

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**SYSTÉM VYTÁPĚNÍ VENKOVSKÉHO
RODINNÉHO DOMU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval:

Václav Maleček

Vedoucí práce:

Ing. Miroslav Urban, Ph.D.

2020/2021



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Maleček Jméno: Václav Osobní číslo: 477029
Zadávací katedra: K125 - Katedra technických zařízení budov
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Systém vytápění venkovského rodinného domu

Název bakalářské práce anglicky: Heating system of a country house

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše - Zpracování rešeršní části zaměřené na koncept vytápění venkovského rodinného domu v rozsahu:

- popis objektu a místních podmínek, možností, energetická bilance potřeby tepla objektu
- návrh konceptu variant vytápění objektu na základě místních možností
- schéma řešení jednotlivých variant, specifikace zařízení jednotlivých variant
- posouzení ekonomické proveditelnosti systémů
- vícekritériální analýza a vyhodnocení jednotlivých variant způsobu vytápění objektu

2. Projekt - Na základ rešeršní části bude zpracovaný projekt vytápění v rozsahu:

- výpočet tepelných ztrát,
- návrh zdroje tepla pro vytápění a přípravu teplé vody,
- návrh otopné soustavy

Zpracování výkresové dokumentace a technické zprávy bez výpisu materiálu.

Seznam doporučené literatury:

Bašta, Kabele - Otopné soustavy teplovodní (sešit projektanta č. 1)

Petráš a kol. - Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie

Petrák, J, Petrák, M. - Tepelná čerpadla

Klaus Daniels, Technika budov. Jaga Group, 2003

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Miroslav Urban, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 15.2.2021 Termín odevzdání bakalářské práce: 16.5.2021

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

15.2.2021

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze dne 13. 5. 2021

.....

Václav Maleček

Poděkování

Rád bych poděkoval své rodině za podporu a Ing. Miroslavu Urbanovi, Ph.D. za pomoc, věcné připomínky, ochotu a cenné rady při konzultacích v průběhu vypracování bakalářské práce. Zároveň bych chtěl vyjádřit poděkování Ing. Davidu Böhmovi za poskytnutí podkladů a umožnění zpracování práce pro jeho objekt.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá návrhem systému vytápění venkovského rodinného domu. Práce je rozdělena na rešerši a projekt. V rešerši jsou popsány možné koncepty variant vytápění objektu na základě místních možností. Jsou zpracována jejich schéma, specifikace zařízení a ekonomická proveditelnost. Navržené koncepty variant jsou mezi sebou porovnány dle nákladů, vlivu na životní prostředí, uživatelského komfortu, estetiky a adaptace. Pomocí vícekriteriální analýzy je vybrána nejvhodnější varianta pro daný objekt, a to tepelné čerpadlo země/voda.

Pro zvolenou variantu je následně vypracován projekt vytápění, který obsahuje výpočet teplených ztrát jednotlivých místností, základní energetické výpočty, návrh systému vytápění a otopných ploch, včetně hydraulického vyvážení soustavy a zpracování projektové dokumentace.

Klíčová slova

vytápění, rodinný dům, varianty, vícekriteriální analýza, tepelné čerpadlo, tepelné ztráty

Annotation

The bachelor's thesis deals with the design of a heating system of a rural detached house. The work is divided into a research part and a project part. In the research part, possible concepts of heating variants of the building based on local possibilities are described. Schemes and equipment specifications are included and economic feasibility is evaluated. The designed concept variants are compared to each other according to costs, environmental impact, user comfort, aesthetics and adaptation. Using multi-criteria analysis, the most suitable variant for a given object is selected, namely a ground/water heat pump.

A heating project is subsequently designed for the selected variant, which includes the calculation of heat losses of individual rooms, basic energetic calculations, design of the heating system and heating surfaces, including hydraulic balancing of the system and processing of project documentation.

Keywords

heating, detached house, variants, multi-criteria analysis, heat pump, heat losses

Obsah bakalářské práce

- REŠERŠE
- PROJEKT
- PŘÍLOHA – VÝPOČTY, SCHÉMA, TECHNICKÉ LISTY

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



REŠERŠE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval:

Václav Maleček

Vedoucí práce:

Ing. Miroslav Urban, Ph.D.

2020/2021

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Popis objektu.....	11
2.1	Obecný popis	11
2.2	Popis místních podmínek.....	15
3	Návrh zdroje tepla.....	16
3.1	Místní možnosti provolbu zdroje tepla	16
3.2	Energetická bilance potřeby tepla objektu.....	16
4	Návrh konceptu variant vytápění objektu na základě místních možností.....	17
4.1	Plynový kotel	17
4.2	Tepelná čerpadla	17
4.2.1	Tepelné čerpadlo vzduch/voda	17
4.2.2	Tepelné čerpadlo země-voda.....	18
4.2.3	Tepelné čerpadlo voda/voda.....	19
4.3	Kotle na pevná paliva	19
4.3.1	Kotel na kusové dřevo	20
4.3.2	Kotel na dřevěné pelety	20
4.4	Kachlová kamna	21
5	Schéma řešení jednotlivých variant, specifikace zařízení jednotlivých variant a ekonomická proveditelnost.....	22
5.1	Plynový kotel	23
5.2	Tepelná čerpadla.....	25
5.2.1	Tepelné čerpadlo vzduch/voda	25
5.2.2	Tepelné čerpadlo země/voda	27
5.3	Tepelné čerpadlo voda/voda	29
5.4	Kotle na pevná paliva	31
5.4.1	Kotel na kusové dřevo	31
5.4.2	Kotel na dřevěné pelety	34
6	Vícekritériální analýza a vyhodnocení jednotlivých variant způsobu vytápění objektu.....	37
6.1	Stanovení rozhodovacích kritérií	37
6.1.1	Náklady	38
6.1.2	Vliv na životní prostředí.....	40

6.1.3	Uživatelský komfort	42
6.1.4	Estetika a adaptace zdroje do okolí objektu	42
6.2	Určení důležitosti (váhy) rozhodovacích kritérií	43
6.3	Vyhodnocení variant.....	43
7	Otopná soustava	45
7.1	Návrh otopné soustavy	45
8	Závěr.....	46
9	Literatura a použité zdroje.....	47
10	Seznam obrázků	49
11	Seznam tabulek.....	50

1 Úvod

Ve své bakalářské práci se budu zaměřovat na návrh systému vytápění venkovského rodinného domu v obci Vyskytná nad Jihlavou. Objekt bude procházet přestavbou, jejíž součástí bude realizace nové otopné soustavy včetně pořízení zdroje tepla.

Dnešní doba nabízí mnoho variant zdroje tepla, od kotle spalující fosilní paliva nebo biomasu po zdroj na elektrickou energii. Jeho výběr není vždy jednoduchý a záleží na mnoha faktorech. Na počátku jsou rozhodující místní podmínky a možnosti. Dále je možné řešit náklady a konkrétní preference. Vhodně zvolený zdroj tepla nám může ušetřit hodně peněz, času a může být také šetrný k životnímu prostředí.

Okolí objektu nabízí řadu možností pro zdroj vytápění jako je plynový kotel, tepelná čerpadla nebo kotle spalující biomasu. Proto bych chtěl v rámci rešerše postupně představit možné koncepty těchto variant s ohledem na místní podmínky. U jednotlivých variant bych chtěl vypracovat jejich schéma a uvést specifikaci zařízení. Na základě toho stanovím jejich pořizovací a provozní náklady a posoudím ekonomickou proveditelnost těchto systémů. Pro možnost porovnání a výběru bych si chtěl stanovit rozhodovací kritéria. Následně za pomoci vícekritériální analýzy, která se využívá při rozhodování, zvolím pro daný objekt tu nejvhodnější variantu.

V projektové části bych chtěl pro tuto variantu zpracovat podrobný projekt vytápění, kdy na základě vypočtených tepelných ztrát navrhnu konkrétní otopnou soustavu a její nutné součásti.

2 Popis objektu

V této kapitole se budu věnovat popisu objektu z hlediska polohy, uspořádání a konstrukcí. Dále poté popisu místních podmínek.

2.1 Obecný popis

Jedná se o budoucí přestavbu budovy bývalého mlýna na rodinný dům. Součástí objektu je v nedávné době realizovaná dřevěná přístavba kanceláře v místě staré pily na severozápadní straně. Objekt s číslem popisným 35 se nachází v obci Vyskytná nad Jihlavou v okrese Jihlava v Kraji Vysočina.



Obr. 1: Pohled na jihozápadní stranu objektu (současný stav)



Obr. 2: Pohled na přístavbu kanceláře (současný stav)



Obr. 4: Pohled na objekt (současný stav)



Obr. 3: Pohled na jihovýchodní stranu objektu (současný stav)

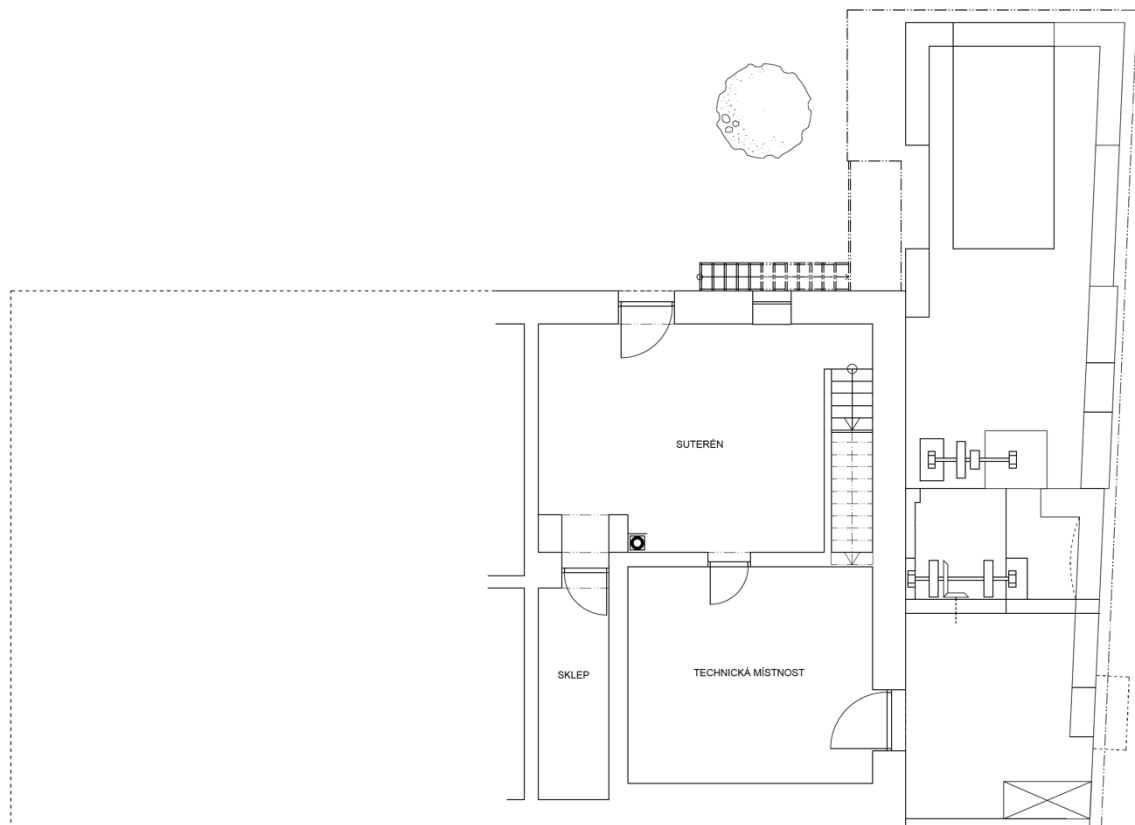
Budova bývalého mlýna má obdélníkový půdorys s rozměry 11,4 x 19 m a je zastřešena sedlovou střechou s valbou na jedné straně. Má dvě nadzemní podlaží a je částečně podsklepená. Svislé nosné konstrukce jsou ze smíšeného zdiva, stropní konstrukce jsou tvořeny dřevěnými trámovými stropy a stropy povalovými. Po přestavbě se v prvním podzemním podlaží bude nacházet suterén, technická místnost a sklep. Hlavní vstup do domu bude situován na severovýchodní straně objektu, na prvním nadzemním podlaží, kde dále bude předsíň, hala, dětský pokoj, koupelna, WC, schodiště

do suterénu, obývací pokoj se schodištěm a průhledem do druhého nadzemního podlaží, kuchyň s jídelnou a hostinský pokoj. Na tomto podlaží také bude samostatná bytová jednotka s vlastním vchodem, skládající se z předsíně, koupelny, WC a kuchyní s obývacím pokojem. V druhém nadzemním podlaží bude galerie, ložnice, šatna s prádelnou a koupelna s WC.

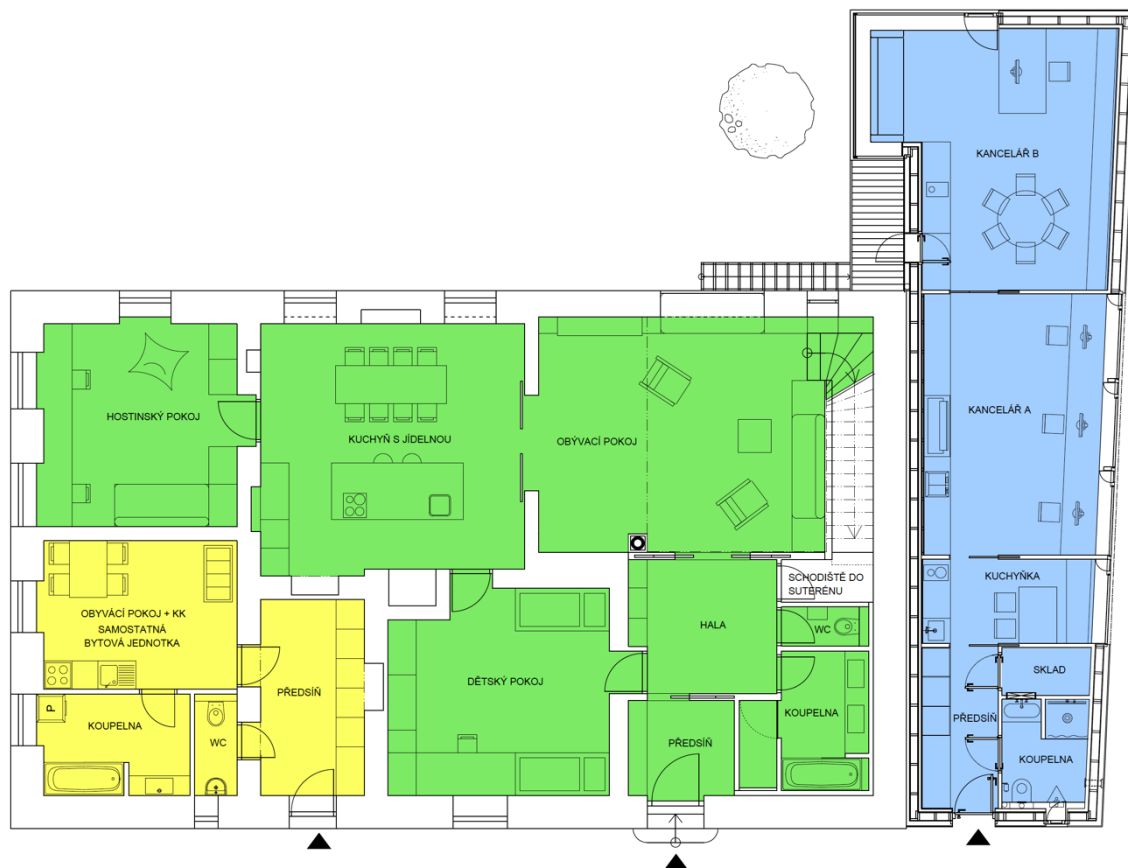
Nově přistavená část, by měla sloužit jako provozovna majitele objektu. Je tvořena předsíní, koupelnou s WC, malou kuchyní, dvěma kanceláři a malým skladem. Přístavba má zastavěnou plochu 82,3 m² a je zastřešena plochou zelenou střechou sloužící také jako terasa. Hlavní vstup je ze stejné strany jako u hlavní budovy. Nosné konstrukce (vodorovné i svislé) jsou dřevěné se základním stavebním modulem 625 mm. Základním prvkem nosné konstrukce podlahy je trám 60/240, svislých konstrukcí fošna 40/160 a stropní desky trám 80/240. Samotná dřevostavba stojí na železobetonovém věnci uloženém na kamenném zdivu.

Skladby jednotlivých konstrukcí a jejich součinitel prostupu tepla jsou uvedeny v *Příloze - 1 Výpočet tepelných ztrát*.

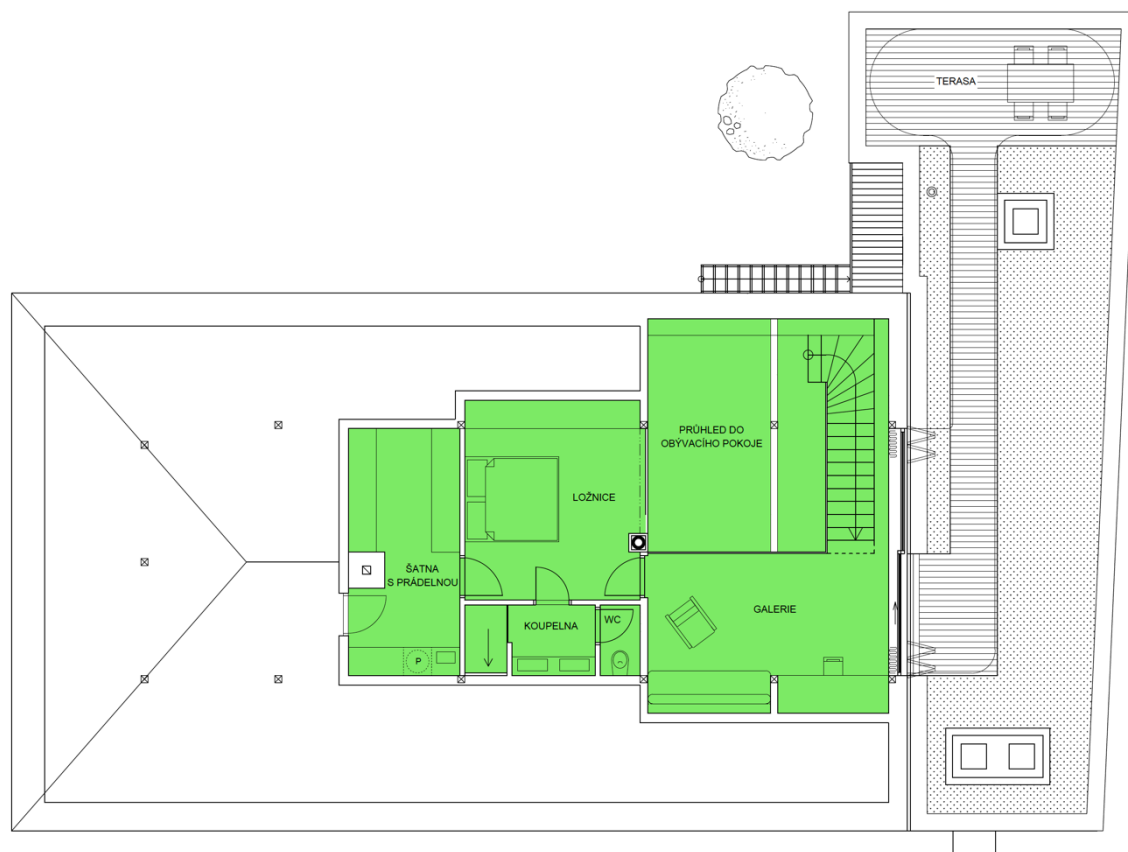
Objekt bude rozdělen na tři provozní celky: rodinný dům, samostatná bytová jednotka, přístavba. Na ty bude reagovat otopná soustava, které bude věnována samostatná kapitola.



Obr. 5: Půdorys 1.PP (nový stav)



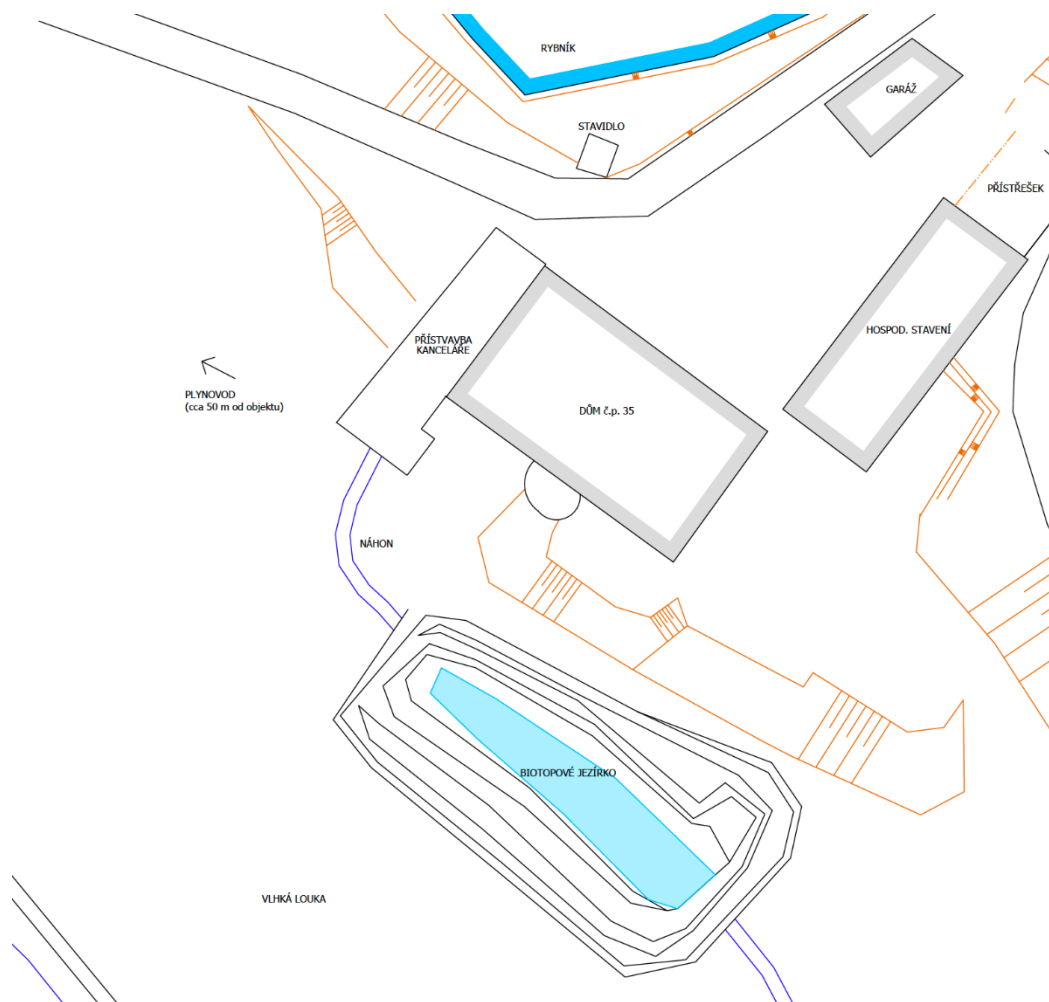
Obr. 6: Půdorys 1.NP (nový stav)



Obr. 7: Půdorys 2.NP (nový stav)

2.2 Popis místních podmínek

Objekt se nachází na skalnatém podloží v blízkosti řeky Jihlavy. Od ní je oddělen velkou loukou, která je z důvodu vodního toku trvale vlhká. Jelikož se jedná o budovu bývalého mlýna, je vedle objektu náhon. Ten je napájen nedalekým rybníkem a pod objektem vtéká do biotopového jezírka.



Obr. 8: Situace

Z hlediska klimatických údajů leží objekt v oblasti Jihlava. Pro kterou jsou dány dle ČSN EN 12 831-1 následující údaje:

- nadmořská výška: 516 m. n. m.
- venkovní výpočtová teplota: -15 °C
- venkovní teplota pro zahájení vytápění: 13 °C
- průměrná venkovní teplota za otopné období: 3,5 °C
- počet dnů otopného období: 257 dní

3 Návrh zdroje tepla

3.1 Místní možnosti provolbu zdroje tepla

Okolí objektu nabízí řadu zajímavých možností.

Je zde možné použít:

- plynový kotel - plynovod vede poblíž objektu
- tepelné čerpadlo ve variantách:
 - vzduch/voda - lze téměř u každého objektu
 - země/voda - vhodné při umístění zemních kolektorů na blízké louce
 - voda/voda - vhodné při využití vody v náhonu bývalého mlýna
- elektrokotel - lze, ale jako samostatný zdroj neekonomické, proto pouze jako záložní zdroj při nízkých teplotách
- kotel na kusové dřevo nebo pelety - majitel objektu vlastní firmu zabývající se dřevostavbami, je tedy možné využít dřevěný odpad

Podrobnější hodnocení jednotlivých variant bude uvedeno dále.

3.2 Energetická bilance potřeby tepla objektu

Výpočet tepelných ztrát byl proveden dle ČSN EN 12831-1 a je podrobně popsán v *Příloze - 1 Výpočet tepelných ztrát*.

Výsledná tepelná ztráta objektu byla stanovena na **17 202 W**.

Pro výpočet roční potřeby tepla na vytápění byla použita denostupňová metoda, která je společně s ostatními výpočty podrobně popsána v *Příloze - 2 Základní energetické výpočty*.

Roční potřeba tepla na vytápění:	38,67 MWh/rok
Roční potřeba tepla na přípravu teplé vody:	7,17 MWh/rok
Celková roční potřeba tepla na vytápění a ohřev teplé vody:	45,84 MWh/rok
Potřebný výkon pro vytápění a ohřev teplé vody:	17,20 kW

4 Návrh konceptu variant vytápění objektu na základě místních možností

V této části na základě výše uvedených místních možností postupně navrhnu možné koncepty variant vytápění. Návrh se bude týkat pouze částí po rozdělovač-sběrač. Otopná soustava bude stejná pro všechny varianty a bude detailněji popsána v samostatné kapitole. Ohřev teplé vody je řešen centrálně pomocí nepřímotopného zásobníku ACV Smart Line 210 o objemu 164 l [5]. U varianty s kotlem na kusové dřevo a s kotlem na dřevěné pelety je volen nepřímotopný zásobník ACV Smart 210 Line E [6] s instalovanou elektrickou topnou tyčí pro ohřev teplé vody mimo topnou sezónu.

4.1 Plynový kotel

Pro první variantu je jako zdroj tepla zvolen plynový kondenzační kotel. Ten je možné použít díky plynovodu poblíž objektu. Nutné je ale vybudování připojení objektu k plynovodní přípojce. Dále je potřeba postavit komín pro odvod spalin. Podle potřebného výkonu pro vytápění a ohřev teplé vody je vybrán Kotel Bosh Condens GC 9000iW 20 E o výkonu 20 kW [7]. Kotel je umístěn v suterénu. Z důvodu obavy možného nasávání částic a zplodin kouře z druhého komínu, na který by mohly být napojeny kachlová kamna v 1. NP, si bude kotel odebírat vzduch pro spalování z místnosti (B23). Do místnosti bude přiváděn z exteriéru větracím otvorem. Ostatní části soustavy, jako expanzní nádoba Reflex NG 25 [8], zásobník teplé vody a rozdělovač-sběrač HV 60-125-3 [9], jsou v technické místnosti.

4.2 Tepelná čerpadla

Místní podmínky umožňují použít tři varianty tepelného čerpadla.

4.2.1 Tepelné čerpadlo vzduch/voda

Tato varianta využívá nízkopotenciální teplo z okolního vzduchu. Je to typ tepelného čerpadla, který je sice nejméně náročný na instalaci, ale zato pracuje s nejnižším topným faktorem. Ten nám udává jeho účinnost a je dán poměrem mezi tepelným výkonem a elektrickým příkonem čerpadla.

Zde je navrženo tepelné čerpadlo NIBE F2040-16 [10] o výkonu 12,5 kW. Jelikož objekt využívá maximálního výkonu tepelného zdroje jen několik dní v roce, není nutné tepelné čerpadlo dimenzovat na celý potřebný výkon. Zde pokrývá 73 %. Díky tomu jsou nižší pořizovací náklady a nižší náklady na provoz. Zbytek energie je v případě potřeby dodáván přídatným (bivalentním) zdrojem tepla. Zde je proto zvoleno elektrický topné těleso TJ 2“ HP o výkonu 9 kW [11]. Z důvodu modulace možného nadbytku výkonu oproti aktuální potřebě je součástí návrhu akumulátor IVT BC 300 o objemu 300 l [12].

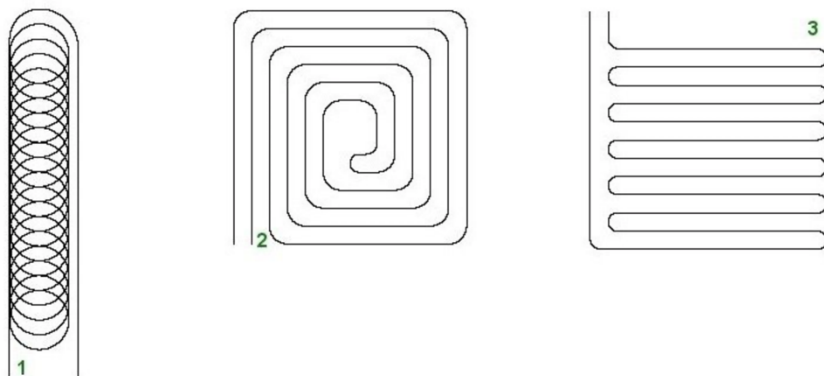
Díky akumulaci dochází k omezení počet startů tepelného čerpadla a zamezení tzv. cyklování. To má za následek delší životnost tepelného čerpadla. Tepelné čerpadlo je umístěno v exteriéru na severozápadní straně objektu a je napojeno na bivaletní zdroj v technické místnosti. Tam je dále umístěn akumulátor, zásobník teplé vody, expanzní nádoba Reflex NG 35 [8] a rozdělovač/sběrač HV 60-125-3 [9].

4.2.2 Tepelné čerpadlo země-voda

U této varianty se využívá odebrané teplo ze země. To lze obecně realizovat buď horizontálními zemními plošnými kolektory, nebo svislými hlubinnými vrtly. Zemní kolektory mají sice oproti vrtům nižší pořizovací náklady, ale zato zabírají velkou plochu, která nemůže být nijak zastavěna ani osázena hluboce kořenící zelení. To může být problém v případě malého pozemku. Zde z důvodů skály pod objektem nejsou vrtly možné. V blízkosti je, ale k dispozici velká louka, která umožňuje umístění plošného kolektoru, i přes následné omezení využívání.

Zemní kolektor je tvořen plastovým potrubím naplněným nemrznoucí směsí uloženým pod povrchem v hloubce 1,2 m. Tvar uložení ovlivňuje čerpání energie a je podmíněn možným prostorem a množstvím zemních prací. Spirálové uložení je použitelné při prostorovém omezení a vzhledem k vyššímu podchlazování menší plochy se hodí pouze do sušších půd. Uložení do meandrů ideálně rozloží čerpání energie, kdy je nejstudenější potrubí ohříváno nejteplejším, ale je vhodné spíše při plošné skrývce. Zde je zvoleno klasické uložení, které rovnoměrně čerpá energii z plochy a není tak náročné na zemní práce, protože je ukládáno pouze do drážek s rozstupem 1 m. Pro dosažení potřebného výkonu je pro vlhkou zeminu potřebná plocha 580 m², na kterou se umístí tři smyčky. Ty jsou ve sběrné jímce napojené na rozdělovač/sběrač a ten na potrubí z tepelného čerpadla.

Pro tuto variantu je vybráno tepelné čerpadlo IVT PremiumLine EQ E13 [13] o výkonu 12,1 kW s vestavěným elektrokotel o výkonu 9 kW. Samotné tepelné čerpadlo opět nepokrývá celý potřebný výkon, ale pouze 70 %. Soustava je doplněna o akumulátor IVT BC 300 [12] a je společně se zásobníkem teplé vody, expanzní nádobou Reflex NG 35 [8] a rozdělovač/sběrač HV 60-125-3 [9] umístěna v technické místnosti.



Obr. 9: Možné tvary uložení zemního kolektoru: 1 - spirálové, 2 - do meandrů, 3 - klasické

4.2.3 Tepelné čerpadlo voda/voda

Tato varianta tepelného čerpadla je závislá na přítomnosti podzemní nebo povrchové vody, a proto není u objektů moc obvyklá. Zde je zvolena, díky možnosti využití vody v náhonu, který je v těsné blízkosti objektu, neboť se jedná o budovu bývalého mlýna. Možné jsou zde dva způsoby získání nízkopotenciálního tepla. Buď přes výměník umístěný v proudící vodě nebo čerpáním vody přímo do tepelného čerpadla. Při čerpání mohou nastávat problémy s čistotou vody a zanášením filtrů a výměníku. Proto je zde zvolen druhý způsob.

Kolektor z PE potrubí je uložen do proudící vody na upravené dno náhonu, aby bylo možné jeho bezpečně ukotvení. Jelikož se jedná o stejný princip jako u tepelného čerpadla země/voda, lze pro tuto variantu použít i stejné tepelné čerpadlo IVT PremiumLine EQ E13 [13] o výkonu 12,8 kW s vestavěným elektrokotel o výkonu 9 kW. Rozdíl je ale ve tvoru kolektoru, kdy je možné díky proudící vodě, která zajišťuje stálou teplotu, umístit potrubí těsně vedle sebe. Do náhonu je potřeba umístit potrubí v několika smyčkách o celkové délce 580 m. Soustava je jako u předešlé varianty doplněna o akumulátor IVT BC 300 [12] a je společně se zásobníkem teplé vody, expanzní nádobou Reflex NG 35 [8] a rozdělovač/sběrač HV 60-125-3 [9] umístěna v technické místnosti.



Obr. 10: Ukázka provedení vodního kolektoru v náhonu, zdroj IVT

4.3 Kotle na pevná paliva

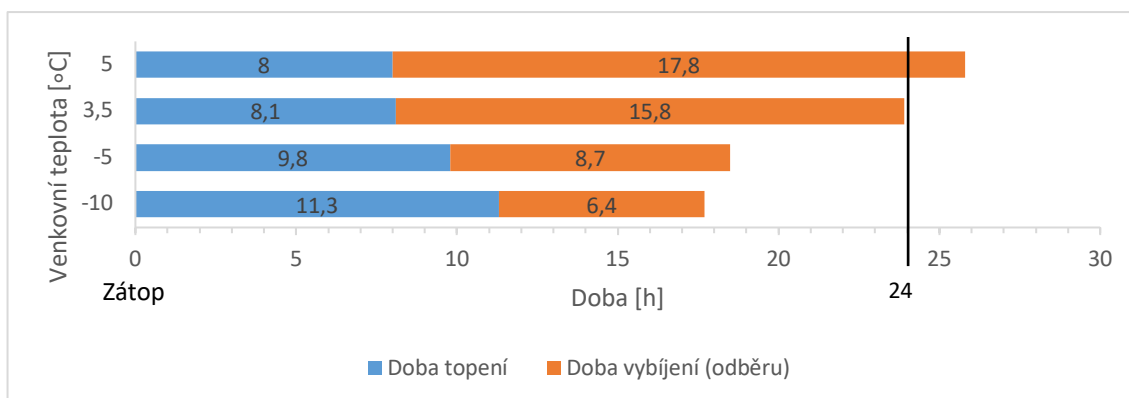
Kotle na tuhá paliva představují klasický zdroj tepla pro vesnické domy. Jejich rozšíření je dáno hlavně díky nízkým nebo při využívání vlastních zdrojů téměř nulovým cenám za palivo do těchto kotlů. Nevýhodou je ale jejich nutná obsluha a skladování paliva. Jelikož majitel objektu vlastní firmu na dřevostavby a mohl by využívat dřevěného odpadu, jsou zde uvedeny i návrhy s těmito zdroji. Při výběru kotle na tuhá paliva je nutné se dívat na emisní třídu, která specifikuje jejich účinnost a míru emisí podle normy ČSN

EN 303-5. Důvodem je to, že od roku 2022 budou moci být v provozu jen ty, které splňující alespoň 3. emisní třídu. Zde jsem volil kotle s emisní třídou 5 a splňující Ecodesign. Z důvodů snahy o ochranu životního prostředí a mále produkci emisí zde není uveden kotel na uhlí, ale pouze kotle spalující obnovitelné zdroje (kusové dřevo, dřevěné pelety).

4.3.1 Kotel na kusové dřevo

Z důvodu snížení nároků na obsluhu a využití účinnosti kotle je navržen kotel o vyšším výkonu a akumulční nádrže. Konkrétně zplynovací kotel na kusové dřevo Atmos DC32GS [14] o výkonu 32 kW a tři akumulční nádrže DRAŽICE NAD 1000 [15] o celkovém objemu 3 m³. Ty budou pro případ, kdy majitel nebude moci zatopit, vybaveny elektrickými topnými vložkami. Pro odvod spalin je nutné vybudovat komín. Kotel je umístěn v suterénu a vzduch pro spalování si bude odebírá z místnosti, kam je přiváděn z exteriéru větracím otvorem. Ostatní zařízení, tj. akumulční nádrže, expanzní nádoba Reflex 300 [8], zásobník teplé vody a rozdělovač/sběrač HV 60-125-4 [16] jsou umístěny v technické místnosti.

Při průměrné venkovní teplotě 3,5 °C by měla být během jednoho cyklu topení cca 8,1 hodin voda v nádobách nahřátá na teplotu okolo 85 °C a poté by měla sloužit k dodávce tepla pro vytápění a ohřev teplé vody po dobu 15,8 hodin. Celková doba cyklu tedy činí přibližně 24 hodin. Tato hodnota je pouze orientační a může se během otopného období měnit, protože závisí na venkovní teplotě a potřebě tepla na ohřev teplé vody.



Obr. 11: Graf dob topení a odběrů pro různé venkovní teploty sestavený pomocí nástroje pro stanovení objemu expanzní nádoby [17]

4.3.2 Kotel na dřevěné pelety

U druhé varianty kotle na pevná paliva je zvolen kotel na dřevěné pelety. Ten má výhodu oproti předchozí variantě v menších nárocích na obsluhu, kdy provoz funguje automaticky. Zabudovaný hořák se sám zapálí a za pomoci šnekového dopravníku odebírá pelety ze zásobníku. Je tedy nutné pouze jednou za čas doplnit pelety do zásobníku, vyčistit spalovací komůrku a vybrat popel. Je zde zvolen kotel ATMOS D21P [18] o výkonu 19,5 kW s akumulací o objemu 500 l, pro lepší modulaci výkonu. Pelety

jsou odebírány ze zásobníku o objemu 1000 l [19], který je umístěn v technické místnosti společně s akumulací nádrží DRAŽICE NAD 500 [20], expanzní nádobou HG 80 [8], zásobníkem teplé vody a rozdělovačem/sběračem HV 60-125-4 [16]. Do zásobníku se vejde 650 kg pelet. Ostatní pelety proto budou uskladněny v pytlech po 15 kg. Pro odvod spalin je nutné vybudovat komín. Kotel, umístěný v suterénu, si bude odebírá vzduch pro spalování z místnosti, kam je přiváděn z exteriéru větracím otvorem.

4.4 Kachlová kamna

U objektu majitel počítá s pořízením kachlových kamen. V případě, že budou vybaveny výměníkem, je lze připojit k topné soustavě jako doplňkový zdroj. Díky tomu bude moci využívat přebytečné teplo. Při kombinaci s tepelnými čerpadly bude pro odvod spalin nutné vybudovat komín. V případě kombinace se spalovacími zdroji bude rovnou postaven komín dvouprůduchový.

5 Schéma řešení jednotlivých variant, specifikace zařízení jednotlivých variant a ekonomická proveditelnost

V této kapitole se zaměřím na schéma zapojení jednotlivých zdrojů a nutných součástí. Dále uvedu specifikace zdroje a pořizovací a provozní náklady pro jednotlivé varianty.

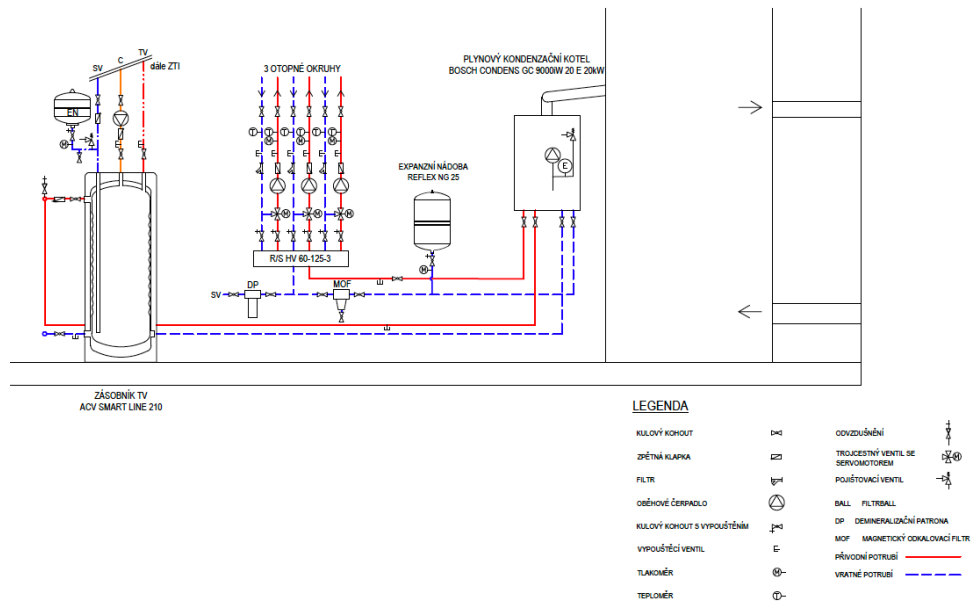
Předpoklady

Funkční schéma zapojení a půdorysy jednotlivých variant jsou ve větším měřítku součástí *Přílohy - 11 Funkční schéma zapojení a půdorysy variant zdrojů tepla*.

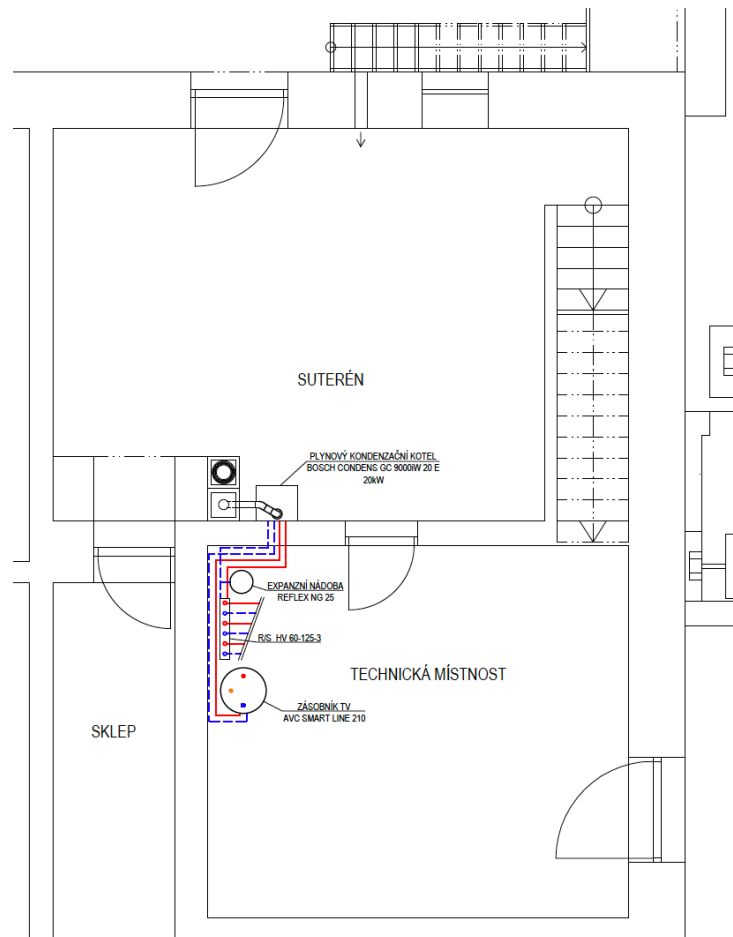
Ceny za instalované zařízení jsou převzaty ze stránek výrobců. Cena za potrubí, armatury a montáž byla odhadnuta jako 30 % z ceny instalovaného zařízení. Další položky, jako pravidelné kontroly, revize, spuštění, přívod a rozvod plynu byly stanoveny odborným odhadem na základě cenových nabídek realizačních firem. Výpočet cen spotřebované energie/paliva je proveden na základě aktuálního ceníku.

U variant, které potřebují odvod spalin je pro možnost porovnání uvažováno pouze s cenou za jednopřůduchový komín, i když ve skutečnosti zde bude komín dvoupřůduchový.

5.1 Plynový kotel



Obr. 12: Funkční schéma zapojení varianty s plynovým kotlem



Obr. 13: Půdorys varianty s plynovým kotlem

Kondenzační kotel Bosch Condens GC 9000iW 20 E

- výkon: 2,8 - 20 kW
- sezonní energetická účinnost vytápění $\eta_s = 94 \%$
- třída energetické účinnosti: A
- třída NO_x: 5
- hladina akustického výkonu: 42 dB

Tab. 1: Pořizovací náklady pro variantu s plynovým kotlem

Plynový kotel - pořizovací náklady	
Název	Cena [Kč]
Plynový kotel Bosh Condens GC 9000iW 20E	51 657
Spuštění kotle	3 000
Výchozí revize plynového zařízení	2 000
Prívod plynu (přípojka + 50 m)	100 000
Rozvod plynu	5 000
Komín CIKO Gas	30 906
Revize spalinových cest	2 000
Zásobník TV ACV Smart Line 210	26 795
Rozdělovač/sběrač HV 60-125-3	5 175
Expanzní nádoba Reflex NG 25	966
Potrubí, armatury a montáž	34 650
Celkem	262 149

Cena spotřebovaného plynu

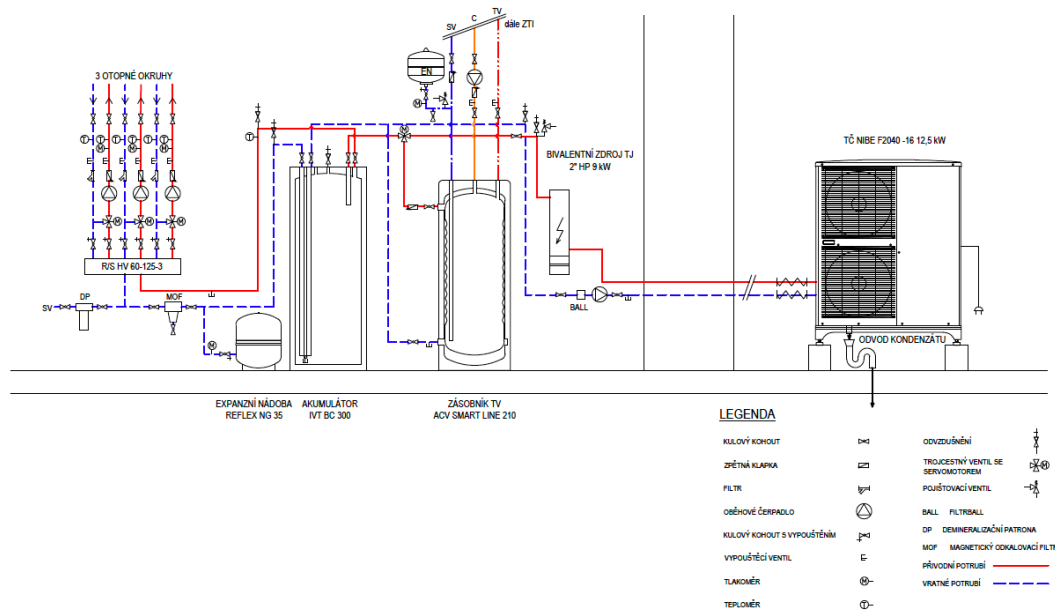
- roční potřeba tepla na vytápění a ohřev teplé vody: $Q_R = 45,84$ MWh/rok
- výhřevnost plynu: $H = 33,9$ MJ/m³ = 9,42 kWh/m³
- roční spotřeba plynu: $B_r = \frac{Q_R}{\eta \cdot H} = \frac{45840}{0,94 \cdot 9,42} = 5 177$ m³
- cena za m³: 11,373 Kč + stálý měsíční plat za přistavenou kapacitu a dodávku zemního plynu 515 Kč (zdroj ceník ČEZ Prodej, a.s. [21])
- cena celkem $11,373 \cdot 5 177 + 515 \cdot 12 = 65 058$ Kč/rok

Tab. 2: Provozní náklady pro variantu s plynovým kotlem

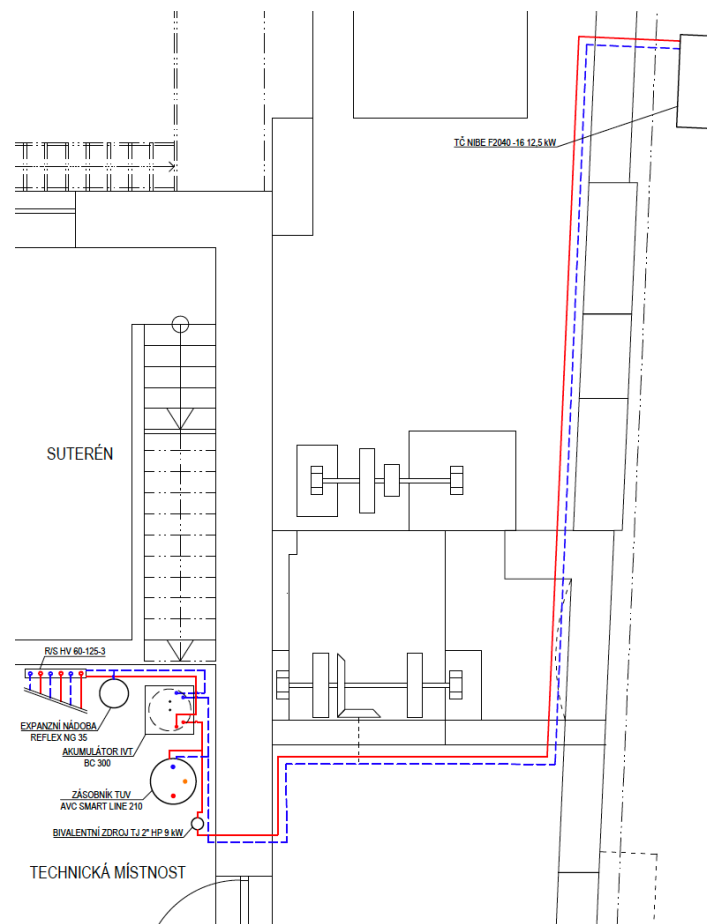
Plynový kotel - provozní náklady	
Název	Cena [Kč/rok]
Cena spotřebovaného plynu	65 058
Revizní prohlídka (1x za 3 roky) - 1 500 Kč	500
Servisní prohlídka (1x za rok)	1 000
Čištění a kontrola spalinových cest (1x za rok)	1 000
Celkem za rok	67 558

5.2 Tepelná čerpadla

5.2.1 Tepelné čerpadlo vzduch/voda



Obr. 14: Funkční schéma zapojení varianty s tepelným čerpadlem vzduch/voda



Obr. 15: Půdorys varianty s tepelným čerpadlem vzduch/voda

Tepelných čerpadel NIBE F2040-16

- topný výkon při -7 °C/55 °C: 12,5 kW
- topný faktor při - 7 °C/55 °C: 2,01
- energetická třída: A +++
- hladina akustického výkonu: 61 dB

Bivalentní zdroj TJ 2" HP

- výkon 9 kW

Tab. 3: Pořizovací náklady pro variantu s tepelným čerpadlem vzduch/voda

Tepelné čerpadlo vzduch/voda - pořizovací náklady	
Název	Cena [Kč]
Tepelné čerpadlo NIBE F2040-16	235 175
Bivalentní zdroj TJ 2" HP 9kW	9 200
Spuštění čerpadla	3 000
Akumulátor IVT BC 300	20 700
Zásobník TV ACV Smart Line 210	26 795
Rozdělovač/sběrač HV 60-125-3	5 175
Expanzní nádoba Reflex NG 35	1 047
Potrubí, armatury a montáž	89 427
Celkem	390 519

Cena spotřebované elektrické energie

- roční potřeba tepla na vytápění a ohřev teplé vody: $Q_R = 45,84$ MWh/rok
- předpoklad: 94% roční potřeby pokryje tepelné čerpadlo, 6% bivalentní zdroj
- uvažovaný sezónní topný faktor tepelného čerpadla: $SCOP = 2,9$
- roční spotřeba elektrické energie:

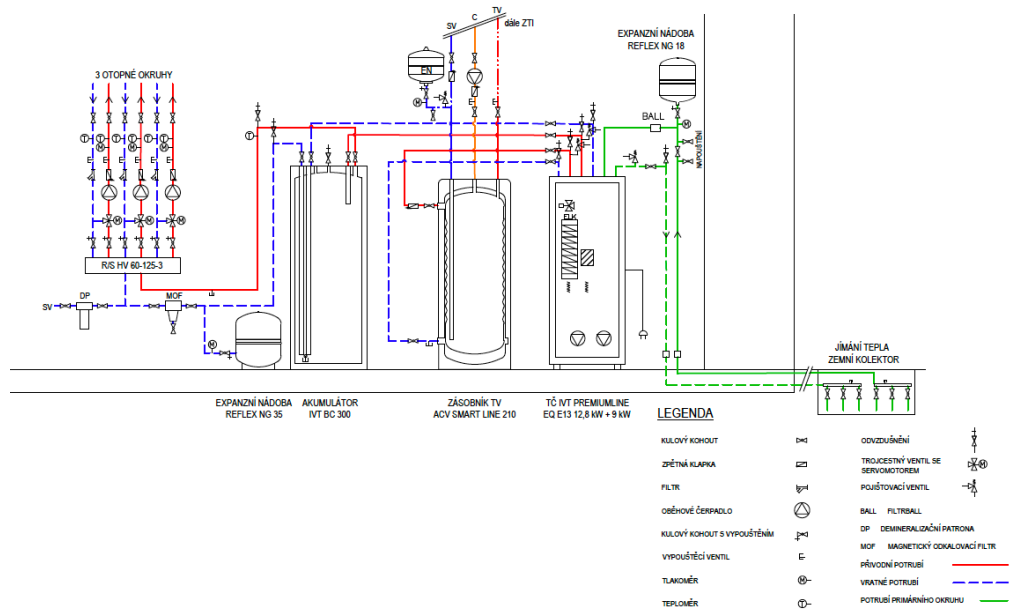
$$B_r = \frac{0,94 \cdot Q_R}{SCOP} + 0,06 \cdot Q_R = \frac{0,94 \cdot 45\,840}{2,9} + 0,06 \cdot 45\,840 = 17\,609 \text{ kWh}$$

- cena elektrické energie: 2,207 Kč/kWh (sazba elektrické energie D57d, nízký tarif) + stálý měsíční plat za pronájem hlavního jističe, činnost operátora trhu a dodávku 356 Kč + roční platba na podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů 10 547 Kč (zdroj ceník ČEZ Prodej, a.s. [22])
- cena celkem: $2,207 \cdot 17\,609 + 356 \cdot 12 + 10\,547 = 53\,682$ Kč/rok

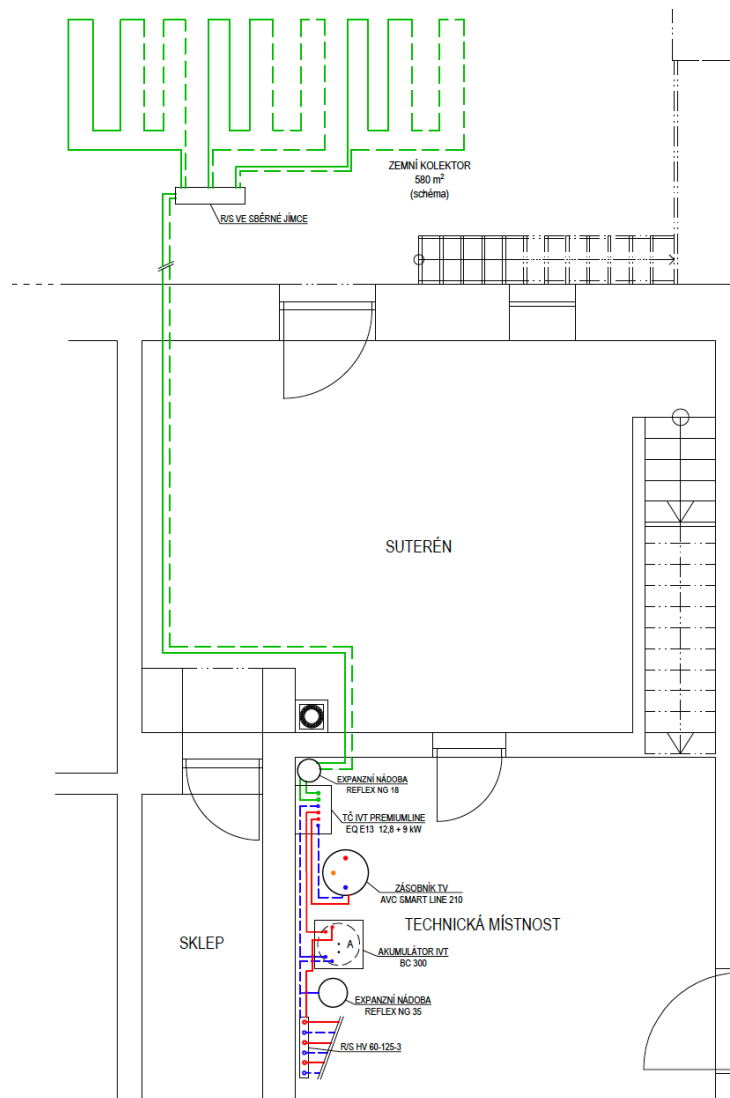
Tab. 4: Provozní náklady pro variantu s tepelným čerpadlem vzduch/voda

Tepelné čerpadlo vzduch/voda - provozní náklady	
Název	Cena [Kč/rok]
Cena spotřebované el. energie	53 682
Servisní prohlídka a údržba (1x za rok)	1 500
Celkem za rok	55 182

5.2.2 Tepelné čerpadlo země/voda



Obr. 16: Funkční schéma zapojení varianty s tepelným čerpadlem země/voda



Obr. 17: Půdorys varianty s tepelným čerpadlem země/voda

Tepelné čerpadlo IVT PremiumLine EQ E13

- topný výkon při 0 °C/55 °C: 12,1 kW
- topný faktor při 0 °C/55 °C: 2,9
- energetická třída: A +++
- hladina akustického výkonu: 49 dB (A)
- vestavěný elektrokotel o výkonu 9 kW

Tab. 5: Pořizovací náklady pro variantu s tepelným čerpadlem země/voda

Tepelné čerpadlo země/voda - pořizovací náklady	
Název	Cena [Kč]
Tepelné čerpadlo IVT PREMIUMLINE EQ E13	234 600
Spuštění čerpadla	3 000
Zemní kolektor 580 +100 m (150 Kč/m)	102 000
Akumulátor IVT BC 300	20 700
Zásobník TV ACV Smart Line 210	26 795
Rozdělovač/sběrač HV 60-125-3	5 175
Expanzní nádoba Reflex NG 35	1 047
Expanzní nádoba Reflex NG 18	909
Potrubí, armatury a montáž	86 768
Celkem	480 993

Cena spotřebované elektrické energie

- roční potřeba tepla na vytápění a ohřev teplé vody: $Q_R = 45,84$ MWh/rok
- předpoklad: 93% roční potřeby pokryje tepelné čerpadlo, 7% elektrický kotel
- uvažovaný sezónní topný faktor tepelného čerpadla: $SCOP = 3,35$
- roční spotřeba elektrické energie:

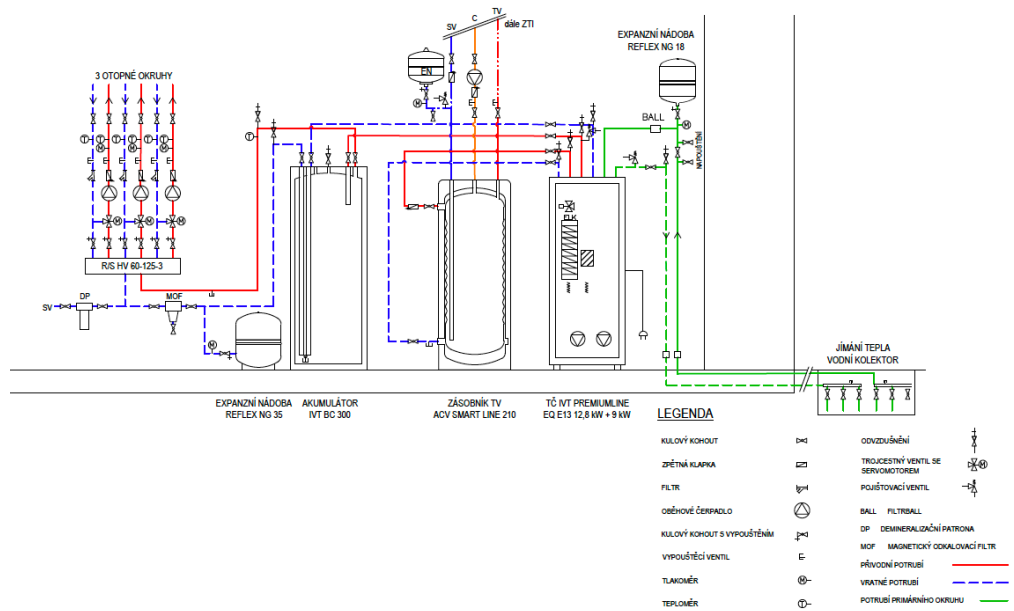
$$B_r = \frac{0,93 \cdot Q_R}{SCOP} + 0,07 \cdot Q_R = \frac{0,93 \cdot 45\,840}{3,35} + 0,07 \cdot 45\,840 = 15\,935 \text{ kWh}$$

- cena elektrické energie: 2,207 Kč/kWh (sazba elektrické energie D57d, nízký tarif) + stálý měsíční plat za pronájem hlavního jističe, činnost operátora trhu a dodávku 356 Kč + roční platba na podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů 9 544 Kč (zdroj ceník ČEZ Prodej, a.s. [22])
- cena celkem: $2,207 \cdot 15\,935 + 356 \cdot 12 + 9\,544 = 48\,985$ Kč/rok

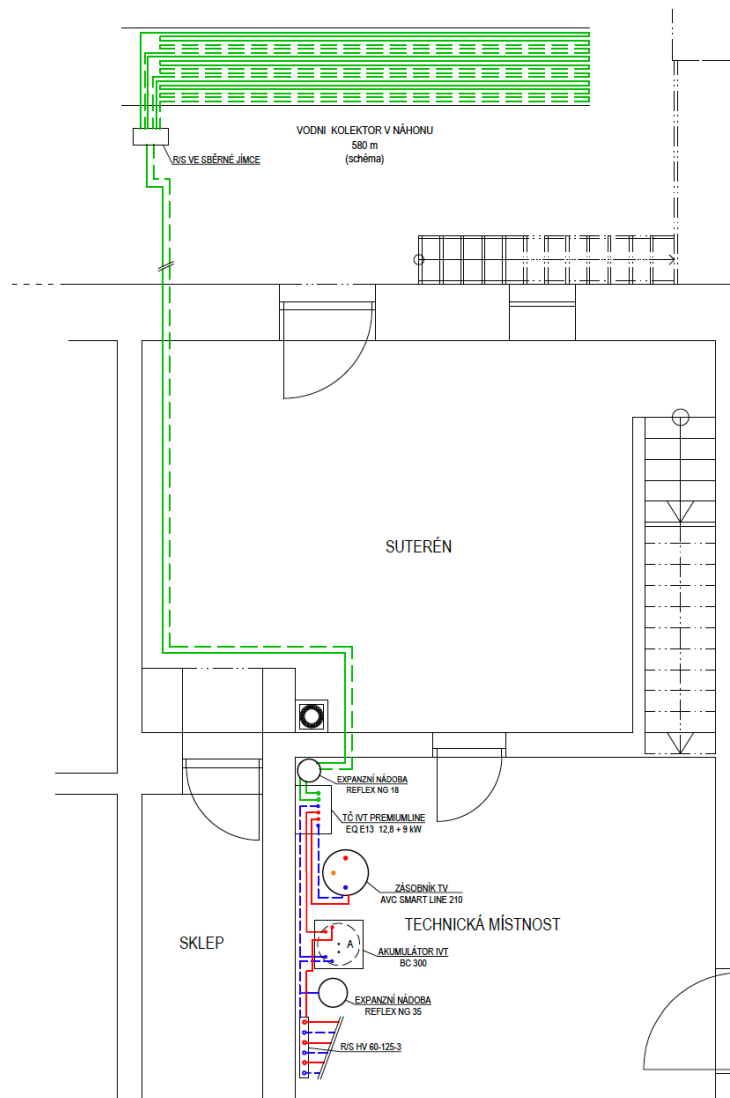
Tab. 6: Provozní náklady pro variantu s tepelným čerpadlem země/voda

Tepelné čerpadlo země/voda - provozní náklady	
Název	Cena [Kč/rok]
Cena spotřebované el. energie	48 985
Servisní prohlídka a údržba (1x za rok)	1 500
Celkem za rok	50 485

5.3 Tepelné čerpadlo voda/voda



Obr. 18: Funkční schéma zapojení varianty s tepelným čerpadlem voda/voda



Obr. 19: Půdorys varianty s tepelným čerpadlem voda/voda

Tepelné čerpadlo IVT PremiumLine EQ E13

- topný výkon při 2 °C/55 °C: 12,8 kW
- topný faktor při 2 °C/55 °C: 3,16
- energetická třída: A +++
- hladina akustického výkonu: 49 dB (A)
- vestavěný elektrokotel o výkonu 9 kW

Tab. 7: Pořizovací náklady pro variantu s tepelným čerpadlem voda/voda

Tepelné čerpadlo voda/voda - pořizovací náklady	
Název	Cena [Kč]
Tepelné čerpadlo IVT PREMIUMLINE EQ E13	234 600
Spuštění čerpadla	3 000
Vodní kolektor 580 + 30 m (90 Kč/m)	54 900
Akumulátor IVT BC 300	20 700
Zásobník TV ACV Smart Line 210	26 795
Rozdělovač/sběrač HV 60-125-3	5 175
Expanzní nádoba Reflex NG 35	1 047
Expanzní nádoba Reflex NG 18	909
Potrubí, armatury a montáž	86 768
Celkem	433 893

Cena spotřebované elektrické energie

- roční potřeba tepla na vytápění a ohřev teplé vody: $Q_R = 45,84$ MWh/rok
- předpoklad: 94% roční potřeby pokryje tepelné čerpadlo, 6% elektrický kotel
- uvažovaný sezónní topný faktor tepelného čerpadla: $SCOP = 3,20$
- roční spotřeba elektrické energie:

$$B_r = \frac{0,94 \cdot Q_R}{SCOP} + 0,06 \cdot Q_R = \frac{0,94 \cdot 45\,840}{3,20} + 0,06 \cdot 45\,840 = 16\,216 \text{ kWh}$$

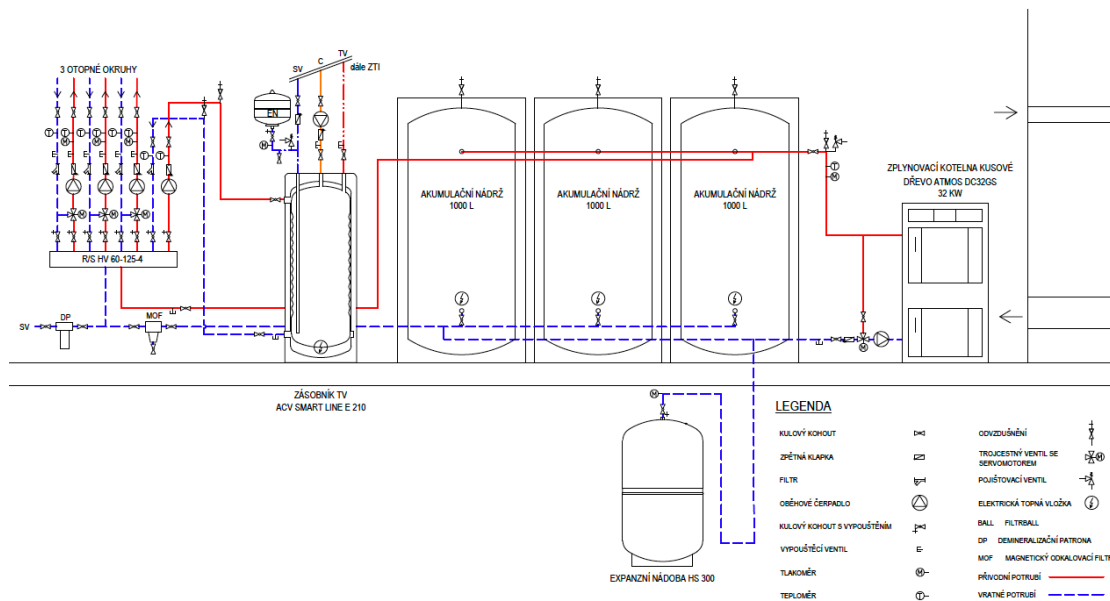
- cena elektrické energie: 2,207 Kč/kWh (sazba elektrické energie D57d, nízký tarif) + stálý měsíční plat za pronájem hlavního jističe, činnost operátora trhu a dodávku 356 Kč + roční platba na podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů 9 713 Kč (zdroj ceník ČEZ Prodej, a.s. [22])
- cena celkem: $2,207 \cdot 16\,216 + 356 \cdot 12 + 9\,713 = 49\,774$ Kč/rok

Tab. 8: Provozní náklady pro variantu s tepelným čerpadlem voda/voda

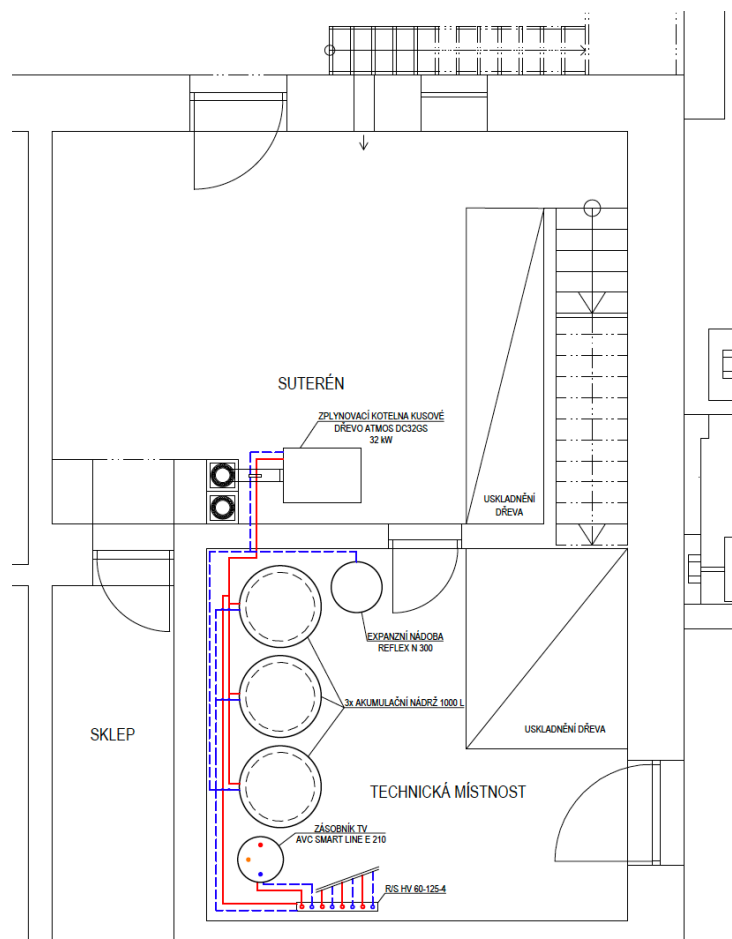
Tepelné čerpadlo voda/voda - provozní náklady	
Název	Cena [Kč/rok]
Cena spotřebované el. energie	49 774
Servisní prohlídka a údržba (1x za rok)	1 500
Celkem za rok	51 274

5.4 Kotle na pevná paliva

5.4.1 Kotel na kusové dřevo



Obr. 20: Schéma varianty s kotlem na kusové dřevo



Obr. 21: Půdorys varianty s kotlem na kusové dřevo

Zplynovací kotel ATMOS DC32GS

- výkon: 24-32 kW
- účinnost kotle 89,3 %
- třída energetické účinnosti: A+
- třída kotle dle ČSN EN 303-5: V

Tab. 9: Pořizovací náklady pro variantu s kotlem na kusové dřevo

Kotel na kusové dřevo - pořizovací náklady	
Název	Cena [Kč]
Kotel ATMOS DC32GS	69 190
Spuštění kotle	3 000
Komínu s nerezovou vložkou CIKO Praktik	48 047
Revize spalinových cest	2 000
Akumulační nádrž DRAŽICE NAD 1000 s izolací (3x)	63 887
Elektrická topná vložka (3x)	10 857
Zásobník TV ACV Smart Line E 210 s topnou tyčí	33 120
Rozdělovač/sběrač HV 60-125-4	7 245
Expanzní nádoba HS 300	11 247
Potrubí, armatury a montáž	73 078
Celkem	321 671

Cena spotřebované elektrické energie/dřeva

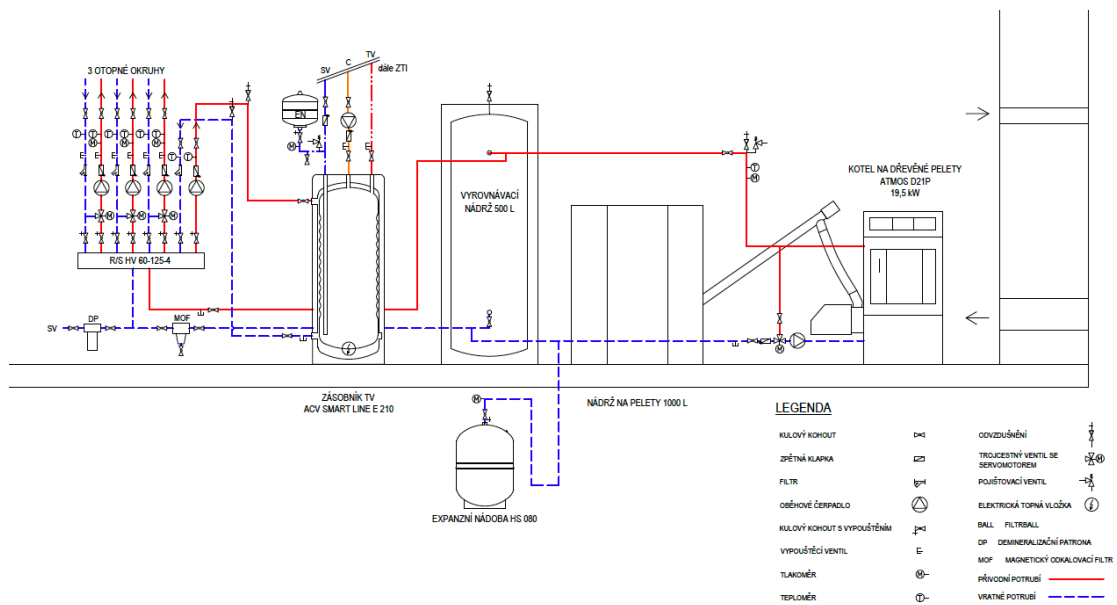
- roční potřeba tepla na přípravu teplé vody: $Q_{TV,R} = 7,17 \text{ MWh/rok}$
 - z toho uvažují, že od začátku května do konce září (5 měsíců) je teplá voda ohřívána elektrickou topnou tyčí: $\frac{7\,170 \cdot 5}{12} = 2\,988 \text{ kWh/rok}$
 - cena elektrické energie: 2,207 Kč/kWh (sazba elektrické energie D57d, nízký tarif) + roční platba na podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů 1 790 Kč (zdroj ceník ČEZ Prodej, a.s. [22])
 - cena ze el. energii celkem: $2,207 \cdot 2\,988 + 1\,790 = 8\,385 \text{ Kč/rok}$
- roční množství tepla dodáváno kotlem: $Q_R = 7,17 - 2,988 + 38,67 = 42,852 \text{ MWh/rok}$
 - výhřevnost smrkového dřeva: $H = 5\,440 \text{ MJ/prm} = 1\,511 \text{ kWh/prm}$
 - roční spotřeba dřeva: $B_r = \frac{Q_R}{\eta \cdot H} = \frac{42\,852}{0,893 \cdot 1\,511} = 31,76 \text{ prm}$
 - cena štípaného smrkového dřeva: 600 Kč/prm¹
 - cena za dřevo celkem: $600 \cdot 31,76 = 19\,056 \text{ Kč}$
- cena celkem: $8\,385 + 19\,056 = 27\,441 \text{ Kč}$

¹ prm - prostorový metr rovnáný

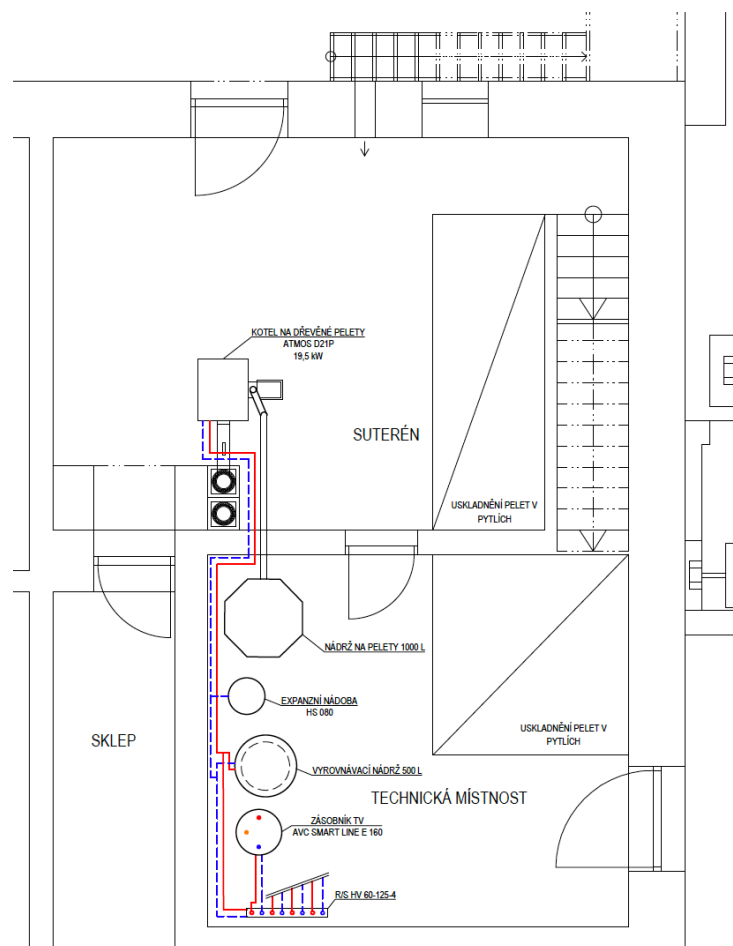
Tab. 10: Provozní náklady pro variantu s kotlem na kusové dřevo

Kotel na kusové dřevo - provozní náklady	
Název	Cena [Kč/rok]
Cena spotřebovaného dřeva a el. energie	27 441
Revizní prohlídka (1x za 3 roky) - 1 500 Kč	500
Servisní prohlídka (1x za rok)	1 000
Čištění spalinových cest (2x za rok)	800
Kontrola spalinových cest (1x za rok)	600
Celkem za rok	30 341

5.4.2 Kotel na dřevěné pelety



Obr. 22: Funkční schéma zapojení varianty s kotlem na dřevěné pelety



Obr. 23: Půdorys varianty s kotlem na dřevěné pelety

Automatický kotel na dřevěné pelety ATMOS D21P

- výkon: 4 - 19,5 kW
- účinnost kotle: 90,3 %
- emisní třída: V
- třída energetické účinnosti: A+

Tab. 11: Pořizovací náklady pro variantu s kotlem na dřevěné pelety

Kotel na dřevěné pelety - pořizovací náklady	
Název	Cena [Kč]
Kotel ATMOS D21P	55 775
Spuštění kotle	3 000
Nádrž na pelety 1000 l	10 810
Šnekový dopravník 4 m	22 770
Komín s nerezovou vložkou CIKO Praktik	48 047
Revize spalinových cest	2 000
Akumulační nádrž DRAŽICE NAD 500 s izolací	14 803
Zásobník TV ACV Smart Line E 210 s topnou tyčí	33 120
Rozdělovač/sběrač HV 60-125-4	7 245
Expanzní nádoba HS 080	3 542
Potrubí, armatury a montáž	58 834
Celkem	243 092

Cena spotřebované elektrické energie/dřevěných pelet

- roční potřeba tepla na přípravu teplé vody: $Q_{TV,R} = 7,17 \text{ MWh/rok}$
 - z toho uvažuji, že od začátku května do konce září (5 měsíců) je teplá voda ohřívána elektrickou topnou tyčí: $\frac{7\,170 \cdot 5}{12} = 2\,988 \text{ kWh/rok}$
 - cena elektrické energie: 2,237 Kč/kWh (sazba elektrické energie D25d, nízký tarif) + roční platba na podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů 1 790 Kč (zdroj ceník ČEZ Prodej, a.s. [22])
 - cena ze el. energii celkem: $2,237 \cdot 2\,988 + 1\,790 = 8\,474 \text{ Kč/rok}$
- roční množství tepla dodáváno kotlem: $Q_R = 7,17 - 2,988 + 38,67 = 42,852 \text{ MWh/rok}$
 - výhřevnost dřevěných pelet: $H = 18 \text{ MJ/m}^3 = 5 \text{ kWh/m}^3$
 - roční spotřeba pelet: $B_r = \frac{Q_R}{\eta \cdot H} = \frac{42\,852}{0,903 \cdot 5} = 9\,491 \text{ kg}$
 - cena: 6 Kč/kg
 - cena za pelety celkem: $6 \cdot 9\,491 = 56\,946 \text{ Kč}$
- cena celkem: $8\,474 + 56\,946 = 65\,420 \text{ Kč}$

Tab. 12: Provozní náklady pro variantu s kotlem na dřevěné pelety

Kotel na dřevěné pelety - provozní náklady	
Název	Cena [Kč/rok]
Cena spotřebovaných pelet a el. energie	65 420
Revizní prohlídka (1x za 3 roky) - 1 500 Kč	500
servisní prohlídka (1x za rok)	1 000
Čištění spalinových cest (2x za rok)	800
Kontrola spalinových cest (1x za rok)	600
Celkem za rok	68 320

6 Vícekriteriální analýza a vyhodnocení jednotlivých variant způsobu vytápění objektu

Všechny výše představené varianty je možné pro tento objekt realizovat, ale je nutné vybrat pouze jednu, která bude pro daný objekt nejvhodnější. Volba takovéto varianty není vždy jednoduchá, protože závisí na mnoha různých faktorech. Proto je vhodné provést vícekritériální analýzu, kde si stanovíme kritéria a jejich váhu. V následném hodnocení bychom poté měli dostat jasný výsledek.

V této kapitole si nejprve stanovím rozhodovací kritéria, poté určím důležitost (váhu) rozhodovacích kritérií a vyhodnotím jednotlivé varianty. Výsledkem by měl být výběr nejvhodnější varianty.

6.1 Stanovení rozhodovacích kritérií

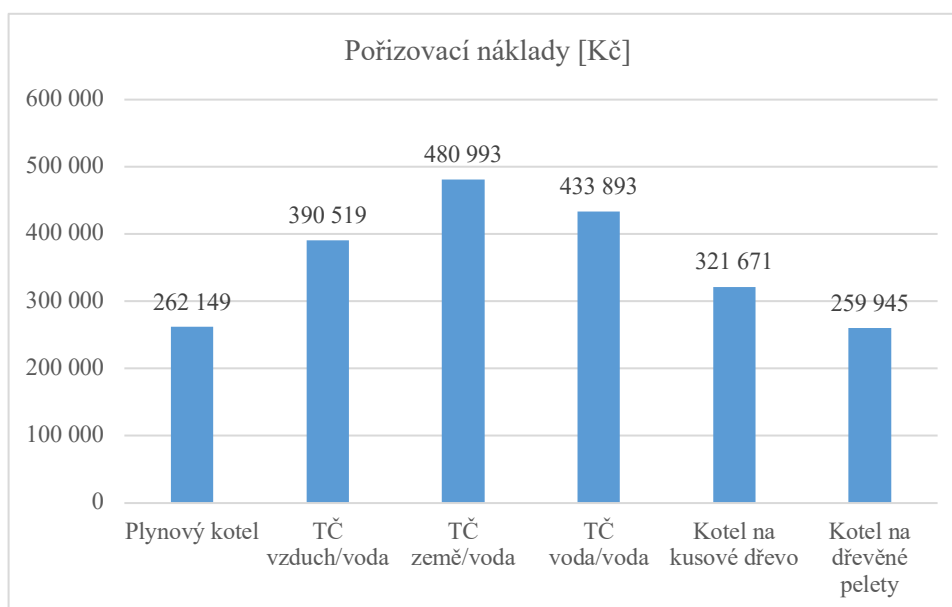
Pro řešený objekt jsem zvolil následujících šest kritérií, které mohou mít na výběr zdroje zásadní vliv.

- **K1 - Pořizovací náklady** - obsahují pořizovací cenu zdroje tepla, zásobníku TV, akumulace, expanzní nádoby, potrubí, armatur, montáže, spuštění a nutných součástí jako např. realizace vedení plynu, komínu, zemního/ vodního kolektoru
- **K2 - Provozní náklady** - zahrnují náklady související s provozem zdroje, jako je např. cena za spotřebovanou energii a palivo, kontroly a čištění, popř. revize kotle, a komínu
- **K3 - Emise CO₂** - vliv zdroje na životní prostředí, konkrétně jeho produkce CO₂ při výrobě elektrické energie a spalování paliva
- **K4 - Emise ostatních látek** - vliv zdroje na kvalitu místního ovzduší produkcí oxidů dusíku, oxidu siřičitého a tuhých znečišťujících látek
- **K5 - Uživatelský komfort** - představuje komfort obsluhy při užívání a údržbě zařízení, jedná se např. o nutnost přikládání, doplňování paliva, čištění a vybírání popela u kotlů na tuhá paliva
- **K6 - Estetika a adaptace** - zdroje jejichž součástí jsou umístěné mimo objekt mohou narušovat estetiku objektu a okolí

6.1.1 Náklady

Výše nákladů může mít při rozhodování zásadní vliv. Při jejich stanovení jsem vycházel ze současných cen technických zařízení, energií, paliv a prací. Tyto ceny se mohou měnit u různých dodavatelů, distributorů a také v čase. Lze tedy brát náklady pouze jako orientační, ale jejich určení je důležité ve fázi rozhodování a pro představu investora.

6.1.1.1 Pořizovací náklady

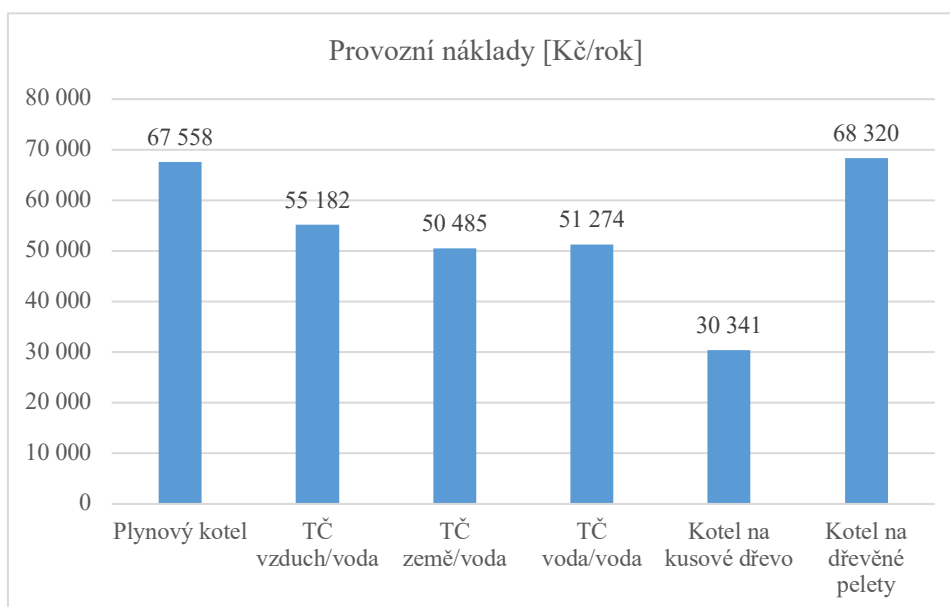


Obr. 24: Graf pořizovacích nákladů jednotlivých variant

Pořizovací náklady jsou dány cenami instalovaného technického zařízení a provedených prací. Nejlevněji vychází varianta s kotlem na dřevěné pelety. Dále poté varianta s plynovým kotlem, u kterého jsou vyšší náklady způsobené cenou za vybudování připojení objektu k plynové přípojce. Nejvyšší náklady jsou u variant s tepelnými čerpadly, ty jsou dány hlavně vysokými cenami za samotná tepelná čerpadla. U varianty s tepelným čerpadlem země/voda také cenou za vybudování zemního kolektoru

Výrazné snížení pořizovacích nákladů u variant s tepelnými čerpadly lze dosáhnout získáním dotací z dotačního programu s názvem Nová zelená úsporám.

6.1.1.2 Provozní náklady

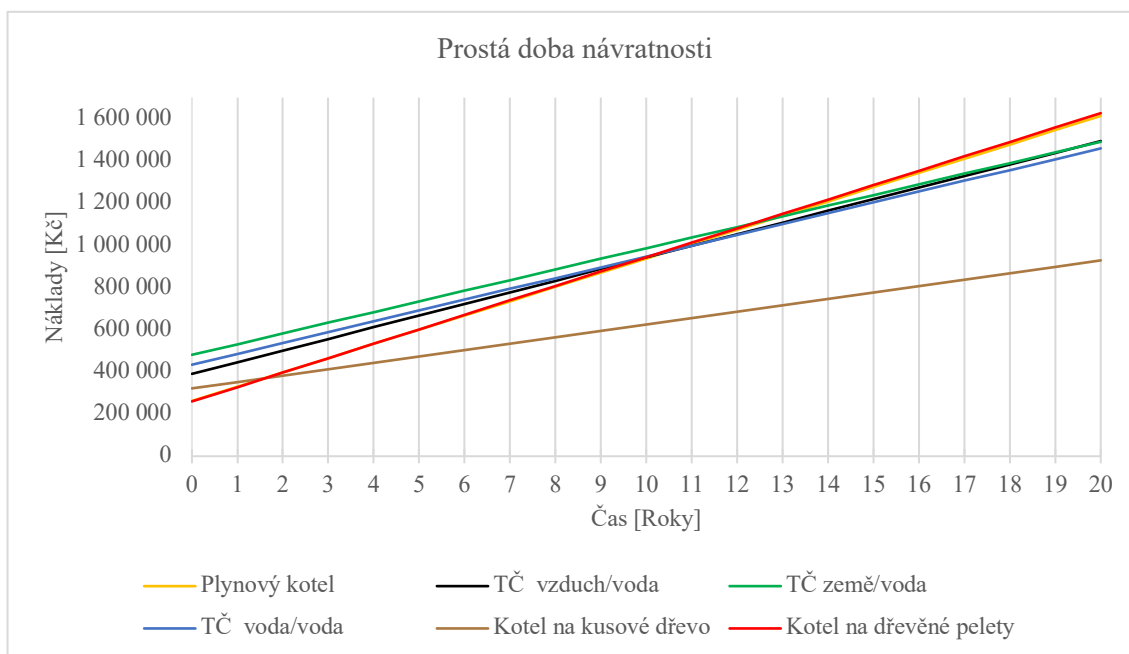


Obr. 25: Graf provozních nákladů jednotlivých variant

Provozní náklady se skládají z několika položek. Největší část je tvořena cenou za spotřebovanou energii, ta je u jednotlivých zdrojů závislá na jejich účinnosti a jednotkové ceně. Zde nejlépe vychází varianta s kotlem na kusové dřevo. Nízké náklady jsou dány spalováním levného dřeva, které lze na vesnici získat za nízkou cenu, nebo téměř zadarmo při použití dřeva z vlastního lesa. Dále dobře vychází varianty s tepelnými čerpadly díky vysokému topnému faktoru, a to nejlépe tepelné čerpadlo země/voda. Další složkou provozních nákladů je cena za servisní prohlídky a u spalovacích zdrojů cena za kontrolu a čištění spalinových cest. Tyto položky ale nemají výrazný vliv na celkovou cenu.

6.1.1.3 Ekonomické hodnocení

Důležité je se podívat na celkové náklady v závislosti na čase. Vyšší pořizovací náklady mohou být vyrovnány nižšími provozními náklady a zvolený zdroj tak může být v dlouhodobém intervalu ekonomičtější. Proto je vhodné porovnat jednotlivé varianty z hlediska prosté doby finanční návratnosti. Do porovnání vstupuje pouze cena investice a provozních nákladů bez dalších vlivů jako inflace a růst cen energií a paliv.



Obr. 26: Graf porovnání nákladů na vytápění a ohřev teplé vody

Z grafu je patrné, že při maximální uvažované životnosti zdrojů 20 let nejlépe vychází varianta s kotlem na kusové dřevo, která je i přes vyšší pořizovací náklady už po více jak jeden a půl roku výhodnější než varianta s plynovým kotlem a kotlem na pelety. Investice do tepelných čerpadel se začínají vracet po cca 10 až 12,5 letech. Nejhůře z uváděných variant vychází varianta s plynovým kotlem a kotlem na pelety.

6.1.2 Vliv na životní prostředí

6.1.2.1 Emise CO₂

Výběr zdroje může mít dopad na životní prostředí, konkrétně produkcí skleníkového plynu oxidu uhličitého, který přispívá ke globálnímu oteplování.

Pro možnost porovnání jednotlivých zdrojů jsem výpočet provedl použitím emisního faktoru CO₂ pro ČR dle vyhlášky 140/2021 Sb. [23].

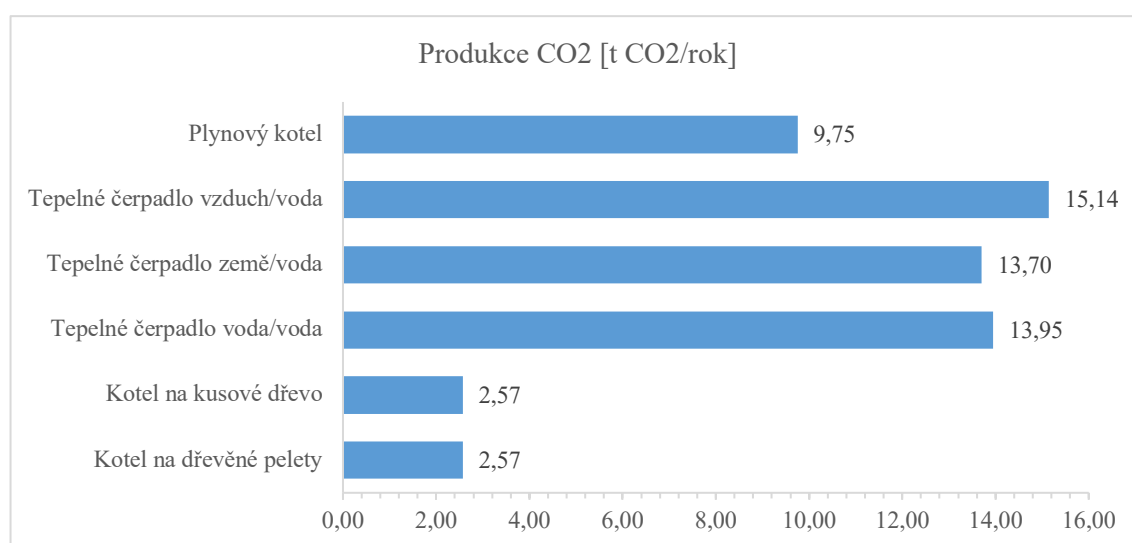
Tab. 13: Emisní faktory CO₂ pro energii přivedenou v palivu ČR [23]

Palivo/energie	Emisní faktor [t CO ₂ /MWh]
Zemní plyn	0,20
Elektřina	0,86
Biomasa	0

$$\text{Roční produkce CO}_2: \frac{\text{potřeba tepla na vytápění a ohřev teplé vody}}{\text{provozní účinnost zdroje}} \cdot \text{emisní faktor}$$

Tab. 14: Roční produkce CO₂ jednotlivých variant

Varianta	Palivo/energie	Q _R [MWh/rok]	Účinnost	Emisní f. [t CO ₂ /MWh]	Roční produkce CO ₂ [t CO ₂ /rok]	
Plynový kotel	Zemní plyn	45,84	0,94	0,2	9,75	9,75
TČ vzduch/voda	Elektřina	43,09	2,9	0,86	12,78	15,14
	Elektřina	2,75	1	0,86	2,37	
TČ země/voda	Elektřina	42,63	3,35	0,86	10,94	13,70
	Elektřina	3,21	1	0,86	2,76	
TČ voda/voda	Elektřina	43,09	3,2	0,86	11,58	13,95
	Elektřina	2,75	1	0,86	2,37	
Kotel na kusové dřevo	Dřevo	42,85	0,893	0	0,00	2,57
	Elektřina	2,99	1	0,86	2,57	
Kotel na dřevěné pelety	Pelety	42,85	0,903	0	0,00	2,57
	Elektřina	2,99	1	0,86	2,57	



Obr. 27: Srovnání produkce CO₂ jednotlivých variant

Z grafu je patrné, že nejlépe vycházejí varianty se zdroji spalující biomasu, a to kotel na dřevěné pelety a kotel na kusové dřevo, jejichž produkce je rovna 0 t CO₂/rok. Ale protože je mimo otopnou sezónu teplá voda ohřívána elektřinou je celková produkce rovna 2,75 t CO₂. Hodnota 0 t CO₂/rok u kotlů spalující biomasu je spíše teoretická, protože sice spalují ekologicky udržitelné palivo, ale při jeho zpracování a dopravě dochází k produkci CO₂, která zde není započítána. U zdrojů využívající elektrickou energii sice nedohází ke spalování a produkci CO₂ přímo, ale dochází k tomu v elektrárnách při její výrobě. Vysoká hodnota emisního faktoru je dána tím, že při hodnocení zdrojů v budovách je v ČR podstatná část elektrické energie vyráběna v hnědouhelných elektrárnách.

6.1.2.2 Emise ostatních látek

Z hlediska kvality místního ovzduší nás zajímají zpravidla oxidy dusíku, oxid siřičitý a tuhé znečišťující látky. Nejvíce těchto látek se uvolňuje při spalování, proto zde nejhůře vycházejí kotle na biomasu a poté plynový kotel. Nejlépe naopak vycházejí tepelná čerpadla, které mají nulovou produkci těchto látek.

Vliv na životní prostředí nám může pomoci ke snížení pořizovacích nákladů, kdy lze pro tepelná čerpadla čerpat dotace z dotačního programu s názvem Nová zelená úsporám.

6.1.3 Uživatelský komfort

Jedná se o jeden z hlavních faktorů při výběru zdroje. Je dán tím, jak moc musíme daný zdroj obsluhovat. Zdroje jako plynový kotel, tepelné čerpadlo a kotel na dřevěné pelety pracují při potřebě tepla plně automaticky a bez nutnosti přítomnosti obsluhy. U kotle na dřevěné pelety je ale nutné jednou za určitou dobu doplnit pelety do zásobníku, vyčistit spalovací komůrku a vybrat popel. Časový interval těchto nutných provozních zásahů je možné prodloužit použitím velkoobjemového zásobníku pelet a automatické odpopelňovací zařízení, které ale zvýší celkovou pořizovací cenu sestavy. Nejnáročnější na obsluhu z představených zdrojů je kotel na kusové dřevo. Při průměrné venkovní teplotě v otopném období 3,5 ° je potřeba zatápnout každý den, kdy doba cyklu topení je okolo 9 hodin a je nutné chodit přikládat každou hodinu a půl. Zbylou část dne pokryje teplo uložené v akumulacích nádržích. Součástí procesu je také vynášení popelu před každým zatopením.

Z tohoto hlediska tedy nejlépe vychází plynový kotel a tepelná čerpadla.

6.1.4 Estetika a adaptace zdroje do okolí objektu

Tepelné čerpadlo vzduch/voda je umístěné vně objektu, čímž může narušovat jeho celkový vzhled a také může být zdrojem nepříjemného hluku. U tepelného čerpadla voda/voda je třeba nutně upravit náhon pro možnost instalace vodního kolektoru.

6.2 Určení důležitosti (váhy) rozhodovacích kritérií

Proces stanovení důležitosti kritérií vždy vychází ze subjektivního postoje hodnotitele. Existuje řada metod, podle kterých se dá postupovat. Já jsem zde zvolil Metfesselovu alokaci [24]. Ta spočívá v tom, že se jednotlivým kritériím přidělí podle důležitosti konkrétní počet bodů. Součet bodů se musí rovnat 100. Já jsem body přiděloval dle vlastního uvážení s ohledem na současné požadavky běžné domácnosti.

Tab. 15: Stanovení vah kritérií Metfesselovou alokací

Ozn.	Název Kritéria	Body	Váhy	Pořadí
K1	Pořizovací náklady	15	0,150	3
K2	Provozní náklady	30	0,300	1
K3	Emise CO ₂	11	0,110	4
K4	Emise ostatních látek	11	0,110	4
K5	Uživatelský komfort	25	0,250	2
K6	Estetika a adaptace	8	0,080	5
Σ		100	1,000	

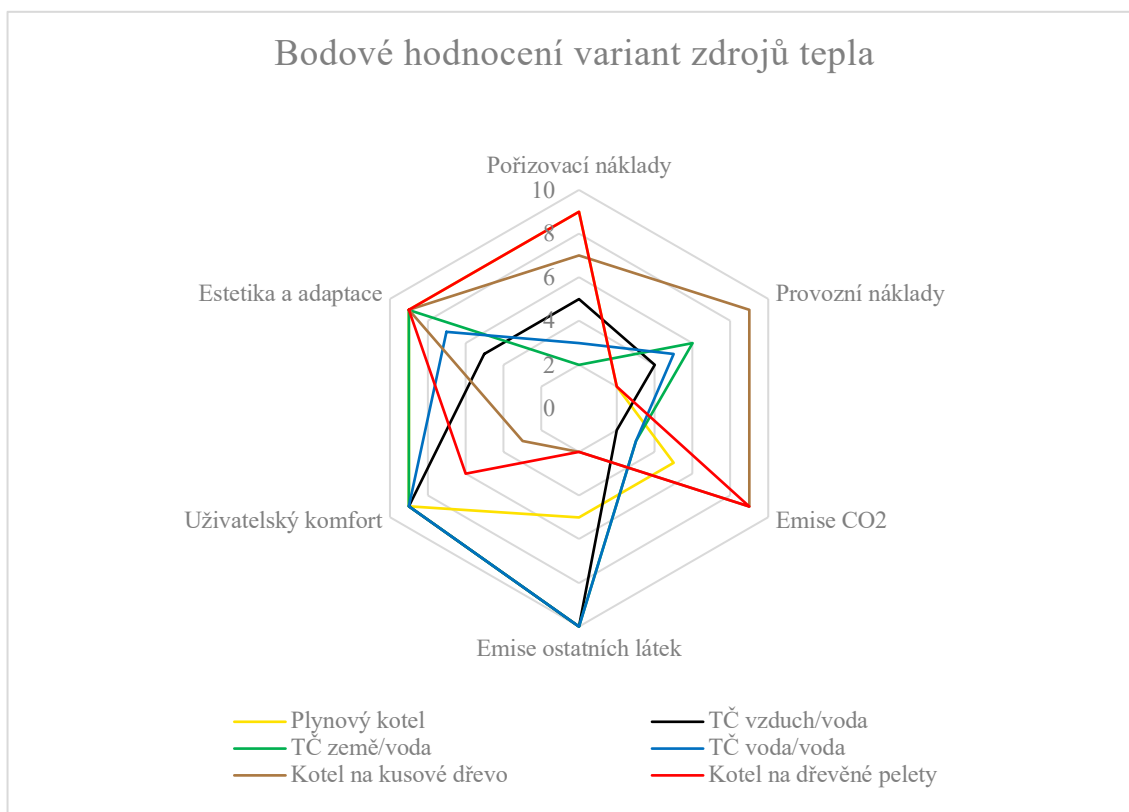
6.3 Vyhodnocení variant

Stanovené parametry jednotlivých variant jako vstupní hodnoty pro vyhodnocení jsou shrnuty v následující tabulce.

Tab. 16: Parametry jednotlivých variant pro zvolená kritéria

	Plynový kotel	TČ vzduch/voda	TČ země/voda	TČ voda/voda	Kotel na dřevo	Kotel na pelety	MJ
K1	262	391	481	434	322	260	tis. Kč
K2	68	55	50	51	30	68	tis. Kč/rok
K3	9,75	15,14	13,70	13,95	2,57	2,57	t CO ₂ /rok
K4	střední	žádné	žádné	žádné	vysoké	vysoké	-
K5	vysoký	vysoký	vysoký	vysoký	nízký	průměr	-
K6	vysoký	nízký	vysoký	vyšší	vysoký	vysoký	-

Pro možnost porovnání a výběru nejvhodnější varianty je vhodné si stanovit tzv. souhrnnou užítost variant. Například pomocí bodovací metody s vahami [24], kdy u jednotlivých kritérií využíváme desetibodovou stupnici. Nejvyšší počet bodů je přidělen nejlepší variantě. Výsledná užítost varianty je poté dána součtem součinů bodů a vah jednotlivých kritérií.



Graf 1: Bodové hodnocení variant zdrojů tepla

Tab. 17: Stanovení souhrnné užítivosti pomocí bodovací metody s vahami

	v_i	Plynový kotel		TČ vzduch/voda		TČ země/voda		TČ voda/voda		Kotel na dřevo		Kotel na pelety	
		b_{ij}	$b_{ij}v_i$	b_{ij}	$b_{ij}v_i$	b_{ij}	$b_{ij}v_i$	b_{ij}	$b_{ij}v_i$	b_{ij}	$b_{ij}v_i$	b_{ij}	$b_{ij}v_i$
K1	0,150	9	1,350	5	0,750	2	0,300	3	0,450	7	1,050	9	1,350
K2	0,300	2	0,600	4	1,200	6	1,800	5	1,500	9	2,700	2	0,600
K3	0,110	5	0,550	2	0,220	3	0,330	3	0,330	9	0,990	9	0,990
K4	0,110	5	0,550	10	1,100	10	1,100	10	1,100	2	0,220	2	0,220
K5	0,250	9	2,250	9	2,250	9	2,250	9	2,250	3	0,750	6	1,500
K6	0,080	9	0,720	6	0,480	9	0,720	7	0,560	9	0,720	9	0,720
Užitnost		6,020		6,000		6,500		6,190		6,430		5,380	
Pořadí		4		5		1		3		2		6	

Z výsledků vyplývá, že při bodovém ohodnocení parametrů variant a zahrnutím váhy kritérií, je nejvhodnější varianta s tepelným čerpadlem země/voda. Druhou nejvhodnější variantou je poté varianta s kotlem na kusové dřevo. Nejméně vhodnou variantou je zde varianta s kotlem na dřevěné pelety.

Pro daný objekt jako zdroj tepla volím **tepelné čerpadlo země/voda**.

7 Otopná soustava

V této kapitole bych chtěl krátce představit otopnou soustavu objektu a popsat způsob vytápění jednotlivých místností.

Otopná soustava přenáší teplo ze zdroje do vytápěných místností. Skládá se ze zdroje tepla, potrubní sítě a otopných ploch. Nutnou součástí jsou také regulační, pojistné a zabezpečovací zařízení.

7.1 Návrh otopné soustavy

Pro objekt bude navržena horizontální dvoutrubková soustava s teplotním spádem 55/45 °C. Jak již bylo zmíněno výše, objekt bude rozdělen na tři provozní celky: rodinný dům, samostatná bytová jednotka, přístavba. Každý z provozních celků bude mít vlastní otopný okruh pro možnost regulace dle vlastních požadavků.

Protože se jedná o starý objekt a ve většině místností jsou dřevěné podlahy, budou voleny desková otopná tělesa, nebo konvektory. Ty mají oproti podlahovému vytápění výhodu v rychlém náběhu, a tím i snadnější regulaci. Podlahové vytápění bude umístěno pouze v koupelnách společně s trubkovými otopnými tělesy.

V budově bývalého mlýnu v prvním nadzemním podlaží bude muset být většina potrubních rozvodů vedena po stěně z důvodu kamene ve zdivu a zachování stávajících podlah. Ve druhém nadzemním podlaží a v přístavbě kanceláře budou moci být vedeny v podlaze. Pro rozvody bude voleno měděné potrubí.

8 Závěr

Cílem této bakalářské práce byl návrh systému vytápění venkovského rodinného domu. Pro daný objekt jsem navrhl a popsal šest konceptů variant vytápění: plynový kondenzační kotel, tepelné čerpadlo vzduch/voda, země/voda, voda/voda, kotel na kusové dřevo a kotel na dřevěné pelety. Jednotlivé varianty jsem poté porovnal pomocí vícekritériální analýzy. Jako rozhodovací kritéria jsem zvolil pořizovací náklady, provozní náklady, emise CO₂, emise ostatních látek, uživatelský komfort a estetiku a adaptaci zdroje do okolí. Při určování jejich vah jsem největší váhu udělil provozním nákladům, poté uživatelskému komfortu a pořizovací ceně, protože si myslím, že těmto třem kritériím většina lidí při výběru nového zdroje tepla nejvíce přihlíží. Z analýzy mi posléze jako nejvhodnější pro tento objekt vyšla varianta s tepelným čerpadlem země/voda. Ta to varianta sice není moc obvyklá, ale jak ukázala analýza, je-li k dispozici dostatečná plocha pro umístění zemního kolektoru, může být velice výhodná. Tepelné čerpadlo také patří mezi ekologické zdroje a díky tomu je na něj možné získat dotaci z programu s názvem Nová zelená úsporám. Negativně může působit to, že spotřebovává elektrickou energii, která je u nás ve velké míře vyráběná v hnědouhelných elektrárnách. Při výrobě tedy dochází k produkci velkého množství CO₂. Tato hodnota se ale postupem času snižuje díky prosazování výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů.

V druhé části práce jsem zpracoval projekt vytápění s tímto zdrojem. Na základě tepelných ztrát místností jsem zvolil konkrétní otopné plochy. Poté jsem navrhl geometrii rozvodů a pomocí programu TechCON X 9.0 stanovil dimenze potrubí a hodnoty nastavení ventilů pro správné zaregulování otopné soustavy. Součástí je také návrh pojistného a zabezpečovacího zařízení soustavy, čerpadel a třicestných ventilů.

9 Literatura a použité zdroje

[1] BAŠTA, Jiří a Karel KABELE. Otopné soustavy - teplovodní. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 1998. Sešit projektanta - pracovní podklady. ISBN 80-02-01254-2.

[2] PETRÁŠ, Dušan. Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie. Bratislava: Jaga, 2008. Vytápění. ISBN 978-80-8076-069-4.

[3] PETRÁK, Jiří; PETRÁK, Miroslav. Tepelná čerpadla. Praha: ČVUT, 2004. 245 s. ISBN 80-01-03126-8.

[4] DANIELS, Klaus. Technika budov: příručka pro architekty a projektanty. Bratislava: Jaga group, 2003. ISBN 80-88905-63-x.

[5] Zásobník teplé vody ACV Smart 210, [online]. Copyright © 2021 [cit. 01.05.2021]. Dostupné z: <https://www.acv.com/cz/customer/product/06602701-384/smart-210>

[6] Zásobník teplé vody ACV Smart E 210, [online]. Copyright © 2021 [cit. 01.05.2021]. Dostupné z: <https://www.acv.com/cz/customer/product/06619001-444/smart-e-210>

[7] Kondenzační plynové kotle, [online]. Copyright © Bosch Termotechnika s.r.o. 2021, všechna práva vyhrazena [cit. 12.05.2021]. Dostupné z: <https://www.bosch-thermotechnology.com/cz/cs/ocs/rodinne-domy-a-byty/condens-9000i-w-1098084-p/>

[8] Expanzní nádoby Reflex, [online]. [cit. 01.05.2021]. Dostupné z: <https://www.reflexcz.cz/cz/expanzni-nadoby-reflex-ng-a-n>

[9] Regulus rozdělovač/sběrač - HV 60/125-3 9508, [online]. Copyright © [cit. 01.05.2021]. Dostupné z: <https://www.reguluseshop.cz/regulus-rozdelovac-sberac-hv-60-125-3-9508/18950/produkt>

[10] Tepelná čerpadla NIBE. Tepelná čerpadla NIBE - vzduch/ voda [online]. Copyright © 2012 [cit. 14.03.2021]. Dostupné z: <https://www.nibe.cz/tepelna-cerpadla-vzduch-voda/tepelne-cerpadlo-nibe-f2040>

[11] Bivalentní zdroj, [online]. [cit. 14.03.2021]. Dostupné z: <https://www.nibe.cz/prislusenstvi/nibe-tj-2-hp-elektrokotel#vice-informaci>

[12] Akumulátor, [online]. Copyright © [cit. 12.05.2021]. Dostupné z: http://www.energotherm.cz/docs/cms/03_tepelna_cerpadla/sortiment/ostatni_sortiment/technicky_list_akumulatory_ivt.pdf

- [13] Tepelné čerpadlo země/voda, [online]. Copyright © Copyright GT Energy s.r.o. 2019 [cit. 12.05.2021]. Dostupné z: <https://www.projektuj-tepelna-cerpadla.cz/cz/ivt-premiumline-eq-zeme-voda>
- [14] Zplynovací kotle na dřevo, [online]. [cit. 09.03.2021]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/zplynovaci-kotle-na-drevo/>
- [15] Akumulační nádrž 1000, [online]. [cit. 09.03.2021]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/drazice-nad-1000-v2-p8948/>
- [16] Regulus rozdělovač/sběrač 4 okruhy - HV 70/125-4 9509, [online]. Copyright © [cit. 01.05.2021]. Dostupné z: <https://www.regulushop.cz/regulus-rozdelovac-sberac-4-okruhy-hv-70-125-4-9509/18951/produkt>
- [17] Výpočet doby nabíjení a vybíjení akumulční nádrže, [online]. [cit. 09.03.2021]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-pevnymi-palivy/16134-objem-akumulacni-nadrze-ke-kotli>
- [18] Kotle na pelety, [online]. [cit. 09.03.2021]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/kotle-na-pelety/>
- [19] Nádrže na pelety, [online]. [cit. 09.03.2021]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/nadrze-na-pelety/>
- [20] Akumulační nádrž 500, [online]. [cit. 09.03.2021]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/drazice-nad-500-v2-p10149/>
- [21] Skupina ČEZ [online]. Copyright © [cit. 12.03.2021]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/plyn-2021/web-cez-plyn-cenik-plyn-doba-neurcita-gasnet-12-2020.pdf>
- [22] Skupina ČEZ [online]. Copyright © [cit. 12.03.2021]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2021/moo/web-new-cenik-elektrina-dobu-neurcitou-moo-2020-12-egddi.pdf>
- [23] 140/2021 Sb. Vyhláška o energetickém auditu. Zákony pro lidi - Sběrka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 12.05.2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-140>
- [24] Metody výběru variant [online]. [cit. 12.05.2021]. Dostupné z: https://people.fsv.cvut.cz/~k126/predmety/126pm01/pm01_mv.pdf

10 Seznam obrázků

Obr. 1: Pohled na jihozápadní stranu objektu (současný stav).....	11
Obr. 2: Pohled na přístavbu kanceláře (současný stav).....	11
Obr. 3: Pohled na jihovýchodní stranu objektu (současný stav)	12
Obr. 4: Pohled na objekt (současný stav)	12
Obr. 5: Půdorys 1.PP (nový stav)	13
Obr. 6: Půdorys 1.NP (nový stav)	14
Obr. 7: Půdorys 2.NP (nový stav)	14
Obr. 8: Situace	15
Obr. 9: Možné tvary uložení zemního kolektoru	18
Obr. 10: Ukázka provedení vodního kolektoru v náhonu, zdroj IVT	19
Obr. 11: Graf dob topení a odběrů pro různé venkovní teploty sestavený pomocí nástroje pro stanovení objemu expanzní nádoby [17]	20
Obr. 12: Funkční schéma zapojení varianty s plynovým kotlem	23
Obr. 13: Půdorys varianty s plynovým kotlem.....	23
Obr. 14: Funkční schéma zapojení varianty s tepelným čerpadlem vzduch/voda	25
Obr. 15: Půdorys varianty s tepelným čerpadlem vzduch/voda	25
Obr. 16: Funkční schéma zapojení varianty s tepelným čerpadlem země/voda.....	27
Obr. 17: Půdorys varianty s tepelným čerpadle země/voda	27
Obr. 18: Funkční schéma zapojení varianty s tepelným čerpadle voda/voda	29
Obr. 19: Půdorys varianty s tepelným čerpadlem voda/voda.....	29
Obr. 20: Schéma varianty s kotlem na kusové dřevo	31
Obr. 21: Půdorys varianty s kotlem na kusové dřevo.....	31
Obr. 22: Funkční schéma zapojení varianty s kotlem na dřevěné pelety	34
Obr. 23: Půdorys varianty s kotlem na dřevěné pelety.....	34
Obr. 24: Graf pořizovacích nákladů jednotlivých variant	38
Obr. 25: Graf provozních nákladů jednotlivých variant.....	39
Obr. 26: Graf porovnání nákladů na vytápění a ohřev teplé vody	40
Obr. 27: Srovnání produkce CO ₂ jednotlivých variant	41

11 Seznam tabulek

Tab. 1: Pořizovací náklady pro variantu s plynovým kotlem.....	24
Tab. 2: Provozní náklady pro variantu s plynovým kotlem	24
Tab. 3: Pořizovací náklady pro variantu s tepelným čerpadlem vzduch/voda.....	26
Tab. 4: Provozní náklady pro variantu s tepelným čerpadlem vzduch/voda.....	26
Tab. 5: Pořizovací náklady pro variantu s tepelným čerpadlem země/voda	28
Tab. 6: Provozní náklady pro variantu s tepelným čerpadlem země/voda.....	28
Tab. 7: Pořizovací náklady pro variantu s tepelným čerpadlem voda/voda.....	30
Tab. 8: Provozní náklady pro variantu s tepelným čerpadlem voda/voda	30
Tab. 9: Pořizovací náklady pro variantu s kotlem na kusové dřevo.....	32
Tab. 10: Provozní náklady pro variantu s kotlem na kusové dřevo	33
Tab. 11: Pořizovací náklady pro variantu s kotlem na dřevěné pelety.....	35
Tab. 12: Provozní náklady pro variantu s kotlem na dřevěné pelety	36
Tab. 13: Emisní faktory CO ₂ pro energii přivedenou v palivu ČR [23]	40
Tab. 14: Roční produkce CO ₂ jednotlivých variant.....	41
Tab. 15: Stanovení vah kritérií Metfesselovou alokací.....	43
Tab. 16: Parametry jednotlivých variant pro zvolená kritéria.....	43
Tab. 17: Stanovení souhrnné užítlosti pomocí bodovací metody s vahami	44