

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

SOUHRN

Tato práce se zabývá studií vytápění dvoupodlažního, nepodsklepeného rodinného domu, stojícího v Praze. Úkolem je stanovit tepelné ztráty budovy v závislosti na vnitřních výpočtových teplotách, navrhnout optimální podlahovou teplovodní otopnou soustavu s nuceným oběhem vody a k ní vybrat tři varianty zdroje tepla s ohledem na lokalitu, možnosti zásobování palivem a dispozici domu. Dále stanovit roční potřebu tepla a provést ekonomickou analýzu provozních a investičních nákladů v závislosti na jednotlivých zdrojích tepla.

SUMMARY

This thesis is a study of heating of two-floors family house without a basement, standing in a locality of Prague. The task is to figure up heat loss of the building depending on the interior temperatures of the building, design an optimal floor heating system, choose three variants of heat source with forced circulation of water in addition to locality, design of the house and possibility of supplying fuel. Further this work deals with annual heat requirement and specify an economic analysis according to the three heat sources.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Vytápění rodinného domu“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Vavřičky, Ph.D., s použitím literatury, uvedené v seznamu použité literatury na konci této bakalářské práce.

V Praze dne 13. 1. 2016

Josef Tesař

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Romanu Vavříčkovi, Ph.D. za veškeré poskytnuté konzultace a odborné poradenství při řešení problémů vzniklých při vypracování této bakalářské práce.

OBSAH

1	ÚVOD	12
2	KONSTRUKCE BUDOVY	13
2.1	SKLADBA KONSTRUKCÍ	13
2.1.1	<i>Zdivo a podlahy</i>	13
3	TEPELNÉ ZTRÁTY	14
3.1	PODKLADY PRO VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT	14
3.2	VÝPOČET TEPELNÉ ZTRÁTY PROSTUPEM A VĚTRÁNÍM	14
3.2.1	<i>Celková tepelná ztráta</i>	15
4	OTOPNÁ SOUSTAVA	16
4.1	TEPELNĚ TECHNICKÝ NÁVRH PODLAHOVÉHO VYTÁPĚNÍ	16
4.2	TLAKOVÉ ZTRÁTY POTRUBÍ	17
4.2.1	<i>Vyvážení tlakových ztrát jednotlivých okruhů</i>	18
4.2.2	<i>Celková tlaková ztráta</i>	19
4.3	NÁVRH OBĚHOVÉHO ČERPADLA OTOPNÉHO OKRUHU	20
5	POTŘEBA TEPLA	21
5.1	SOLÁRNÍ ZISKY	21
5.2	VNITŘNÍ ZISKY	22
5.3	PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY	23
5.4	CELKOVÁ BILANCE POTŘEBY TEPLA	25
6	ZDROJE TEPLA	27
6.1	KOTEL NA BIOMASU	27
6.1.1	<i>Návrh pojistného ventilu</i>	28
6.1.2	<i>Návrh tlakové expanzní nádoby</i>	28
6.1.3	<i>Návrh oběhových čerpadel pro kotlový okruh a cirkulaci TV</i>	29
6.2	TEPELNÉ ČERPADLO	29
6.2.1	<i>Návrh tlakové expanzní nádoby</i>	29
6.3	PLYNOVÝ KONDENZAČNÍ KOTEL	30
6.3.1	<i>Návrh tlakové expanzní nádoby</i>	31
6.3.2	<i>Návrh termohydraulického rozdělovače</i>	31

7	EKONOMIKA PROVOZU A POŘIZOVACÍ NÁKLADY	32
7.1	KOTEL NA BIOMASU	32
7.2	TEPELNÉ ČERPADLO	33
7.3	PLYNOVÝ KONDENZAČNÍ KOTEL	34
7.4	EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT	34
8	ZÁVĚR.....	36
9	SEZNAM LITERATURY	38
10	PŘÍLOHY	40

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK

Značka	Veličina	Jednotka
$a_{H,red}$	redukční faktor na přerušené vytápění	[-]
A_k	plocha podlahy	[m ²]
$A_{sol,orient,A}$	orientovaná solární sběrná plocha	[m ²]
B'	charakteristický rozměr	[m]
b_u	teplotní redukční činitel	
c	měrná tepelná kapacita	[J/kg.K]
C_m	vnitřní tepelná kapacita budovy	[J/K]
d	vnitřní průměr potrubí	[m]
d	délka otopného období	[dny]
D	vnější průměr potrubí	[m]
e_k	korekční činitel vystavení povětrnostním vlivům	[-]
$f_{i,j}$	redukční teplotní činitel	[-]
F_F	podíl plochy rámu	[-]
$F_{sh,ob,k}$	korekce stínění na externí překážky	[-]
$F_{sh,gl}$	korekční činitel stínění	[-]
$F_{r,k}$	faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou	[-]
F_w	korekce pro nerozptylující zasklení	[-]
g_{gl}	celková propustnost průhlednými prvky	[-]
g_n	celková propustnost zasklení	[-]
G_w	korekční součinitel zohledňující vliv spodní vody	[-]
$H_{V,i}$	součinitel tepelné ztráty větráním	[W/K]
$H_{T,ie}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vnitřního prostoru do venkovního	[W/K]
$H_{T,ij}$	součinitel tepelné ztráty prostupem do místnosti s jinou teplotou	[W/K]
$H_{T,ig}$	součinitel tepelné ztráty prostupem podlahou	[W/K]
$H_{T,iue}$	součinitel tepelné ztráty prostupem stropem na nevytápěnou půdu	[W/K]
$H_{ve,adj}$	měrný tepelný tok větrání celé budovy	[W/K]

$H_{tr,adj}$	měrný tepelný tok prostupem celé budovy	[W/K]
H_u	výhřevnost zemního plynu	[MJ/m ³]
i	součinitel spárové průvzdušnosti	[m ² /s.Pa ^{0,67}]
$I_{s,j}$	celkové solární záření za měsíc	[kWh/m ²]
k	drsnost potrubí	[mm]
k_v	jmenovitý průtok	[m ³ /h]
L	délka potrubí	[m]
\dot{m}	hmotnostní průtok	[kg/h]
n_i	intenzita výměny vzduchu	[1/h]
$p_{d,dov}$	nejnižší dovolený přetlak	[kPa]
$p_{h,dov}$	nejvyšší dovolený přetlak	[kPa]
p_k	nejvyšší přípustný provozní přetlak	[kPa]
p_b	barometrický tlak	[Pa]
Q	skutečný výkon kotle	[W]
Q_{2p}	potřeba tepla odebraného z ohřivače během jedné periody	[J]
Q_{2t}	teoretické teplo odebrané v době periody	[J]
Q_{2z}	teplo ztracené při ohřevu a distribuci	[J]
Q_c	celková tepelná ztráta	[W]
Q_d	teoretická potřeba tepla	[J]
$Q_{d SKUT}$	skutečná potřeba tepla	[J]
$Q_{H,int}$	vnitřní tepelné zisky	[J]
$Q_{H,gn}$	tepelné zisky	[kWh]
$Q_{H,ht}$	celkové množství tepla	[J]
$Q_{H,ve}$	celkové množství tepla větráním	[J]
$Q_{H,tr}$	celkové množství tepla prostupem	[J]
$Q_{H,sol}$	tepelný tok solárních zisků	[kWh]
\dot{Q}_{TV}	výkon zdroje pro ohřev teplé vody	[W]
$Q_{TV,skut}$	skutečná potřeba tepla na ohřev TV za rok	[kWh/rok]
R	měrná tlaková ztráta třením	[Pa/m]
R_s	tepelný odpor	[m ² K/W]
Re	Reynoldsovo číslo	[-]
s	tloušťka vrstvy	[m]

S	plocha	$[m^2]$
t_1	teplota studené vody	$[^\circ C]$
t_2	teplota vody na výstupu	$[^\circ C]$
t_e	venkovní oblastní výpočtová teplota	$[^\circ C]$
t_{ep}	střední venkovní teplota za otopné období	$[^\circ C]$
t_i	vnitřní výpočtová teplota	$[^\circ C]$
\bar{t}_i	střední vnitřní požadovaná teplota	$[^\circ C]$
$t_{i,N}$	jmenovitá vnitřní výpočtová teplota	$[^\circ C]$
t_{w1}	teplota vody na vstup	$[^\circ C]$
$t_{w1,N}$	jmenovitá teplota vody na vstupu	$[^\circ C]$
t_{w2}	teploty vody na výstupu	$[^\circ C]$
$t_{w2,N}$	teploty vody na výstupu	$[^\circ C]$
U_c	součinitel prostupu tepla neprůsvitných částí	$[W/m^2.K]$
U_k	součinitel prostupu tepla	$[W/m^2.K]$
\dot{V}	objemový průtok	$[m^3/h]$
V_0	potřeba teplé vody na mytí osob	$[m^3]$
V_{2p}	celková potřeba teplé vody	$[m^3]$
$V_{EN,t}$	objem tlakové expanzní nádoby	$[l]$
V_i	potřeba teplé vody na mytí nádobí	$[m^3]$
V_n	objem nádoby (ohříváče)	$[l]$
w	rychlost proudění	$[m/s]$
ξ	tlaková ztráta místními odpory	$[Pa]$
α_i	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně	$[W/m^2.K]$
α_e	součinitel přestupu tepla na vnější straně	$[W/m^2.K]$
$\alpha_{S,c}$	pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků	$[-]$
ΔH	výškový rozdíl	$[m]$
Δp	tlaková ztráta	$[Pa]$
Δp_{OO}	tlaková ztráta otopného okruhu	$[Pa]$
Δp_P	tlaková ztráta potrubí	$[Pa]$
$\Delta p_{R\dot{S}}$	tlaková ztráta regulačního šroubení	$[Pa]$
Δp_{TRV}	tlaková ztráta termostatického ventilu	$[Pa]$

$\eta_{H,gn}$	faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	[-]
η_K	účinnost kotle	[-]
λ	součinitel tepelné vodivosti	[W/m.K]
ν	kinematická viskozita	[m ² /s]
ρ	hustota vody	[kg/m ³]
ρ_v	hustota vzduchu	[kg/m ³]
$\Sigma\xi$	součet součinitelů místními odpory	[-]
$\Phi_{T,i}$	tepelná ztráta prostupem tepla	[W]
$\Phi_{V,i}$	tepelná ztráta větráním	[W]
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota	[°C]
θ_e	venkovní výpočtová teplota	[°C]
γ_H	bezrozměrný bilanční poměr pro režim vytápění	[-]
τ	časová konstanta budovy	[h]
$\tau_{H,0}$	referenční časová konstanta	[h]

Použité zkratky:

E1 až E9	Přílohy v elektronické podobě umístěné na CD
P1 až P3	Přílohy v tištěné formě umístěné na konci práce
V1 až V4	Výkresová dokumentace

1 ÚVOD

Tématem této bakalářské práce je zpracování studie vytápění rodinného domu, stanovení tepelných ztrát, výběr tří vhodných zdrojů tepla a stanovení roční potřeby tepla na provoz tohoto zařízení. Součástí studie je i ekonomická analýza nákladů spojených s provozem a potřebná výkresová dokumentace. Práce také seznamuje čtenáře s postupem při zpracování jednotlivých bodů.

Řešený rodinný dům je inspirován projektem firmy Archipelag, viz obr. 1 a je umístěn do severovýchodní okrajové části Prahy, do řadové zástavby. Předpokládá se, že dům budou obývat 4 osoby. Pro tento projekt byly vybrány tři zdroje tepla. Kotel na biomasu, tepelné čerpadlo vzduch – voda a plynový kondenzační kotel. Návrh otopné soustavy zůstane v případě všech variant zdroje totožný. Půdorysy jednotlivých pater jsou na výkresech [V1, V2].



Obr. 1 Projekt dvoupodlažního rodinného domu firmy Archipelag

Zdroj: www.archipelag.cz [1]

2 KONSTRUKCE BUDOVY

K výstavbě budovy jsou použity současné materiály, jejichž výběr a návrh je volen tak, aby byly splněny podmínky dle ČSN 73 0540-2 [2]. Okna budovy jsou plastová s šestikomorovým systémem a trojsklem ($U_w = 0,73 \text{ W/m}^2\text{K}$). Dveře do budovy jsou taktěž plastové ($U_D = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$). Budova je nepodsklepená a bez půdního prostoru. Střecha budovy má sklon 15° a je pokryta pozinkovaným plechem.

2.1 Skladba konstrukcí

2.1.1 Zdivo a podlahy

Skladba jednotlivých stěn a podlah je uvedena v příloze [E1] v záložce „Skladba konstrukcí“. Byla stanovena na základě splnění podmínek na požadované hodnoty součinitele prostupu tepla uvedené v normě ČSN 73 0540-2 [2]. Obvodové stěny jsou postaveny z cihel Heluz family 30 2v1, které mají dutiny vyplněny tepelnou izolací, díky čemuž je splněna podmínka minimálního požadovaného součinitele prostupu tepla a není nutné používat k zateplení domu již žádné další izolace. Vnitřní stěny domu jsou navrženy z cihel Heluz 24. Strop v místnostech 101, 102, 108, 109, 110 a 111 byl zespondu zateplen 10cm polystyrenem, z důvodu snížení tepelné ztráty místností v 2. patře. Stropní konstrukce v 2. patře, přiléhající k nevytápěnému půdnímu prostoru je zateplena 15 cm polystyrenem a podlaha přilehlá k zemině v 1. patře je izolována 10 cm polystyrenem.

3 TEPELNÉ ZTRÁTY

Výpočet tepelných ztrát je proveden dle normy ČSN EN 12831 [3], která stanovuje podrobný postup výpočtu tepelných ztrát budov prostupem a větráním. Při výpočtu byl nahrazen výpočet vlivu tepelných mostů v konstrukci zvětšením součinitele tepelné ztráty o 10 %, z důvodu zjednodušení. Nicméně toto zvětšení by mělo dostačovat, protože vliv tepelných mostů je přibližně stejný.

3.1 Podklady pro výpočet tepelných ztrát

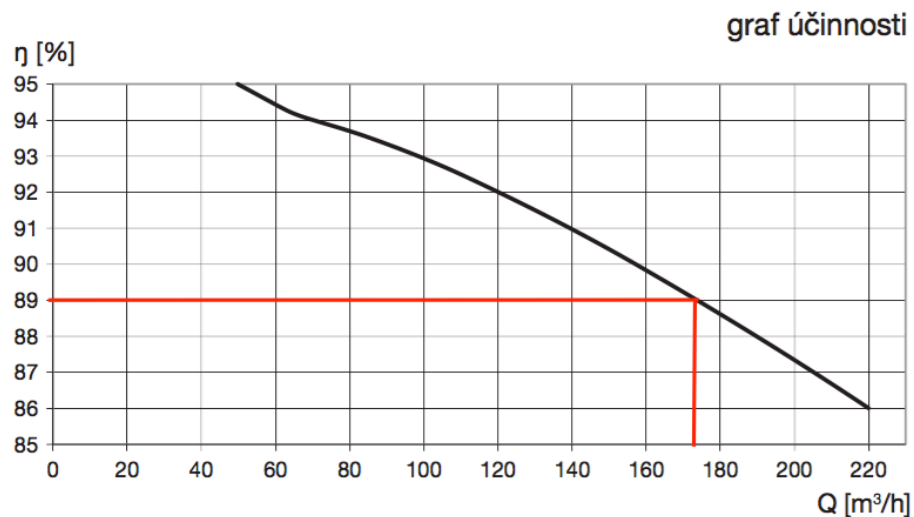
K výpočtu tepelné ztráty podle normy ČSN EN 12831 [3] je potřeba stanovit venkovní výpočtovou teplotu θ_e , která je pro oblast Prahy $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vnitřní výpočtové teploty θ_i jsou stanoveny dle druhu jednotlivých místností podle normy ČSN EN 12831 [3], jejich hodnoty jsou uvedeny v tab. 1.

3.2 Výpočet tepelné ztráty prostupem a větráním

Podrobný výpočet tepelné ztráty podle normy ČSN EN 12831 [3] je uveden v příloze E1. Při výpočtu tepelné ztráty větráním byla uvažována větrací jednotka s rekuperací tepla Easy 220 Ekonovent (obr. 2) od firmy Soler&Palau [E4], [4] s účinností 89 % při uvažovaném průtoku vzduchu $175\text{ m}^3/\text{hod}$ (obr. 3). Systém provozu je navržen jako rovnotlaký.



Obr. 2 Větrací jednotka s rekuperací Ekonovent Easy 220 [4]



Obr. 3 Odečtení účinnosti z grafu větrací jednotky v závislosti na průtoku vzduchu [4]

3. 2. 1 Celková tepelná ztráta

Celková tepelná ztráta budovy je určena jako součet tepelných ztrát jednotlivých místností. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v tab. 1. Celková tepelná ztráta budovy je 4,5 kW

Číslo místnosti	Vnitřní výpočtová teplota	Tepelná ztráta prostupem	Tepelná ztráta větráním	Součet tepelné ztráty
	θ_i °C	$\Phi_{T,i}$ W	$\Phi_{V,i}$ W	$\Sigma\Phi$ W
101	5	0	0	0
102	15	0	0	0
103	20	350	20	370
104	20	700	40	740
105	20	30	20	50
106	20	400	0	400
107	15	180	0	180
108	20	70	0	70
109	24	120	20	140
110	5	0	0	0
111	5	0	0	0
201	20	450	25	475
202	24	250	45	295
203	24	250	55	305
204	20	0	10	10
205	20	50	0	50
206	20	400	30	430
207	20	150	0	150
208	20	280	25	305
209	20	50	0	50
210	20	440	25	465
Σ		4170	315	4485

Tab. 1 Výpočet tepelných ztrát

4 OTOPNÁ SOUSTAVA

Otopná soustava má hradit tepelné ztráty místnosti, tak aby byla dodržena stanovená vnitřní teplota v nejnepríznivějším období v roce. V celém objektu je navržen mokrý systém teplovodního podlahového vytápění.

Potrubí bude plastové Rautherm S 16x2 mm se síťovaným polyetylénem [5]. Systém podlahového vytápění bude řešen formou meandrů přichycených pomocí úchytů ke kari síti upevněné k izolačním deskám. Jednotlivé otopné okruhy budou připojeny k rozdělovačům a sběračům. V každém z pater bude umístěn jeden rozdělovač a sběrač. Potrubí vedené z technické místnosti k rozdělovačům bude měděné. Otopné okruhy v prvním patře budou řízeny termostatem Siemens RDE100, umístěným v místnosti 105, který je propojen s termostatickým ventilem Siemens SVI46.15/SFA21, ovládajícím přívod sběrače R1. Otopné okruhy v druhém patře budou řízeny jednotlivě čtyřmi termostaty Siemens RDE100 (každá obytná místnost zvlášť), které budou propojeny s termostatickými ventily Siemens SVI46.15/SFA21 na jednotlivých okruzích viz výkresy [V1, V2, V3, V4].

4.1 Tepelně technický návrh podlahového vytápění

Pro návrh podlahové otopné plochy jsem použil výpočtový program PV11 [6], který je založen na volbě střední povrchové teploty podlahy s ohledem na hygienicky přípustné hodnoty a výpočtem tepelného výkonu podlahové otopné plochy.

Do programu se dosadí skladba složení podlahy, včetně tepelně – technických parametrů všech vrstev, okrajové podmínky – teplota vzduchu nad i pod podlahou, teplota povrchu podlahy, vnější průměr potrubí, součinitel tepelné vodivosti vrstvy uložení potrubí a součinitel přestupu tepla pod povrchem podlahy a na základě obvodu místnosti a dostupné ploše místnosti se dimenzuje změnou rozteče potrubí, nebo změnou střední teploty otopné plochy celkový výkon otopné plochy.

Cílem tohoto návrhu bylo, jak dosažení výkonu ploch shodného s velikostí tepelné ztráty místností, tak i dosažení rozsahu střední teploty otopné vody v rozmezí $\pm 0,5$ K pro všechny plochy v domě, tak aby nebylo nutné navrhovat směšovací okruhy otopné soustavy. Celá otopná soustava je tak navržena na konstantní teplotní spád.

Výpočty pro jednotlivé místnosti jsou uvedeny v příloze [E2]. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tab. 2.

Z výsledků je patrné, že v místnostech číslo 202 a 203, nedostačuje tepelný výkon otopné soustavy tepelné ztrátě místnosti, zbylý potřebný výkon bude hrazen umístěním elektrického trubkového otopného tělesa s elektrickým výkonem 400 W.

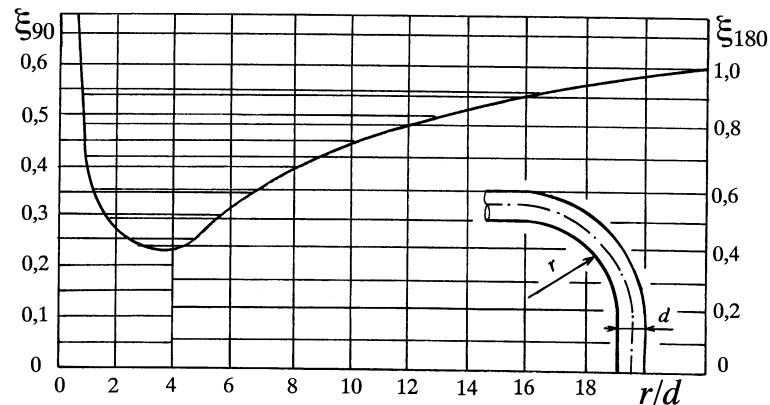
Přívody k otopným plochám od rozdělovačů jsou izolovány návlekovou izolací Mirelon Pro. Pouze přívody v místnosti 209 jsou neizolované tak, aby předaly část tepla podlaze v této místnosti, kde je minimální tepelná ztráta a samostatný okruh by byl příliš malý. Také se tím zajistí vyšší povrchová teplota podlahy pro zvýšení komfortu. Výsledný teplotní spád byl na základě výpočtů stanoven 33/25 °C.

č. místnosti	Druh místno	Q potřeba	Q dodané	t_m	S_p	O_p	l	t_p
		W	W	°C	m ²	m	m	°C
101	tech. Míst.							
102	tech. Míst.							
103	kuchyn	370	365	28,81	7,7	7,9	0,30	24,0
104	obytak	370	365	28,81	7,7	7,9	0,30	24,0
		370	365	28,81	7,7	7,9	0,30	24,0
105	jidelna	50	414	28,27	8,0	13,0	0,31	24,0
106	hala	400	125	28,89	1,8	5,6	0,29	24,6
107	zadveri	180	180	24,86	3,5	8,0	0,53	18,5
108	satna	210	202	28,86	3,9	10,0	0,30	25,5
109	koupelna							
110	dilna	0						
111	garaz	0						
201	pokoj	475	478	28,14	9,0	12,6	0,30	24,1
202	koupelna	295	209	28,87	5,1	12,2	0,17	27,1
203	koupelna	305	159	28,91	3,9	9,8	0,20	26,9
204	wc	10	119	24,88	3,1	12,6	0,30	22,5
205	satna	50						
206	pokoj	430	499	28,35	11,0	17,4	0,37	23,7
207	schodiste	150						
208	pracovna	305	312	28,91	4,6	8,6	0,15	25,5
209	predsin	50			3,4			
210	pokoj	465	458	28,35	9,0	12,6	0,30	24,1
	Σ	4485	4250					

Tab. 2 Tepelně technický návrh podlahového vytápění

4. 2 Tlakové ztráty potrubí

Celková tlaková ztráta potrubí se skládá ze ztráty třením a místními odpory a je vyjádřena podle vzorce (1). Místní odpory v případě otopných ploch jsou veškeré záhyby trubek a jejich hodnoty jsou stanoveny z grafu (obr. 4) na základě poměru průměru trubky a poloměru zahnutí potrubí. Pro výpočet je nutné také stanovit rychlost proudění vody v potrubí, kterou jsem stanovil na základě hmotnostního průtoku. Dále je také pro výpočet nutné stanovit součinitel tlakové ztráty, který je závislý na Reynoldsově čísle a kinematické viskozitě. Jednotlivé vypočtené tlakové ztráty všech úseků včetně všech dalších potřebných výpočtů jsou uvedené v příloze [E3].



Obr. 4 Součinitel místního odporu pro oblouk 90 a 180 °

Zdroj: [7]

$$\Delta p_z = \left(\frac{\lambda}{d_i} \cdot l + \sum \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = R \cdot l + \sum \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (1)$$

kde:	λ	[-]	součinitel třecí ztráty
	d_i	[m]	vnitřní průměr potrubí
	l	[m]	délka potrubí
	ξ	[-]	součinitel místního odporu
	w	[m/s]	rychlost vody v potrubí
	ρ	[kg/m ³]	hustota vody
	R	[Pa/m]	měrná tlaková ztráta

4. 2. 1 Vyvážení tlakových ztrát jednotlivých okruhů

Pro vyvážení tlakových ztrát okruhů připojených k jednomu rozdělovači / sběrači je zapotřebí použít regulačních ventilů. Jsou navrženy regulační šroubení Regulux DN 15 [E5], [8]. Tyto šroubení budou na vstupu okruhu. Na výstupu u sběrače jsem navrhl termostatický ventil Siemens SVI46.15/STA21 s K_v hodnotou 2 m³/h a spočítal jeho tlakovou ztrátu podle vzorce (2). Na vstupu u rozdělovače do okruhu s největším průtokem jsem navrhl plně otevřené regulační šroubení a spočítal jeho tlakovou ztrátu. Po součtu tlakové ztráty okruhu s největším průtokem, termostatického ventilu a regulačního šroubení na vstupu stanovím největší tlakovou ztrátu. Na vstupu u ostatních okruhů pak nastavím regulační šroubení podle potřebné tlakové ztráty k dorovnání rozdílu. Potřebnou K_v hodnotu stanovím podle vzorce (3) a nastavení ventilu odečtu podle potřebné tlakové ztráty z grafu uvedeného v technických dokumentech šroubení [E5], [8]. Tento postup opakuji i u druhého rozdělovače. Kompletní výpočet je uveden v příloze [E3].

$$\Delta p = \frac{100000}{\left(\frac{K_v \rho}{\dot{m}} \right)^2} \quad (2)$$

$$K_V = \frac{\dot{m}}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{100000}{\Delta p}} \quad (3)$$

kde: \dot{m} [kg/s] hmotnostní průtok potrubím
 ρ [kg/m³] hustota vody
 Δp [Pa] tlaková ztráta

4. 2. 2 Celková tlaková ztráta

Celková tlaková ztráta je dána součtem tlakové ztráty na rozdělovači, tlakové ztráty přívodního potrubí k rozdělovači a tlakovou ztrátou úseku k čerpadlu. Protože se jedná o soustavu s nuceným oběhem vody s pouze dvěma patry, zanedbávám přirozený vztlak, který je dán výškovým rozdílem a rozdílem hustot otopné vody na přívodu a zpátečce.

V úsecích od rozdělovače se jedná o měděné potrubí, kde výrobce udává měrnou tlakovou ztrátu v závislosti na rychlosti proudění a průměru potrubí. Metodou ekonomických rychlostí jsem určil z průtoku ideální průměr potrubí (4), podle kterého jsem zvolil vyráběný průměr a přepočítal skutečnou rychlost. Poté jsem odečetl z podkladů výrobce potrubí měrnou tlakovou ztrátu a součinitele místního odporu. Tlakové ztráty úseku přívodního potrubí k rozdělovači se spočítají podle vzorce (1). Vyvážení úseků k rozdělovačům provedeme podle stejného postupu, jako u vyvažování otopných ploch, pomocí regulačního šroubení Regulux DN 15.

Stejným postupem jsem dopočítal i tlakovou ztrátu zbylého úseku k čerpadlu.

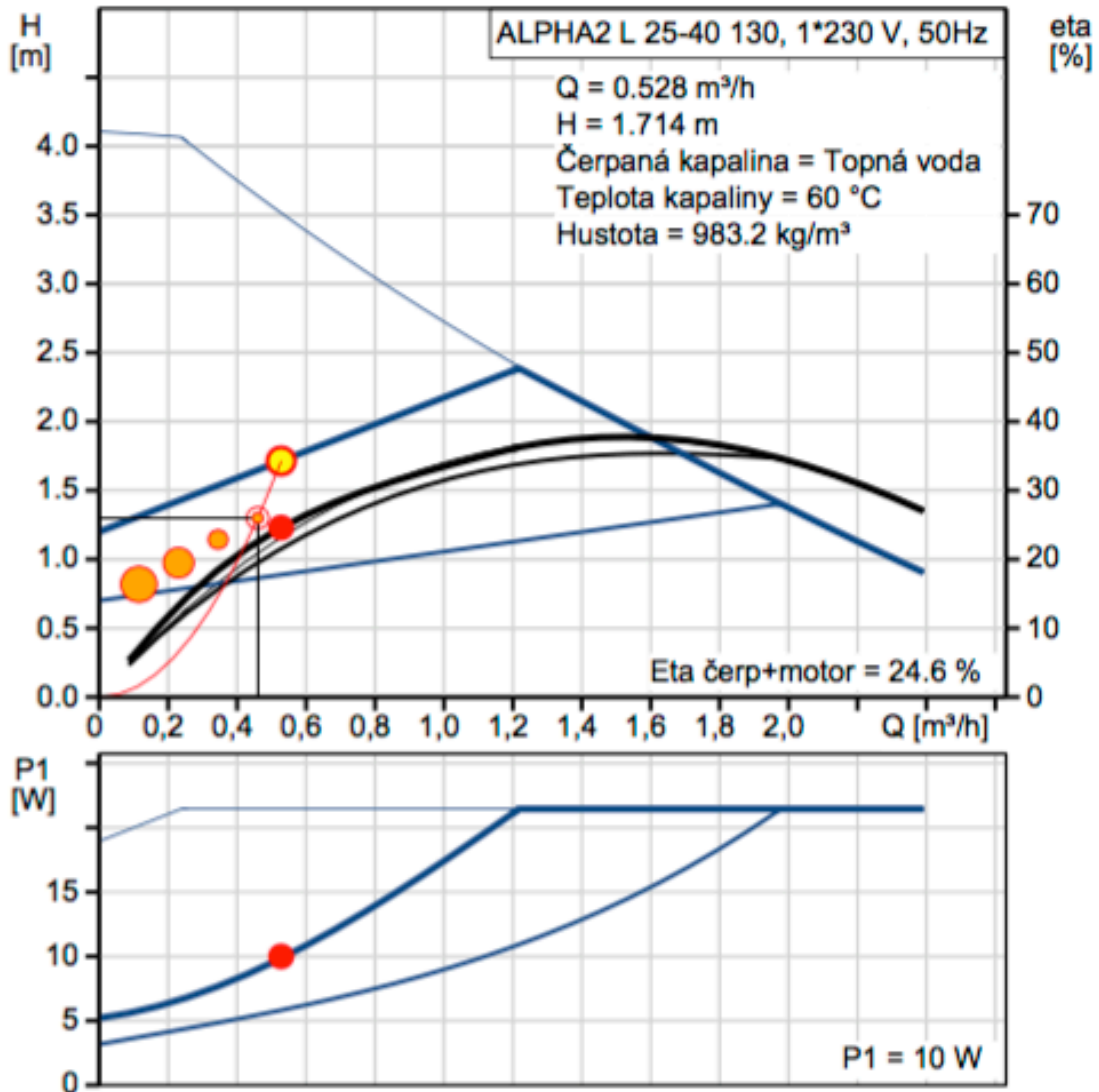
$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \cdot w \cdot \rho}} \quad (4)$$

kde: $w = 0,7$ m/s

Celková tlaková ztráta resp. potřebný dopravní tlak oběhového čerpadla je 12,8 kPa. Kompletní výpočet je uveden v příloze [E3].

4.3 Návrh oběhového čerpadla otopného okruhu

Pro návrh oběhového čerpadla je zapotřebí určit dopravní výšku H [m], která se určuje z tlakové ztráty okruhu. V tomto případě je tlaková ztráta 12,8 kPa, tato hodnota odpovídá dopravní výšce 1,3 m. Další potřebnou veličinou je hmotnostní průtok \dot{m} [m³/hod], který je v tomto případě 0,46 m³/hod. Z katalogu výrobce čerpadel Grundfos [9] jsem na základě těchto hodnot vybral čerpadlo Alpha 2 25 – 40 (obr. 5).



Obr. 5 Grafická závislost Δp na průtoku čerpadla Alpha2 25 – 40 s vyznačeným pracovním bodem [9]

5 POTŘEBA TEPLA

Potřeba tepla je nutná pro stanovení předpokládaných ročních nákladů na provoz vytápění. Jelikož se stanovuje na základě statistických hodnot klimatických údajů, její výpovědní hodnota se dá považovat za informativní. Tento výpočet byl proveden dle normy ČSN EN ISO 13790 [10] a je uveden v příloze [E1]. Průměrné klimatické hodnoty potřebné pro výpočet jsou převzaty z klimatických údajů uvedených v TNI 73 0331 [11].

5.1 Solární zisky

Pro přesné určení potřeby tepla na vytápění budovy, je třeba brát v úvahu i zisky z oslunění, které snižují celkovou potřebu tepla stanovenou pouze na základě výpočtu tepelných ztrát. Jsou závislé na intenzitě záření v dané lokalitě, orientaci sběrných ploch, trvalého a pohyblivého stínění, propustnosti a pohltivosti slunečního záření a na vlastnostech charakterizujících přenos tepla sběrných ploch. Pro tento výpočet byly použity měsíční průměrné hodnoty solárního záření. Celkový tepelný tok solárními zisky stavebními prvky za rok se spočítá podle vzorce (5). Podrobný výpočet je uveden v příloze [E1] v záložce „Solární zisky“. Výsledné hodnoty solárních zisků za jednotlivé měsíce jsou uvedeny v tab. 3.

$$\sum \phi_{sol,k} = \sum (F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \phi_{r,k}) \quad (5)$$

kde:	$\phi_{sol,k}$	[kWh]	solární tepelný tok přes k-tý prvek
	$F_{sh,ob,k}$	[-]	korekční činitel stínění na externí překážky
	$A_{sol,k}$	[m ²]	účinná sběrná plocha prvku k s danou orientací
	$I_{sol,k}$	[kWh/m ²]	sluneční ozáření za měsíc na metr čtvereční plochy
	$F_{r,k}$	[-]	faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou
	$\phi_{r,k}$	[kWh]	přídavný tepelný tok sálání mezi oblohou a prvkem

Měsíc	Celkový tepelný tok solárních zisků budovy za měsíc	
	Q_{sol}	
	[kWh]	[MJ]
Leden	454	1633
Únor	742	2672
Březen	1223	4402
Duben	1683	6058
Květen	1927	6937
Červen	1903	6851
Červenec	1845	6641
Srpen	1863	6708
Září	1346	4846
Říjen	1092	3930
Listopad	583	2099
Prosinec	371	1334

Tab. 3 Celkové solární zisky za jednotlivé měsíce

5. 2 Vnitřní zisky

Vnitřní zisky zohledňují vliv vnitřních zdrojů tepla. V tomto výpočtu jsem zohledňoval vliv tepelného toku od osob a spotřebičů. Hodnoty potřebné pro výpočet jsem převzal z normy ČSN EN ISO 13790 [10] a jsou uvedené v tab. 4. Pro výpočet jsem uvažoval týdenní průměrné hodnoty vztažené k jednomu metru čtverečnímu a druhu místnosti. Výsledné měsíční hodnoty uvedené v tab. 5 jsem získal přes skutečnou plochu místností a počet hodin v měsíci. Podrobný výpočet je uveden v příloze [E1] v záložce „Vnitřní zisky“.

Bytový dům			
Dny	Hodiny	Obývací pokoj plus kuchyně ($\phi_{int,oc} + \phi_{int,\lambda}$)/ A_t	Obývací prostory (ložnice) ($\phi_{int,oc} + \phi_{int,\lambda}$)/ A_t
		[W/m ²]	[W/m ²]
Pondělí až pátek	7:00 až 17:00	8	1
	17:00 až 23:00	20	1
	23:00 až 7:00	2	6
	Průměr	9	2,67
Sobota až neděle	7:00 až 17:00	8	2
	17:00 až 23:00	20	4
	23:00 až 7:00	2	6
	Průměr	9	3,83
Průměr		9	3

Tab. 4 Tepelný tok od osob a spotřebičů [9]

Měsíc	Počet dnů	Počet hod	Tepelný zisk pro celou budovu za měsíc	
	n	n _{hod}	Q _{int,kWh, A}	Q _{int,MJ, A}
	[den]	[hod]	[kWh]	[MJ]
Leden	31	744	474	1705
Únor	28	672	428	1540
Březen	31	744	474	1705
Duben	30	720	458	1650
Květen	31	744	474	1705
Červen	30	720	458	1650
Červenec	31	744	474	1705
Srpen	31	744	474	1705
Září	30	720	458	1650
Říjen	31	744	474	1705
Listopad	30	720	458	1650
Prosinec	31	744	474	1705

Tab. 5 Součet vnitřních zisků uvedených po měsících

5.3 Příprava teplé vody

Pro výpočet potřeby tepla na přípravu teplé vody je třeba nejdříve spočítat přípravu teplé vody podle normy ČSN 06 0320 [12]. A pro určení velikosti zásobníku na teplou vodu je třeba stanovit křivku odběru a dodávky teplé vody (obr. 6) podle normy ČSN EN 15 316 – 3 [13]. Výpočet je uveden také v příloze [E1] v záložce „Příprava teplé vody“.

Počet osob: 4

Denní spotřeba vody: 40 l/os.

Teplota studené vody: 10 °C

Teplota teplé vody: 55 °C

Měrná tepelná kapacita: 4187 J/kg.K

Ztrátový součinitel: 0,2

1. Stanovení potřeby teplé vody

$$V_{2p} = V_0 + V_j + V_u = n_i \cdot V_0 + n_j \cdot V_j + n_u \cdot V_u = 4 \cdot 0,04 + 2 \cdot 0,002 + 2 \cdot 0,02 = 0,16 + 0,004 + 0,04 = 0,204 \text{ m}^3/\text{den} \quad (6)$$

2. Odběr tepla

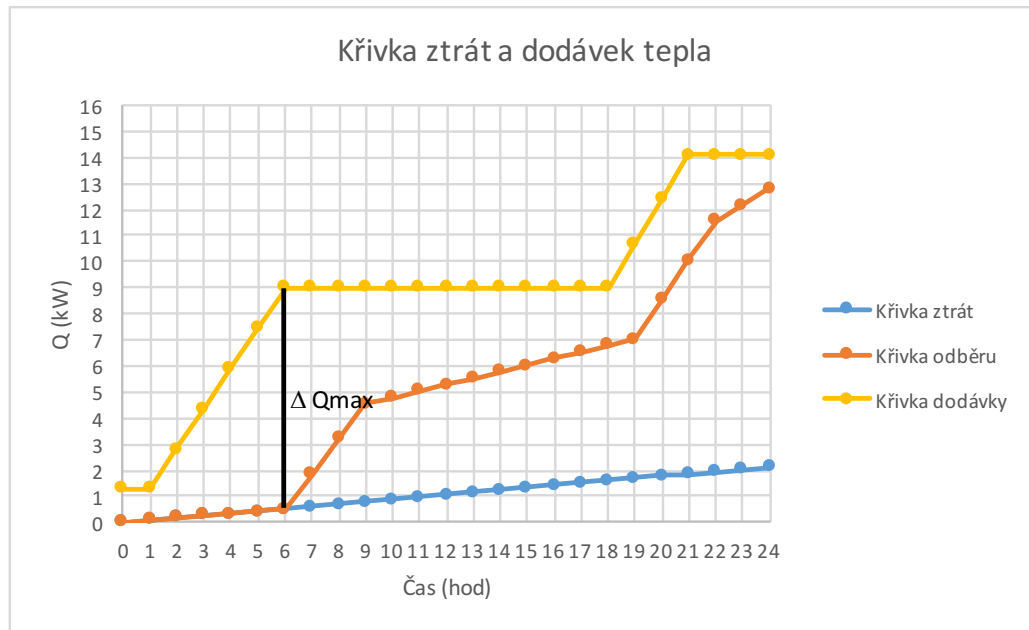
$$Q_{2p} = V_{2p} \cdot \rho \cdot c \cdot \frac{(t_2 - t_1)}{3600000} = 0,204 \cdot 1000 \cdot 4187 \cdot \frac{55 - 10}{3600000} = 10,68 \text{ kWh}/\text{den} \quad (7)$$

3. Ztráty tepla vedením

$$Q_{2z} = Q_{2p} \cdot z = 10,68 \cdot 0,2 = 2,14 \text{ kWh}/\text{den} \quad (8)$$

4. Dodávky tepla

$$Q_{1p} = Q_{2p} + Q_{2z} = 10,68 + 2,14 = 12,82 \text{ kWh/den} \quad (9)$$



Obr. 6 Křivka ztrát a dodávek tepla

Pro rozvržení křivky dodávek tepla v nízkém tarifu jsem použil tarif Akumulace 8 společnosti ČEZ, varianta AKU8V5 [14].

Na základě křivky ztrát a dodávek tepla je třeba stanovit největší rozdíl tepla ΔQ_{max} , který je 8,47 kW je v 6.00 ráno. Na jeho základě budu dimenzovat velikost zásobníku na teplou vodu (10).

Objem zásobníku:

$$V_Z = \frac{\Delta Q_{max}}{c \cdot (t_2 - t_1)} = \frac{8,47}{1,163 \cdot 45} = 0,162 \text{ m}^3 = 162 \text{ l} \quad (10)$$

Volím zásobník Logalux SU 160/5 o objemu 160 l.

Potřeba tepla na přípravu teplé vody vychází z křivky ztrát a dodávek teplé vody, v tomto případě je tato potřeba 12,82 kWh/den, pro získání měsíčních hodnot roznásobím tuto hodnotu počtem dnů v měsíci. Výsledná potřeba tepla po měsících je uvedena v tab. 6.

Měsíc	Počet dnů	Počet hod	Příprava teplé vody
	n	n_{hod}	Q_{1p}
	[den]	[hod]	[kWh]
Leden	31	744	397
Únor	28	672	359
Březen	31	744	397
Duben	30	720	384
Květen	31	744	397
Červen	30	720	384
Červenec	31	744	397
Srpen	31	744	397
Září	30	720	384
Říjen	31	744	397
Listopad	30	720	384
Prosinec	31	744	397

Tab. 6 Potřeba tepla na přípravu teplé vody

5. 4 Celková bilance potřeby tepla

Celková potřeba tepla je dána součtem potřeby tepla na přípravu teplé vody, potřeby tepla na úhradu tepelné ztráty prostupem tepla a tepelné ztráty větráním, ponížené o celkové tepelné zisky. Prostý součet ale nestačí, je třeba zohlednit faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění $\eta_{H,gn}$, bilanční poměr režimu vytápění γ_H a redukční faktor na přerušené vytápění $a_{H,red}$. Faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění je závislý na časové konstantě budovy τ , která závisí na vnitřní tepelné kapacitě budovy C_m , jež je definována jako součin podlahové plochy budovy A_f a parametru, jenž závisí na třídě budovy (v tomto případě se jedná střední třídu, které odpovídá parametr 165 000). Celá bilance včetně všech potřebných výpočtů je uvedena v příloze [E1] v záložce „Bilance“ a odpovídá postupu uvedenému v normě ČSN EN ISO 13790 [10]. Celková potřeba tepla je uvedena v tab. 7.

Měsíc	Počet dnů	Počet hod	Příprava teplé vody	Potřeba tepla na vytápění	Celková potřeba tepla
	n	n _{hod}	Q _{1p}	Q _{4,nd}	Q _c
	[den]	[hod]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Leden	31	744	397	1284	1681
Únor	28	672	359	756	1115
Březen	31	744	397	285	682
Duben	30	720	384	32	417
Květen	31	744	397	1	398
Červen	30	720	384	0	384
Červenec	31	744	397	0	397
Srpen	31	744	397	0	397
Září	30	720	384	3	388
Říjen	31	744	397	104	501
Listopad	30	720	384	685	1070
Prosinec	31	744	397	1182	1579
	Σ		4676	4333	9009

Tab. 7 Celková potřeba tepla na přípravu teplé vody a vytápění

6 ZDROJE TEPLA

Cílem této práce je vybrat 3 zdroje tepla pro vytápění a přípravu teplé vody, a vzájemně porovnat jejich provozní a pořizovací náklady. Jako zdroje jsem vybral kotel na biomasu, tepelné čerpadlo a plynový kondenzační kotel.

6.1 Kotel na biomasu

Jako první zdroj tepla byl vybrán kotel na biomasu Dakon Dor N 15 Automat spalující dřevěné pelety (obr. 7) [E6], [15]. Schéma zapojení technické místnosti a systém napojení k otopné soustavě je uveden na výkresu [V3]. V rámci projektu je uvažována přednostní příprava teplé vody. Z důvodu nízkoteplotní ochrany kotle je zapotřebí směšování otopné vody, které realizují pomocí trojcestného přepínacího ventilu Esbe VRG131 DN20 – Kv4 se servopohonem Esbe ARA 661 230 V. Ke kotli je třeba navrhnout pojistný ventil, tlakovou expanzní nádobu, oběhové čerpadlo kotlového okruhu a cirkulační čerpadlo pro ohřev teplé vody. Akumulační zásobník volím PS 500+ s objemem 500 l. Regulace celého systému je zajištěna regulátorem ST 61, dodávaným společně s kotlem.



Obr. 7 Kotel Dakon Dor N 15 Automat [15]

6. 1. 1 Návrh pojistného ventilu

K návrhu pojistného ventilu je třeba znát jmenovitý zdroj kotle Q_N , otvácí přetlak p_{ot} , tyto hodnoty jsou uvedeny v technické dokumentaci kotle [E6], [15] a výtokový součinitel pojistného ventilu α_v , jenž je uveden v dokumentech ventilu [E7], [16].

$$\text{Pojistný výkon:} \quad Q_P = Q_N = 15 \text{ kW} \quad (10)$$

$$\text{Pojistný průtok:} \quad \dot{m}_p = Q_P = 15 \text{ kg/hod} \quad (11)$$

Průtočný průřez sedla pojistného ventilu:

$$S_0 = \frac{2 \cdot Q_P}{\alpha_v \cdot p_{otv}^{0,5}} = \frac{2 \cdot 15}{0,444 \cdot 300^{0,5}} = 3,9 \text{ mm}^2 \quad (12)$$

Vnitřní průměr výtokového pojistného potrubí:

$$d_w = 10 + 0,6 \cdot Q_P^{0,5} = 10 + 0,6 \cdot 15^{0,5} = 12,3 \text{ mm} \quad (13)$$

Na základě výpočtů volím jako pojistný ventil 1/2 x 3/4 a výtokové pojistné potrubí volím 15x1.

6. 1. 2 Návrh tlakové expanzní nádoby

$$\text{Nejvyšší dovolený absolutní přetlak:} \quad p_{h,dov,A} = 400 \text{ kPa} \quad (14)$$

Nejmenší dovolený absolutní přetlak:

$$\begin{aligned} p_{d,dov,A} &= 1,1 \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3} + p_B = \\ &= 1,1 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,6 \cdot 10^{-3} + 100 = 128 \text{ kPa} \end{aligned} \quad (15)$$

Stupeň využití expanzní nádoby:

$$\eta = \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,dov,A}}{p_{h,dov,A}} = \frac{400 - 128}{400} = 0,68 \quad (16)$$

Objem tlakové expanzní nádoby:

$$V_{EN-T} = 1,3 \cdot V_{OS} \cdot n \cdot \frac{1}{\eta} = 1,3 \cdot 0,55 \cdot 0,005054 \cdot \frac{1}{0,68} = 0,0053 \text{ m}^3 \quad (17)$$

kde: V_{OS} [m³] objem vody v otopné soustavě

n [-] součinitel zvětšení objemu pro $dt_{max} = 23 \text{ K} = 0,005054$

Na základě výpočtu volím expanzní nádobu o objemu 8 l.

6. 1. 3 Návrh oběhových čerpadel pro kotlový okruh a cirkulaci TV

Na základě tlakové ztráty kotlového okruhu a okruhu pro přípravu teplé vody jsem navrhl čerpadla – pro TV Grundfos Alpha 2 25 - 60 a pro kotlový okruh čerpadlo Grundfos Alpha 2 25 – 40. Výpočet tlakových ztrát je uveden v příloze [E3].

6. 2 Tepelné čerpadlo

Druhým alternativním zdrojem tepla je tepelné čerpadlo Logatherm WPL6IK o výkonu 6 kW (obr. 8) [E8], [17]. Jedná se o tepelné čerpadlo vzduch voda. Schéma zapojení technické místnosti a systém napojení k otopné soustavě je uvedeno na výkresu [V3]. Stejně jako v předchozím případě je uvažována přednostní příprava teplé vody. Tepelné čerpadlo v sobě již zahrnuje akumulární zásobník o objemu 55 l, pojistný ventil a oběhové čerpadlo. Je tedy nutné navrhnout pouze tlakovou expanzní nádobu. Součástí dodávky je i zásobník na teplou vodu Logalux SH300EW o objemu 300 l. Všechny výpočty, ale uvažuji s námi vybraným zásobníkem o objemu 160 l jako potřebné minimum. Systém regulace systému je zajištěn regulační jednotkou HMC20, která je součástí dodávky tepelného čerpadla.



Obr. 8 Tepelné čerpadlo Logatherm WPL6IK [17]

6. 2. 1 Návrh tlakové expanzní nádoby

Nejvyšší dovolený absolutní přetlak: $p_{h,dov,A} = 400 \text{ kPa}$ (18)

Nejmenší dovolený absolutní přetlak:

$$p_{d,dov,A} = 1,1 \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3} + p_B =$$

$$= 1,1 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,6 \cdot 10^{-3} + 100 = 128 \text{ kPa} \quad (19)$$

Stupeň využití expanzní nádoby:

$$\eta = \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,dov,A}}{p_{h,dov,A}} = \frac{400 - 128}{400} = 0,68 \quad (20)$$

Objem tlakové expanzní nádoby:

$$V_{EN-T} = 1,3 \cdot V_{OS} \cdot n \cdot \frac{1}{\eta} = 1,3 \cdot 0,103 \cdot 0,005054 \cdot \frac{1}{0,68} = 0,001 \text{ m}^3 \quad (21)$$

kde: V_{OS} [m³] objem vody v otopné soustavě

n [-] součinitel zvětšení objemu pro $dt_{\max} = 23 \text{ K} = 0,005054$

Na základě výpočtu volím expanzní nádobu o objemu 8 l.

6. 3 Plynový kondenzační kotel

Třetí vybranou alternativou zdroje tepla je plynový kondenzační kotel Logamax plus GB172 – 14 o výkonu 14kW (obr. 9) [E9], [17]. Schéma zapojení technické místnosti a napojení k otopné soustavě je uvedeno na výkresu [V3]. Stejně jako v předchozích případech je uvažována přednostní příprava teplé vody. Plynový kondenzační kotel v sobě zahrnuje oběhové čerpadlo, pojistný ventil i 8 l tlakovou nádobu, kterou zkontroluji výpočtem. Součástí systému musí být v tomto případě termohydraulický rozdělovač, který je třeba navrhnout výpočtem [19]. Systém bude regulován regulací, která je součástí kotle.



Obr. 9 Plynový kondenzační kotel Logamax plus GB172-14 [17]

6.3.1 Návrh tlakové expanzní nádoby

Nejvyšší dovolený absolutní přetlak: $p_{h,dov,A} = 400 \text{ kPa}$ (22)

Nejmenší dovolený absolutní přetlak:

$$\begin{aligned} p_{d,dov,A} &= 1,1 \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3} + p_B = \\ &= 1,1 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,6 \cdot 10^{-3} + 100 = 128 \text{ kPa} \end{aligned} \quad (23)$$

Stupeň využití expanzní nádoby:

$$\eta = \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,dov,A}}{p_{h,dov,A}} = \frac{400 - 128}{400} = 0,68 \quad (24)$$

Objem tlakové expanzní nádoby:

$$V_{EN-T} = 1,3 \cdot V_{OS} \cdot n \cdot \frac{1}{\eta} = 1,3 \cdot 0,05 \cdot 0,005054 \cdot \frac{1}{0,68} = 0,0005 \text{ m}^3 \quad (25)$$

kde: V_{OS} [m^3] objem vody v otopné soustavě

n [-] součinitel zvětšení objemu pro $\Delta t_{\max} = 23 \text{ K} = 0,005054$

Na základě výpočtu expanzní nádoba o objemu 8l vyhovuje dané soustavě.

6.3.2 Návrh termohydraulického rozdělovače

Termohydraulický rozdělovač je v podstatě předdimenzovaný zkrat kotlového okruhu [18]. Díky němu se nebudou navzájem ovlivňovat okruh kotle a okruh otopných ploch. Návrh se realizuje výpočtem (26) [19].

$$D = \sqrt{3537 \cdot V} = \sqrt{3537 \cdot 0,46} = 40,33 \text{ mm} \quad (26)$$

kde: V [m^3/hod] objemový průtok kotlovým okruhem

D [mm] vnitřní průměr THR

7 Ekonomika provozu a pořizovací náklady

Na základě stanovené potřeby tepla jsme schopni spočítat přibližné náklady na roční provoz všech tří zdrojů tepla. Pořizovací náklady na jednotlivé varianty vycházejí z přibližných tržních hodnot použitých součástí a jsou uvedeny ve výkazech výměr v přílohách [P1, P2, P3].

7.1 Kotel na biomasu

Pořizovací náklady na kompletní systém vytápění včetně kotle, akumulčního zásobníku a ohřevu teplé vody byl stanoven na 226 tis. Kč bez DPH, včetně 21 % DPH činí pořizovací náklady 273 tis. Kč. Podrobný výpis je uveden ve výkazu výměr v příloze [P1].

Provozní náklady jsem stanovil na základě potřeby tepla a účinnosti kotle dané výrobcem [E6], [15], která činí 82 - 88 %, předpokládám ale, že účinnost bude v reálném provozu okolo 80 %. Cenu pelet jsem přebíral od výrobce Optimtop [20], cena dopravy je započtená v ceně. Paleta o celkové váze 825 kg stojí 5690,- Kč vč. DPH. Dle výrobce má 1kg pelet výhřevnost 5 kWh. Roční provozní náklady jsou uvedeny v tab. 8.

Biomasa - dřevěné pelety			
Potřeba	Vyt	4333	kWh
	TV	4676	kWh
	Účinnost	80	%
Spotřeba	VYT	5416	kWh
	TV	5845	kWh
	Výhřevnost	5	kWh/kg
Spotřeba pelet	VYT	1083	kg
	TV	1169	kg
Cena	1 kg vč. dopravy	6,9	Kč
	VYT	7471	Kč/rok
	TV	8063	Kč/rok
Doprava je započtená v ceně			
15 534 Kč			

Tab. 8 Roční provozní náklady kotle na biomasu

7.2 Tepelné čerpadlo

Požizovací náklady na kompletní systém vytápění včetně tepelného čerpadla a ohřevu teplé vody byl stanoven na 360 tis. Kč bez DPH, včetně 21 % DPH činí pořizovací náklady 436 tis. Kč. Podrobný výpis je uveden ve výkazu výměr v příloze [P2].

Provozní náklady jsem stanovil na základě potřeby tepla a udaných topných faktorů v technických dokumentech k tepelnému čerpadlu. Topné faktory pro přípravu teplé vody a pro vytápění byly stanoveny z grafů v technických listech [E8], [17] jako průměrná hodnota pro 3 různé teploty ovzduší a to -5, 0 a 10 °C. Bivalentní bod pro vytápění jsem odečetl z výkonové křivky tepelného čerpadla [E8], [17], a to -10 °C. Pro přípravu teplé vody, vyšel bivalentní bod -5 °C. Dle průměrných denních teplot pro oblast Prahy jsem odečetl počet dnů, který odpovídá teplotám nižším než bivalentní body a vyšlo pro vytápění 2 dny a pro přípravu teplé vody 10 dní. V tolika dnech se uvažuje provoz čistě na elektrický proud. Cenu za elektřinu v tarifu pro tepelná čerpadla jsem převzal z průměrných hodnot za rok 2016 [21]. Roční provozní náklady jsou uvedeny v tab. 9.

TČ			
	COP 55°	2,37	
	COP 35°	3,57	
Potřeba	Vyt	4333	kWh
	TV	4676	kWh
Spotřeba TČ	Vyt	1203	kWh
	TV	1919	kWh
Spotřeba EE	VYT	39	kWh
	TV	128	kWh
Cena Kč/kWh	NT	2,22	2,265
	VT	2,76	
Cena	VYT	2812	Kč/rok
	TV	4637	Kč/rok
7 448 Kč			
Bivalentní bod pro VYT je -10 °C, pro TV je -5 °C			
Teplotě pod b.b. pro VYT odpovídají 2 dny, pro TV 10 dní			

Tab. 9 Roční provozní náklady tepelného čerpadla

7.3 Plynový kondenzační kotel

Pořizovací náklady na kompletní systém vytápění včetně plynového kondenzačního kotle a ohřevu teplé vody byl stanoven na 187 tis. Kč bez DPH, včetně 21 % DPH činí pořizovací náklady 226 tis. Kč. Podrobný výpis je uveden ve výkazu výměr v příloze [P3].

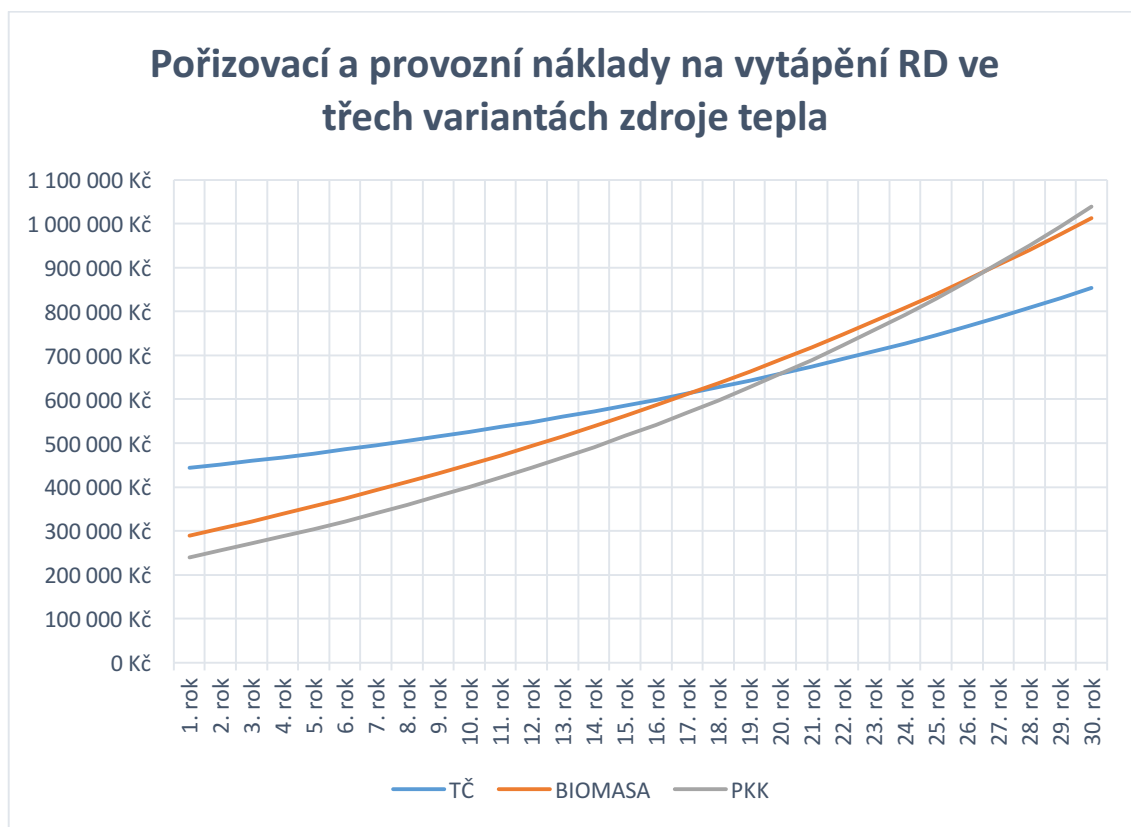
Provozní náklady jsem stanovil na základě potřeby tepla a účinnosti kotle dané výrobcem [E9], [17], která činí 95 %. Cenu zemního plynu jsem stanovil na základě ceníku Pražské plynárenské, a. s. [22] pro rok 2016, vychází 14,22 Kč/m³. Výhřevnost zemního plynu je 9,3 kWh/m³. Roční provozní náklady jsou uvedeny v tab. 10.

Plynový kondenzační kotel			
Potřeba	Vyt	4333	kWh
	TV	4676	kWh
	Účinnost	95	%
Spotřeba	Vyt	4561	
	TV	4922	
	Výhřevnost	9,3	kWh/m ³
Spotřeba plynu	VYT	490	m ³
	TV	529	m ³
Cena	1 m ³	14,22	Kč
	VYT	6973	Kč
	TV	7524	Kč
14 497 Kč			

Tab. 10 Roční provozní náklady plynového kondenzačního kotle

7.4 Ekonomické porovnání jednotlivých variant

Celkové porovnání tří zdrojů jsem provedl na základě grafu, ve kterém zobrazuji všechny varianty zdrojů s jejich provozními a pořizovacími náklady. Zároveň zohledním vývoj cen za komodity v závislosti na inflaci. U biomasy předpokládám roční nárůst cen o 3 % ročně, u elektřiny a zemního plynu nárůst o 4 % ročně. Výsledný graf je zobrazen na obr. 4.



Obr. 4 Pořizovací a provozní náklady v horizontu 30 let

8 ZÁVĚR

Cílem této práce, bylo navrhnout systém podlahového vytápění k projektu rodinného domu, navrhnout tři různé zdroje tepla s přihlédnutím k možnostem zásobování komoditami v dané oblasti, stanovit potřebu tepla k provozu systému vytápění a ohřevu teplé vody a určit pořizovací a provozní náklady jednotlivých variant.

Projekt rodinného domu byl postaven z moderních materiálů, jeho celková tepelná ztráta prostupem a větráním s rekuperací vyšla podle normy ČSN EN 12831 [3] cca 4,5 kW. Systém podlahového vytápění byl řešen formou meandrů přichycených pomocí úchytů ke kari síti upevněné k izolačním deskám. Jednotlivé otopné okruhy byly napojeny v jednotlivých patrech k rozdělovačům a byly projektovány na jednotný teplotní spád 33/25 °C. V místnostech 202 a 203 byly otopné plochy doplněny elektrickými otopnými tělesy pro dorovnání tepelné ztráty místností.

V části studie věnované potřebě tepla, jsem stanovil dle normy ČSN EN ISO 13790 [9] solární zisky průhlednými i neprůhlednými konstrukcemi, vnitřní zisky od spotřebičů a osob, potřebu tepla na přípravu teplé vody a potřebu tepla na úhradu tepelné ztráty prostupem a větráním. Roční potřeba tepla na vytápění vyšla 4300 kWh, roční potřeba tepla na přípravu teplé vody vyšla 4700 kWh.

Jako zdroje tepla byly navrženy kotel na biomasu, tepelné čerpadlo a plynový kondenzační kotel. Kotel na biomasu byl vybrán Dakon Dor N 15 Automat s automatickým podavačem a zásobníkem na drcené dřevěné pelety, součástí návrhu je i akumulční nádrž o objemu 500 l a zásobník na teplou vodu o objemu 160 l. Druhým zdrojem tepla bylo zvoleno tepelné čerpadlo vzduch – voda Logatherm WPL6IK s výkonem 6 kW a integrovaným akumulčním zásobníkem na 55 l. A třetím zdrojem byl zvolen plynový kondenzační kotel Logamax plus GB172 – 14 s výkonem 14 kW.

V závěru jsem se věnoval nákladům spojeným s pořízením a provozem jednotlivých variant. Jako nejvýhodnější z hlediska pořizovacích nákladů vyšel na prvním místě plynový kondenzační kotel, na druhém místě kotel na biomasu a nejméně výhodně s téměř dvojnásobnými pořizovacími náklady oproti plynovému kondenzačnímu kotli vyšlo tepelné čerpadlo. Z hlediska nákladů na provoz jednotlivých zdrojů vyšlo nejkonomičtěji tepelné čerpadlo, plynový kondenzační kotel a kotel na biomasu měli více méně dvojnásobné náklady na roční provoz a v porovnání mezi sebou vyšel plynový kondenzační kotel nepatrně lépe. Co se týká porovnání celkových nákladů včetně počáteční investice a ročních nákladů z hlediska dlouhodobého výhledu se nejvíce vyplatí

plynový kondenzační kotel, který se jeví nevýhodný oproti tepelnému čerpadlu po 20 letech provozu a oproti kotli na biomasu se jeví nevýhodně až po 27 letech provozu, obě tyto hodnoty jsou daleko za odhadovanou životností všech zařízení. Z tohoto hlediska je tedy plynový kondenzační kotel nejvíce výhodný. A jeho výhody jsou i oproti ostatním zdrojům v nízké hlučnosti a v celkově nejnížší potřebě prostoru z těchto tří zdrojů. Kotel na biomasu se jeví jako druhý nejvýhodnější s malým rozdílem v pořizovací ceně oproti plynovému kondenzačnímu kotli, ale z hlediska potřebné obsluhy, kvůli doplňování pelet a potřebnému prostoru ke skladování pelet není jeho aplikace příliš výhodná. Třetím ekonomicky nejméně výhodným zdrojem vyšlo tepelné čerpadlo, z hlediska ekologie je ale naopak na prvním místě. Jeho aplikace by se dala uvažovat jedině z tohoto důvodu.

9 SEZNAM LITERATURY

- [1] *Archipelag.cz: Projekt rodinného domu Verona* [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.archipelag.cz/typove-projekty-rodinnych-domu/projekt-rodinneho-domu-verona?Kind=1&Name=VERONA&SearchForm=1>
- [2] ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, říjen 2011
- [3] ČSN EN 12831 *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu*. 2. vyd. Praha: ČNI, březen 2005
- [4] *Firemní podklady Elektrodesign ventilátory s.r.o.* [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/easy-220-ekonovent-rekuperacni-jednotka>
- [5] *Firemní podklady Rehau* [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <https://www.rehau.com/cz-cs/stavebnictv%C3%AD-podnikatelé/vytapeni-a-chlazení>
- [6] VAVŘIČKA, R.: *Model návrhu podlahové otopné plochy – PV 1.1* [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/PV11.html>
- [7] HOJER, O., BAŠTA, J.: *Základy sálavého vytápění*. Praha 2009, Evropský sociální fond Praha & EU. Dostupné z: <http://utp.fs.cvut.cz>
- [8] *Firemní podklady IMI Hydronic Engineering* [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.imi-hydronic.com/cs/produkty-a-eeni/termostaticka-regulace/termostaticke-ventily-a-roubeni/uzaviraci-roubeni/>
- [9] *Firemní podklady Grundfos* [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://cz.grundfos.com>
- [10] ČSN EN ISO 13790 *Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, říjen 2009
- [11] TNI 73 0331 *Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet*. Praha: ÚNMZ, duben 2013
- [12] ČSN 06 0320 *Tepelné soustavy v budovách – Příprava teplé vody – Navrhování a projektování*. 2. vyd. Praha: ČNI, září 2006
- [13] ČSN EN 15316-3-1 *Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy – Část 3-1: Soustavy teplé vody, charakteristiky potřeb (požadavky na odběr vody)*. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, červenec 2010

- [14] *Pásma platnosti vysokého tarifu (VT) a nízkého tarifu (NT)* [online]. ČEZ a. s. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/technicky_dispecink/casy_spinani_ntavt/cezdistribuce_pasmapl atnostintavt_201502.pdf
- [15] *Firemní podklady Dakon* [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://www.dakon.cz/produkty/dor-n-automat-pelety/>
- [16] *Firemní podklady IVAR CS* [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://www.ivarcs.cz/cz/pojistny-ventil-pro-teplou-vodu-ivar-pv-kb>
- [17] *Firemní podklady Buderus* [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.buderus.cz/dokumenty/>
- [18] BAŠTA, J.: Termohydraulický rozdělovač. *TZB – info*. [online] 12. 9. 2000 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/12499-termohydraulicky-rozdelovac>
- [19] BAŠTA, J.: Termohydraulický rozdělovač II. *TZB – info*. [online] 17. 10. 2000 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/345-termohydraulicky-rozdelovac-ii>
- [20] Dřevěné pelety Premium EN Plus A1. *Optimtop.cz*. [online] [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.optimtop.cz/drevene-pelety-premium-enplus-a1-825-kg/praha/>
- [21] Přehled cen elektrické energie. *TZB – info*. [online] [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/14-prehled-cen-elektricke-energie>
- [22] Přehled cen zemního plynu. *TZB – info*. [online] [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/13-prehled-cen-zemniho-plynu>
- [23] BAŠTA, J.: Otopné plochy. Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02365-6
- [24] BAŠTA, J., Vavříčka, R.: Otopné plochy – cvičení. Vydavatelství ČVUT, 2005 ISBN 80-01-03344-9
- [25] BAŠTA, J. a kol.: Výkresová dokumentace ve vytápění – sešit projektanta č. 2. STP, 2001. ISBN 80-02-01465-0
- [26] BAŠTA, J.: Hydraulika a řízení otopných soustav. Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02808-9

10 PŘÍLOHY

Přílohy v tištěné podobě:

- P1 Výkaz výměr – kotel na biomasu
- P2 Výkaz výměr – tepelné čerpadlo
- P3 výkaz výměr – plynový kondenzační kotel

Přílohy v elektronické podobě:

- E1 Tepelné ztráty, zisky, příprava TV, potřeba tepla
- E2 Návrh podlahového vytápění
- E3 Hydraulika, ekonomika
- E4 Technický list větrací jednotky
- E5 Technický list regulačního šroubení
- E6 Technický list kotle na biomasu
- E7 Technický list pojišťovacího ventilu
- E8 Technický list tepelného čerpadla
- E9 Technický list plynového kondenzačního kotle

Výkresová dokumentace:

- | | | |
|----|-------------------------------------|-----------------------------------|
| V1 | Půdorys 1. patra | Výkres: 3-01-01; 3-01-02; 3-01-03 |
| V2 | Půdorys 2. patra | Výkres: 3-02-01 |
| V3 | Schéma zapojení technické místnosti | Výkres: 3-03-01; 3-03-02; 3-03-03 |
| V4 | Rozvinuté schéma | Výkres: 3-04-01; 3-04-02; 3-04-03 |