
Celková potřeba objektu V_{2p} [m³/den]			6,1

2.2. Stanovení potřeby tepla

Teoretické teplo odebrané z ohřívače teplé vody

$$Q_{2t} = c \times V_{2p} \times (t_2 - t_1)$$

$$Q_{2t} = 1,163 \times 6,1 \times (55 - 10)$$

$$Q_{2t} = 319,2 \text{ kWh/den}$$

Teplo ztracené při ohřevu a distribuci

$$Q_{2z} = Q_{2t} \times z$$

$$Q_{2z} = 319,2 \times 0,3$$

$$Q_{2z} = 95,8 \text{ kWh/den}$$

Potřeba tepla odebraného z ohřívače TV

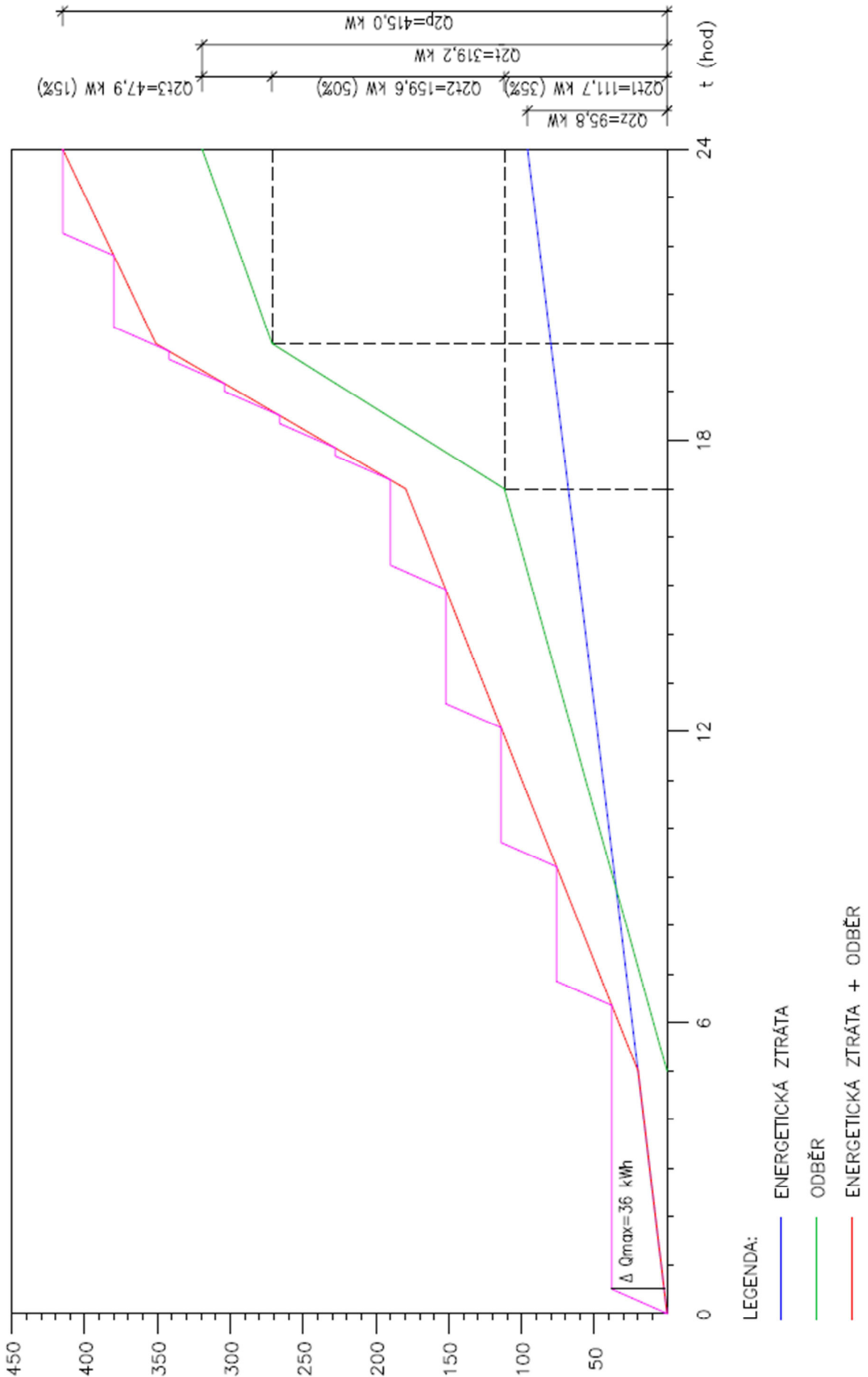
$$Q_{2p} = Q_{2t} + Q_{2z}$$

$$Q_{2p} = 319,2 + 95,8$$

$$Q_{2p} = 415 \text{ kWh/den}$$

2.3. Stanovení křivky odběru a dodávky tepla

Pro objekt bytového domu byla navržena přerušovaná dodávka tepla pro ohřev teplé vody o maximálním výkonu zdroje 38 kW.



- LEGENDA:
- ENERGETICKÁ ZTRÁTA
 - ODBĚR
 - ENERGETICKÁ ZTRÁTA + ODBĚR

2.4. Stanovení objemu zásobníku

$$V_z = \frac{\Delta Q_{\max}}{c \times (t_2 - t_1)}$$

$$V_z = \frac{36}{1,163 \times (55 - 10)}$$

$$V_z = 0,688 \text{ m}^3 = 688 \text{ l}$$

Kde:

ΔQ_{\max} maximální rozdíl mezi křivkou dodávky a odběru (viz graf) [kWh]

Návrh: zásobník TV Dražice OKC 750/NTR/BP o objemu 725 l.

3. Pojistné a zabezpečovací zařízení

3.1. Výpočet expanzní nádoby

Objemové změny v otopné soustavě bude vyrovnávat dle požadavků ČSN 06 0830 tlaková expanzní nádoba.

Vstupní údaje

Maximální provozní teplota otopné soustavy:

$$T_{\max} = 55^\circ\text{C}$$

Maximální provozní tlak otopné soustavy:

$$P_{h,dov} = 250 \text{ KPa}$$

Převýšení:

$$H = 16,4 \text{ m}$$

Nejnižší provozní přetlak v kotelně:

$$P_d = 180 \text{ KPa}$$

Pojistný výkon:

$$Q_p = 74,2 \text{ kW}$$

3.1.1. Výpočet vodního objemu otopné soustavy

Vodní objem otopných těles

Typ otopného tělesa	Délka tělesa	Vodní objem		Vodní objem tělesa	Počet	Vodní objem celkem
	[m]	[l/bm]	[l]	[l]	[ks]	[l]
KORADO 11-VK						
11-VK/3040	0,4	1,9		0,76	1	0,76
11-VK/3050	0,5	1,9		0,95	1	0,95
11-VK/3060	0,6	1,9		1,14	2	2,28
11-VK/30100	1,0	1,9		1,90	1	1,9
11-VK/30110	1,1	1,9		2,09	4	8,36
11-VK/30120	1,2	1,9		2,28	9	20,52
11-VK/30140	1,4	1,9		2,66	5	13,3
11-VK/30180	1,8	1,9		3,42	7	23,94
11-VK/50120	1,2	2,7		3,24	1	3,24
11-VK/50140	1,4	2,7		3,78	2	7,56

KORALINE LKE						
LKE 9/18/1000	1,0	0,5		0,50	2	1
LKE 9/18/1200	1,2	0,5		0,60	4	2,4
LKE 9/18/1400	1,4	0,5		0,70	4	2,8
LKE 9/18/1600	1,6	0,5		0,80	3	2,4
LKE 9/18/1800	1,8	0,5		0,90	3	2,7
LKE 9/18/2000	2,0	0,5		1,00	1	1
LKE 9/18/2400	2,4	0,5		1,20	1	1,2
LKE 9/18/2800	2,8	0,5		1,40	1	1,4
LKE 9/24/1000	1,0	0,75		0,75	1	0,75
LKE 9/24/1200	1,2	0,75		0,90	1	0,9
LKE 9/24/2000	2,0	0,75		1,50	2	3
LKE 15/18/1000	1,0	1		1,00	2	2
LKE 15/18/1400	1,4	1		1,40	3	4,2
LKE 15/18/1600	1,6	1		1,60	3	4,8
LKE 15/18/1800	1,8	1		1,80	1	1,8
LKE 15/24/1400	1,4	1,6		2,24	3	6,72
LKE 30/18/1000	1,0	1		1,00	1	1
LKE 30/18/1600	1,6	1		1,60	1	1,6
LKE 30/24/1600	1,6	1,6		2,56	1	2,56
KORAFLEX FKE						
FKE 9/28/120	1,2	0,4		0,48	10	4,8
FKE 9/28/280	2,8	0,4		1,12	2	2,24
KORALUX LINEAR MAX-M						
KLMM 1220.450			7	7	3	21
KLMM 1220.600			8,8	8,8	3	26,4
KLMM 1500.450			8,6	8,6	10	86
KLMM 1500.600			10,8	10,8	3	32,4
KLMM 1820.450			10,6	10,6	6	63,6
KLMM 1820.750			15,9	15,9	2	31,8
Objem otopných těles celkem						395,3 l

Vodní objem kotlů

Typ kotle	Vodní objem	Počet	Vodní objem celkem
	[l]	[ks]	[l]
Vaillant ecoTEC plus VU 356/5-5	10	2	20l

Vodní objem potrubí

Rozměr potrubí	Vnitřní průměr potrubí	Plocha potrubí	Délka potrubí	Objem vody v potrubí	
[mm]	[mm]	[m ²]	[m]	[m ³]	[l]
Rautitan stabil 16,2 x 2,6	11	0,000095	721,82	0,0681	68,6
Rautitan stabil 20 x 2,9	14,2	0,000158	327,14	0,0543	51,8
Rautitan stabil 25 x 3,7	17,6	0,000243	85,88	0,0181	20,9
Ocel 17,1 x 2,35	12,4	0,000121	13,26	0,0009	1,6
Ocel 21,4 x 2,65	16,1	0,000203	18,3	0,0037	3,7
Ocel 26,9 x 2,6	21,7	0,000370	37,44	0,0094	13,8
Ocel 31,8 x 2,6	26,6	0,000555	64,42	0,0358	35,8
Ocel 38 x 2,6	32,8	0,000845	65,98	0,0557	55,7
Ocel 44,5 x 2,6	39,3	0,001212	40,36	0,0489	48,9
Ocel 57 x 2,9	51,2	0,002059	11,98	0,0247	24,7
					325,5 l

Objem vody v celé otopné soustavě

$$V_o = V_{OT} + V_K + V_P$$

$$V_o = 395,3 + 20 + 325,5$$

$$V_o = 740,81$$

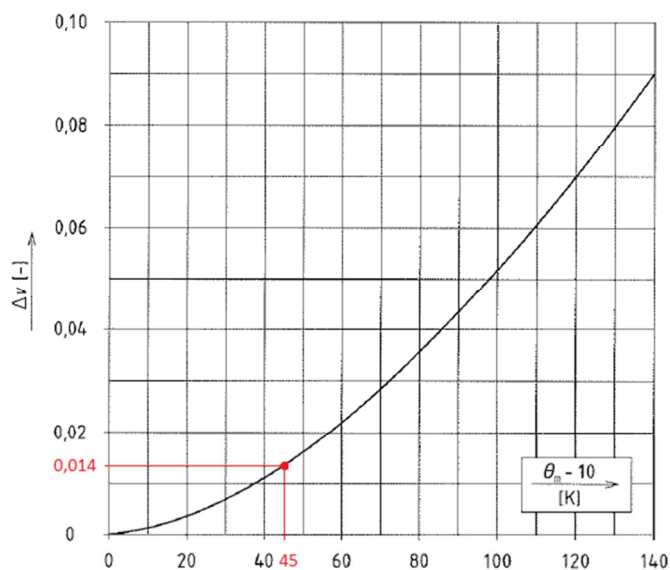
Kde:

V_{OT} vodní objem otopných těles [l]

V_K vodní objem kotlů [l]

V_P vodní objem potrubí [l]

3.1.2. Stanovení součinitele zvětšení objemu



Graf závislosti poměrného zvětšení objemu vody Δv na teplotním rozdílu $\theta_m^0 - 10^\circ\text{C}$ převzat z ČSN 06 0830 Příloha B.

3.1.3. Minimální a maximální tlak v otopné soustavě

Podmínky

$$P_d \geq P_{d,dov} = 1,1 \times \left(\frac{H \times \rho \times g}{1000} \right)$$

$$P_d \geq P_{d,dov} = 1,1 \times \left(\frac{16,4 \times 1000 \times 9,81}{1000} \right)$$

$$P_d \geq P_{d,dov} = 176,9 \text{ kPa} \quad \Rightarrow \quad \text{Návrh: } P_d = 180 \text{ kPa}$$

Prvek soustavy	Maximální dovolený přetlak	výška nad MR
	[kPa]	[m]
Kotel	300	-0,22
Čerpadlo	600	-0,11
OT nejnižše položené	1000	-1,2
Jiné zařízení	0	0
Konstrukční přetlak soustavy		298 kPa

$$p_k = p_{rx} + (g \times h_{MR})$$

$$p_k = 300 + (9,81 \times (-0,22))$$

$$p_k = 298 \text{ kPa}$$

$$P_{h,dov} \leq P_k$$

$$P_{h,dov} \leq 298 \text{ kPa} \quad \Rightarrow \quad \text{Návrh: } P_{h,dov} = 250 \text{ kPa}$$

Kde:

g	tíhové zrychlení [9,81 m/s ²]
ρ	hustota vody [1000 kg/m ³]
$P_{d,dov}$	nejnižší dovolený provozní přetlak v kotelně [kPa]
P_d	nejnižší provozní přetlak v kotelně [kPa]
H	převýšení [m]
$P_{h,dov}$	maximální provozní tlak otopné soustavy [kPa]
P_k	minimální konstrukční přetlak jednotlivých prvků soustavy, vztažený k manometrické rovině [kPa]
MR	manometrická rovina [1,5 m]

Průměr expanzního potrubí

$$d_p = 10 + 0,6 \times \sqrt{Q_p}$$

$$d_p = 10 + 0,6 \times \sqrt{74,2}$$

$$d_p = 15,17 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \text{Návrh: DN 20 (26,9 x 2,6 mm)}$$

Kde:

Q_p pojistný výkon [kW]

3.1.4. Výpočet objemu expanzní nádoby

$$V_e = \frac{1,3 \times V_0 \times \Delta v \times (P_{h,dov} + 100)}{(P_{h,dov} - P_d)}$$

$$V_e = \frac{1,3 \times 740,8 \times 0,014 \times (250 + 100)}{(250 - 180)}$$

$$V_e = 67,41 \text{ l}$$

Kde:

V_0 objem vody v celé otopné soustavě [l]

Δv součinitel zvětšení objemu [-]

$P_{h,dov}$ maximální provozní tlak otopné soustavy [kPa]

P_d nejnižší provozní přetlak v kotelně [kPa]

Návrh: Tlaková expanzní nádoba Reflex NG80/6 o objemu 80 l.

3.2. Výpočet pojistného zařízení

Zabezpečení proti překročení nejvyššího pracovního přetlaku je dále řešeno pomocí pojistného ventilu. Výpočet je proveden dle ČSN 06 0830.

Pojistný průtok

$$M_p = \frac{Q_p}{r}$$

$$M_p = \frac{74,2}{0,596}$$

$$M_p = 124,5 \text{ kg/h}$$

Kde:

Q_p pojistný výkon $Q_p = Q_n$ [74,2 kW]
 r měrné výparné teplo [$r_{250kPa} = 0,596$ kWh/kg]

Minimální průřez sedla pojistného ventilu

$$A_o = \frac{Q_p}{\alpha_v \times K}$$

$$A_o = \frac{74,2}{0,58 \times 1,12}$$

$$A_o = 114,2 \text{ mm}^2 \quad \Rightarrow \quad \text{Návrh: DUCO } 3/4'' \times 1''$$

Kde:

α_v výtokový součinitel pojistného ventilu [0,58]
 K konstanta závislá na stavu syté vodní páry při přetlaku P_{ot} [$K_{250kPa} = 1,12$ kW/mm²]

Vnitřní průměr pojistného potrubí

$$d_p = 15 + 1,4 \times \sqrt{Q_p}$$

$$d_p = 15 + 1,4 \times \sqrt{74,2}$$

$$d_p = 26,4 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \text{Návrh: DN 25 (31,8 x 2,6 mm) – vnitřní průměr 26,6 mm}$$

4. Kompenzace potrubí

Tepelná roztažnost potrubí bude kompenzována pomocí osových vlnovcových kompenzátorů instalovaných na potrubí. Potrubí bude upevněno pomocí pevných bodů a kluzných uložení, zamezující možnému vybočení potrubí z osy. Jednotlivé vzdálenosti byly určeny dle doporučení výrobce kompenzátorů společnosti Hydra.

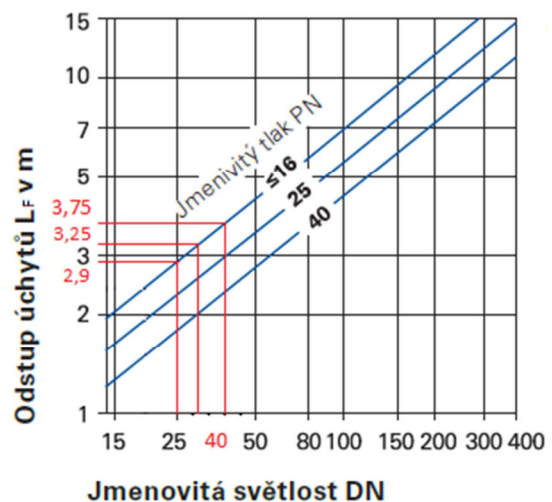
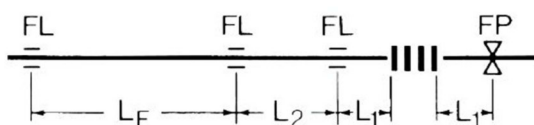
Návrh: axiální kompenzátor z kovového vlnovce

4.1. Odstupy uchycení potrubí s osovými (axiálními) kompenzátory

$$L_1 = 3 \times \text{DN}$$

$$L_2 = 0,5 \times L_F$$

$L_F =$ viz graf



Potrubí DN 40 (44,5 x 2,6 mm)

$$L_1 = 3 \times DN = 3 \times 40 = 120 \text{ mm}$$

$$L_2 = 0,5 \times L_F = 0,5 \times 3,75 = 1,875 \text{ m}$$

$$L_F = \text{viz graf} = 3,75 \text{ m}$$

Potrubí DN 32 (38 x 2,6 mm)

$$L_1 = 3 \times DN = 3 \times 32 = 96 \text{ mm}$$

$$L_2 = 0,5 \times L_F = 0,5 \times 3,25 = 1,625 \text{ m}$$

$$L_F = \text{viz graf} = 3,25 \text{ m}$$

Potrubí DN 25 (31,8 x 2,6 mm)

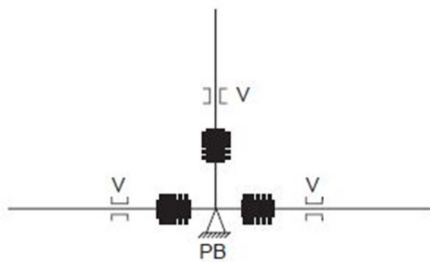
$$L_1 = 3 \times DN = 3 \times 25 = 75 \text{ mm}$$

$$L_2 = 0,5 \times L_F = 0,5 \times 2,9 = 1,45 \text{ m}$$

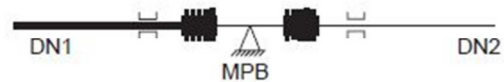
$$L_F = \text{viz graf} = 2,9 \text{ m}$$

4.2. Způsoby uložení axiálních kompenzátorů

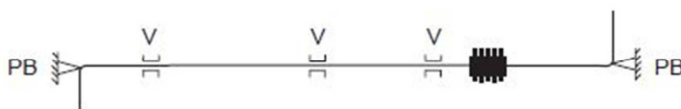
Návrh rozmístění kompenzátorů a pevných a kluzných uložení bylo provedeno dle následujících schémat.



Obrázek 1 - Potrubí s odbočkami



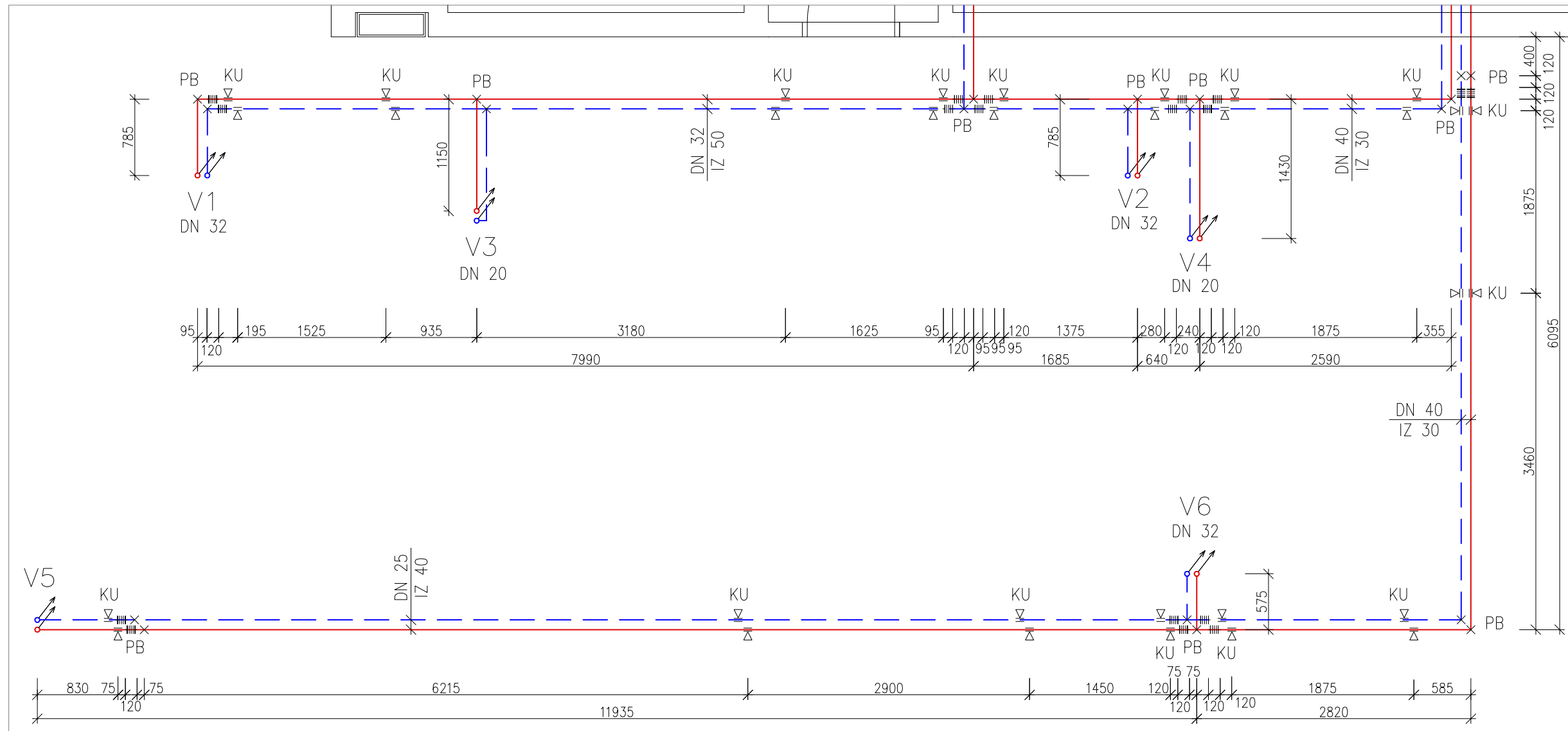
Obrázek 2 – Změna průřezu potrubí



Obrázek 3 – Pevné body umístěné v oblouku

Zdroj: <http://www.macrofex.cz/static/servis/files/Macroflex.pdf>

SCHÉMA KOMPENZACE POTRUBÍ 1:50



LEGENDA:

- PB × Pevný bod
- KU ▬ Kluzné uložení
- ▬▬▬ Vlnocový kompenzátor

5. Oběhová čerpadla

Návrh oběhového čerpadla pro okruh vytápění č.1

Tlaková ztráta: $\Delta p = 18113 \text{ Pa}$
Uvažovaný dispoziční tlak: $p = 22000 \text{ Pa} = 2,24 \text{ m.v.sl}$
Hmotnostní průtok vody: $m = 2332,5 \text{ kg/h} = 2,3325 \text{ m}^3/\text{h}$
Objemový průtok vody: $Q = 2,4 \text{ m}^3/\text{h}$

Návrh: GRUNDFOS MAGNA3 25-40 PN 6/10

Návrh oběhového čerpadla pro okruh vytápění č.2

Tlaková ztráta: $\Delta p = 19562 \text{ Pa}$
Uvažovaný dispoziční tlak: $p = 20000 \text{ Pa} = 2,04 \text{ m.v.sl}$
Hmotnostní průtok vody: $m = 1595,8 \text{ kg/h} = 1,595,8 \text{ m}^3/\text{h}$
Objemový průtok vody: $Q = 1,6 \text{ m}^3/\text{h}$

Návrh: GRUNDFOS MAGNA3 25-40 PN 6/10

