



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta strojní
Ústav energetiky**

Zdroje tepla pro rodinný dům

Heating sources for a single family house

Bakalářská práce

Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství

Vedoucí práce: doc. Ing. Hrdlička Jan Ph.D.

Kateřina Rouhová

ČVUT v Praze, Fakulta strojní

Ústav energetiky

Akademický rok: 2018/2019

Praha 2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro **Kateřinu Rouhovou**

Program: TZSI

Název: Zdroje tepla pro rodinný dům

Název anglicky: Heating sources for a single family house

Zásady pro vypracování:

- 1) Zpracování stručné literární rešerše týkající se možností zajištění tepla pro rodinné domy.
- 2) Vytvoření diagramu trvání výkonu pro zadané parametry.
- 3) Návrh několika variant zdrojů tepla/TUV.
- 4) Bilanční a ekonomické porovnání navržených variant.

Prohlášení o autorství:

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr bakalářského studia Fakulty strojní ČVUT v Praze.

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně a použila pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne: 2019

.....

Podpis studenta

Prohlášení o udělení souhlasu s užitím:

Podle § 60 zákona č.121/2000 Sb., O právu autorském a právu souvisejícím s právem autorským, O studiu na vysokých školách a zákona o závěrečných zkouškách, je bakalářská práce duševním spoluvlastnictvím autora, vedoucího bakalářské práce a Fakulty strojní ČVUT. Citace povoluje fakulta. Podmínkou externího použití je smlouva s řešiteli.

Poděkování:

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Janu Hrdličkovi Ph.D. za jeho čas při konzultacích, cenné rady a připomínky k bakalářské práci a také za jeho trpělivost.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

| | | | |
|---------------------------|--|------|--|
| Obor: | Teoretický základ strojního inženýrství | | |
| Název bakalářské práce: | Zdroje tepla pro rodinný dům | | |
| Autor bakalářské práce: | Kateřina Rouhová | | |
| Vedoucí bakalářské práce: | doc. Ing. Hrdlička Jan Ph.D. | | |
| Rozsah diplomové práce: | Počet stran: | 64 | |
| | Počet obrázků: | 41 | |
| | Počet tabulek: | 12 | |
| | Počet příloh: | 1 CD | |

Anotace:

Bakalářská práce se zabývá možnostmi vytápění a ohřevu vody v rodinném domě. Podle tepelných ztrát objektu se vypočte potřebný výkon zdroje tepla, což je klíčový faktor pro správnou volbu vytápěcí soustavy. Při výběru vhodného zařízení není nejpodstatnějším aspektem pro koupi jeho pořizovací cena, ale důležité jsou především provozní náklady a účinnost zařízení. V dnešní době se kladou čím dál větší požadavky na ekologičnost a rostou tedy poptávky i po obnovitelných zdrojích energie šetrnějších k životnímu prostředí, které jsou zde také uvedeny. Pro čtyři vybrané varianty je provedena, na základě výpočtů, podrobná analýza provozních nákladů a jejich ekonomické zhodnocení dle čisté současné hodnoty (ČSH).

Klíčová slova: vytápění, zdroje tepla, tepelná ztráta, účinnost, obnovitelné zdroje energie, kotel, tepelné čerpadlo, provozní náklady, čistá současná hodnota, citlivostní analýza

**CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING**

| | | |
|---------------------------|---|------|
| Field of study: | Theoretical fundamentals of Mechanical Engineering | |
| Diploma thesis: | Heating sources for a single family house | |
| Author: | Kateřina Rouhová | |
| Supervisor: | doc. Ing. Hrdlička Jan Ph.D. | |
| Extent of diploma thesis: | Number of pages: | 64 |
| | Number of pictures: | 41 |
| | Number of tables: | 12 |
| | Number of attachments: | 1 CD |

Abstract:

This bachelor thesis deals with options for heating and water heating in a single family house. The necessary power is calculated based on the heat loss, which is the main factor in determining the right choice of a heating system. The most significant aspect in the selection of a suitable device is not its purchase price but chiefly the operating costs and efficiency. Nowadays, the demand for eco-friendliness and environmentally responsible renewable energy sources is rapidly growing. For the four chosen options a detailed analysis based on the calculations is provided, along with an economic evaluation using the Net Present Value (NPV).

Keywords: heating, heating sources, heat loss, effectiveness, renewable source of energy, boiler, heating pump, operating costs, Net Present Value, sensitivity analysis

Obsah

| | |
|--|-----------|
| Obsah..... | 7 |
| 1 Seznam použitých zkratk a značek..... | 9 |
| 1.1 Seznam zkratk..... | 9 |
| 1.2 Seznam značek..... | 9 |
| 2 ÚVOD | 12 |
| 3 TEORETICKÁ ČÁST | 14 |
| 3.1 Zdroje tepla | 14 |
| 3.1.1 Kotle..... | 14 |
| 3.1.1.1 Kotle na tuhá paliva..... | 14 |
| 3.1.1.2 Kotle na plynná paliva | 16 |
| 3.1.1.3 Kotle na kapalná paliva | 18 |
| 3.1.1.4 Elektrokotle | 18 |
| 3.1.2 Tepelná čerpadla | 19 |
| 3.1.2.1 TČ země/voda..... | 20 |
| 3.1.2.2 TČ voda/voda | 21 |
| 3.1.2.3 TČ vzduch/voda | 22 |
| 3.1.2.4 TČ vzduch/vzduch..... | 23 |
| 3.1.3 Solární energie | 24 |
| 4 PRAKTICKÁ ČÁST..... | 28 |
| 4.1 Výpočet | 28 |
| 4.1.1 Určení maximálního potřebného topného výkonu z roční spotřeby tepla pomocí denostupňové metody | 29 |
| 4.1.2 Potřebné teplo pro ohřev vody | 29 |
| 4.1.3 Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev užitkové vody | 31 |
| 4.2 Sestavení křivek | 31 |
| 4.2.1 Standardní křivka trvání teplot (ze statistiky ČHMÚ) pro délku otopného období 258 dní 31 | |

4.2.2 Roční křivka trvání výkonu (tj. závislost potřebného výkonu zdroje na počtu dní)

33

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4.3 | Volba variant na vytápění a ohřev vody v rodinném domu | 33 |
| 4.3.1 | Varianta 1 = kondenzační kotel | 33 |
| 4.3.1.1 | Celková spotřeba plynu kondenzačního kotle s účinností 90 % | 35 |
| 4.3.1.2 | Ekonomické zhodnocení varianty 1..... | 35 |
| 4.3.2 | Varianta 2 = kondenzační kotel + elektrický bojler | 36 |
| 4.3.2.1 | Celková spotřeba plynu kondenzačního kotle s účinností 90% | 37 |
| 4.3.2.2 | Celková spotřeba elektřiny elektrického bojleru s účinností 98 % | 38 |
| 4.3.2.3 | Ekonomické zhodnocení varianty 2..... | 39 |
| 4.3.3 | Varianta 3 = TČ země/voda..... | 40 |
| 4.3.3.1 | Celková spotřeba elektřiny tepelného čerpadla s topným faktorem COP = 4,52..... | 41 |
| 4.3.3.2 | Ekonomické zhodnocení varianty 3..... | 42 |
| 4.3.4 | Varianta 4 = kotel na pelety + solární kolektory..... | 43 |
| 4.3.4.1 | Spotřeba pelet na vytápění kotlem s účinností 80 %:..... | 44 |
| 4.3.4.2 | Dimenzování solárních kolektorů..... | 44 |
| 4.3.4.3 | Celková spotřeba pelet na vytápění a dopomocný ohřev vody..... | 47 |
| 4.3.4.4 | Ekonomické zhodnocení varianty 4..... | 47 |
| 4.4 | Porovnání variant | 48 |
| 4.5 | Citlivostní analýza | 51 |
| 5 | ZÁVĚR..... | 56 |
| 6 | SEZNAM ZDROJŮ A POUŽITÉ LITERATURY | 58 |
| 7 | SEZNAM OBRÁZKŮ..... | 62 |
| 8 | SEZNAM TABULEK..... | 64 |

1 Seznam použitých zkratk a značek

1.1 Seznam zkratk

| Zkratka | Význam |
|---------|---------------------------------|
| CF | Cash-flow |
| ČHMÚ | Český hydrometeorologický ústav |
| ČSH | Čistá současná hodnota |
| dCF | Diskontované cash-flow |
| DF | Diskontní faktor |
| HDO | Hromadné dálkové ovládání |
| INV | Investice |
| NT | Nízký tarif |
| TČ | Tepelná čerpadla |

1.2 Seznam značek

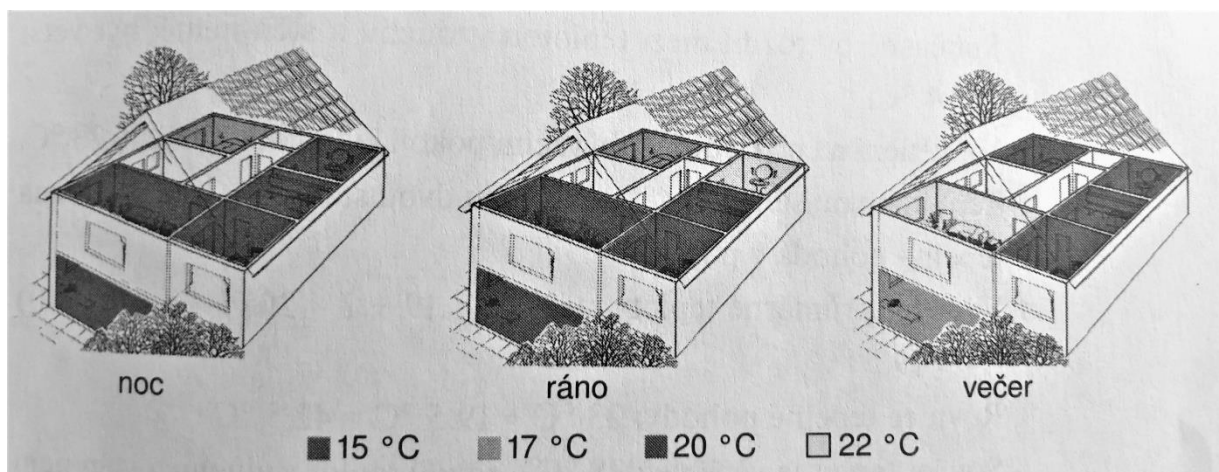
| Značka | Název | Veličina |
|-----------|--|---------------------|
| A_k | Plocha solárního kolektoru | [m ²] |
| α | Pohltivost slunečního záření absorberu | [-] |
| c | Měrná tepelná kapacita vody | [J/kg.K] |
| COP | Topný faktor | [-] |
| d | Počet dnů otopného období | [dny] |
| D | Vytápěcí denostupně | [den.K] |
| E | Opravný součinitel | [-] |
| $G_{stř}$ | Střední intenzita slunečního záření | [W/m ²] |
| H | Výhřevnost | [MJ/kg] |

| | | |
|-------------------|---|---------------------------|
| $H_{T,den}$ | Skutečná denní dávka ozářené plochy | [kWh.m ² /den] |
| H_{T,den_teor} | Teoretická hodnota denní dávky ozářené plochy | [kWh.m ² /den] |
| N | Počet pracovních dní soustavy v roce | [dny] |
| η_k | Účinnost solárního kolektoru | [-] |
| η_o | Účinnost rozvodu vytápění | [-] |
| η_r | Účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy | [-] |
| p | Přirážka na tepelné ztráty | [-] |
| ρ | Měrná hmotnost vody | [kg/m ³] |
| Q_c | Potřebný topný výkon | [kW] |
| Q_{cv} | Potřebný výkon zařízení na ohřev vody | [kW] |
| Q_{cvv} | Potřebný celkový výkon zdroje tepla na vytápění a ohřev vody | [kW] |
| q_k | Denní měrný tepelný zisk z kolektorů | [kWh/m ² .den] |
| Q_p | Denní potřeba tepla | [kWh/den] |
| Q_{pc} | Celková spotřeba tepla za den | [kWh/den] |
| Q_r | Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev užitkové vody | [GJ/rok] |
| Q_{reV2} | Spotřeba elektřiny u varianty 2 | [MWh/rok] |
| Q_{reV3} | Spotřeba elektřiny u varianty 3 | [MWh/rok] |
| Q_{rpV1} | Spotřeba plynu u varianty 1 | [MWh/rok] |
| Q_{rpV2} | Spotřeba plynu u varianty 2 | [MWh/rok] |
| Q_{rpeV4} | Spotřeba pelet u varianty 4 | [MWh/rok] |

| | | |
|-------------|--|-----------------------|
| $Q_{TUV.d}$ | Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody | [Wh/den] |
| $Q_{TUV.r}$ | Roční potřeba tepla pro ohřev teplé vody | [Wh/rok] |
| $Q_{TUV.r}$ | Roční potřeba tepla pro ohřev teplé vody | [Wh/rok] |
| Q_v | Potřebné teplo na vytápění domu | [GJ/rok] |
| r | Diskontní sazba | [-] |
| t_1 | Teplota studené vody | [°C] |
| t_2 | Teplota ohřáté vody | [°C] |
| t_{abs} | Střední teplota absorbéru | [°C] |
| t_e | Venkovní výpočtová teplota | [°C] |
| t_{es} | Průměrná venkovní teplota během otopného období | [°C] |
| t_{is} | Průměrná vnitřní teplota vytápěného objektu | [°C] |
| t_{svl} | Teplota studené vody v létě | [°C] |
| t_{svz} | Teplota studené vody v zimě | [°C] |
| τ | Propustnost slunečního záření zasklení | [-] |
| τ_r | Poměrná doba slunečního svitu | [-] |
| U | Součinitel prostupu tepla kolektoru | [W/m ² .K] |
| V_{2p} | Celková potřeba teplé vody za 1 den | [m ³ /den] |
| Z | Koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody | [-] |

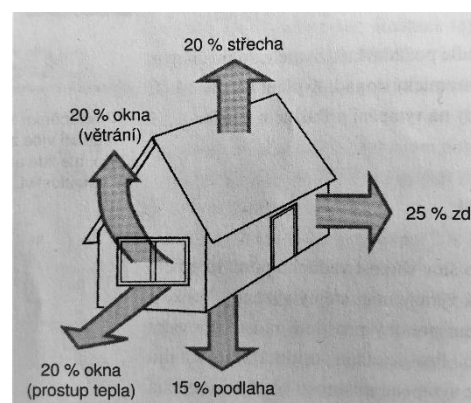
2 ÚVOD

Hlavní funkcí vytápění je zajistit lidem tepelnou pohodu, což znamená, aby obyvatelům domu nebylo horko ani zima a mohli podávat dobré pracovní výkony, či relaxovat. Pojem „tepelná pohoda“ není stanoven na konkrétní teplotu, ale jeho hodnota je pro různou denní dobu nebo i místnosti odlišná. Jeho doporučené teploty jsou uvedeny na *obrázku 1*. Je tedy velice důležité, aby byl otopný systém správně navržen a v provozu pracoval tak, jak se od něj očekává. Nezáleží pouze na příjemném prostředí, ale samozřejmě také na provozních nákladech, u kterých je snaha co největší minimalizace. Podstatou jejich dosažení je vhodně navržený otopný systém vzhledem k vytápěnému objektu. Ke snižování energetické náročnosti vytápění objektů přispívá především každoroční zdražování paliv, proto by se každý hospodárný člověk měl nad touto problematikou zamyslet. [1, 2]



Obrázek 1 Doporučené teploty místností pro tepelnou pohodu během dne [1]

Návrh správně fungujícího ústředního vytápění je vhodné provádět přes výpočet tepelných ztrát bytu nebo domu, které prostupem tepla přes stěnu unikají ven, a tím odebírají vnitřní teplo objektu. Aby tyto ztráty byly co nejmenší, je zapotřebí mít dům co nejlépe tepelně zaizolovaný a investice do dobrého zateplení a kvalitních materiálů oken by se tak měla vyplatit. [2]



Obrázek 2 Rozložení tepelných ztrát v rodinném domě [1]

Teoretická část této bakalářské práce se věnuje popisu nejběžnějších způsobů vytápění rodinných domů a zvažuje jejich výhody a nevýhody. V praktické části je pak názorně ukázáno, jak se vypočte maximální potřebný výkon zdroje tepla pomocí již zmíněných tepelných ztrát a na základě jeho hodnoty jsou vybrány 4 varianty vytápění rodinného domu, které jsou na závěr ekonomicky zhodnoceny a je u nich provedena citlivostní analýza pro různé situace.

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Zdroje tepla

Pod pojmem zdroj tepla si můžeme představit zařízení, které získává teplo pro vytápění. Existuje plno způsobů, jak vytápět a ohřívat užitkovou vodu v rodinném domě. Nejobvyklejší možnost je pomocí otopných těles (radiátory nebo konvektory) připojených na topný zdroj. Mezi zdroji tepla se dá vybírat z široké škály zařízení: elektrokotle, tepelná čerpadla, solární panely, kotle na biomasu atd... Při výběru zdroje tepla by se nemělo dbát pouze na pořizovací cenu, ale také na roční náklady za vytápění, které se u jednotlivých zdrojů mohou velice lišit. Dále by se měla brát v potaz životnost zařízení, záruka a servis. [1, 3]

V následujících podkapitolách budou postupně popsány nejvíce používané zdroje tepla v České republice.

3.1.1 Kotle

Kotle jsou nejběžnějšími zdroji tepla pro vytápění, kde se palivo spaluje přiváděním vzduchu a vytvoří se reakční teplo, které se teplonosnou látkou dostává do otopných těles. Kotle mohou být konstruovány pouze pro vytápění nebo mohou být tzv. kombi, kde je do systému vestavěn navíc zásobník pro ohřev vody, a jsou tak využívány pro obojí potřebu. Podle typu paliva se rozlišuje několik druhů kotlů. [1, 4]

3.1.1.1 Kotle na tuhá paliva

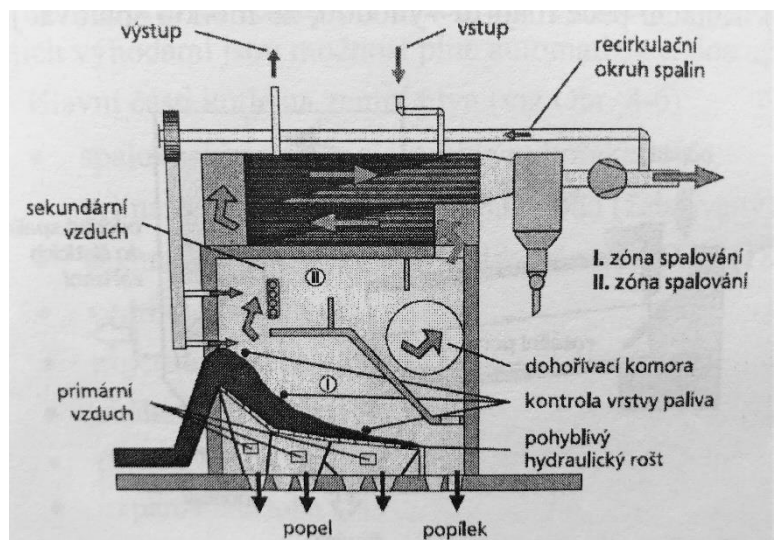
Do této skupiny se řadí kotle, pro něž jsou palivem uhlí, biomasa, zemědělské, průmyslové nebo komunální odpady. Aby bylo dodrženo bezpečné, ekologické a hospodárné spalování, je nezbytná znalost chemických i fyzikálních vlastností paliv. Každé z nich vyniká rozdílnou výhřevností, což je důležitý faktor pro výběr kotle, protože čím vyšší výhřevnost dané palivo má, tím méně ho potřebujeme. [5, 6, 7]

Pokud se někdo pro tento typ kotlů rozhodne, musí počítat s tím, že pro kotel musí být vyhrazená samostatná místnost, tzv. kotelna. Další povinností je komín, kterým se kouřové spaliny odvádějí ven. Podle přivádění paliva se dají tyto kotle rozdělit na kotle se samočinnou dodávkou paliva, kdy je palivo samočinně dodáváno v závislosti na požadovaném tepelném výkonu nebo na kotle s ruční dodávkou paliva, kde se palivo doplňuje ručně dle potřeby. Jako další rozdíl mezi kotli se nechá zmínit přísun spalovacího vzduchu, který může být buďto přirozený nebo nucený. V prvním případě je přísun závislý pouze na tahu komínu, kterým se

v ohništi vytvoří podtlak, díky němuž je pak vzduch nasáván speciálními otvory. V případě druhém je podtlak vytvářen a regulován za pomoci ventilátoru, kterým dosahujeme vyšší kontroly nad spalovacím procesem. [1, 8]

V dnešní době, kdy se bere velký zřetel na životní prostředí, je snaha co nejvíce omezit spalování uhlí kvůli jeho znečišťování ovzduší, a to zejména oxidy síry a prachovými částicemi, které lze u lokálních malých zdrojů vytápění jen obtížně snižovat, a zvyšuje se míra využívání biomasy. Dle osobního zvážení a kladnému vztahu k životnímu prostředí budou následující řádky o kotlích na biomasu, která je narozdíl od uhlí k přírodě šetrnější. [9,10]

Biomasa patří mezi obnovitelné zdroje energie a z její základní definice vyplývá, že biomasa je soubor všech nefosilních látek organického původu. Dá se tedy dělit na biomasu rostlinného (primární biomasa) a živočišného původu (sekundární biomasa). Tento druh paliva se může záměrně pěstovat nebo se získává z odpadů a zbytků zemědělské nebo živočišné výroby, dále z odpadů z lesní těžby a dřevozpracujícího průmyslu nebo odpadu komunálního. Pro vytápění se používá pouze primární, nejčastěji dřevní biomasa v různých formách, jako jsou



např. pelety, brikety, štěpka, *Obrázek 3 Kotel na biomasu se šikmým roštem [5]*

nebo kusové dřevo. Na druhou stranu má však primární biomasa v původním stavu nižší výhřevnost ve srovnání s jinými typy paliv především z důvodu vysokého obsahu vody. To zvyšuje nároky na skladovací prostory. Další nevýhodou biomasy je, že aby se výhřevnost zvýšila, a tím snížila její vlhkost, musí se sušit, čímž se zvyšuje její cena. [5, 10]

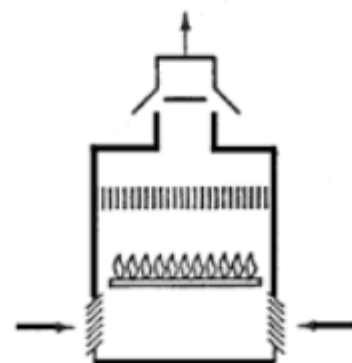
Výběr kotle na biomasu primárně záleží především na ztrátách vytápěného objektu, jak je tomu u všech zdrojů tepla. Výkon kotle musí být dostatečně vysoký, aby byl schopen tepelné ztráty překrýt a zajistit tak tepelnou pohodu. Je také ale nutné vzít v úvahu druh biomasy, který bude využíván, především s ohledem na možnost automatického dávkování do kotle a bezproblémového skladování, manipulace a dopravy.

V praktické části bude použit kotel na pelety, proto několik vět právě o něm. Pelety jsou slisované dřevěné válečky o průměru 6-20 mm a délkou 10-50 mm. Pro vytápění jsou výhodné zejména pro svou stabilní vlhkost a výhřevnost (15-17 MJ/kg). Dnes má již většina kotlů automatický dopravník paliva do spalovacího prostoru, a není tedy nutné ruční přikládání. Spálením pelet vzniká popel, napadá do popelníku, dál pokračuje do sběrné nádoby, ze které se vybere a může být použit jako hnojivo. To je další výhoda biomasy jako takové. Pelety je však potřeba uskladňovat na suchém místě, aby se nerozpadly vlivem vlhkosti. [10]

3.1.1.2 Kotle na plynná paliva

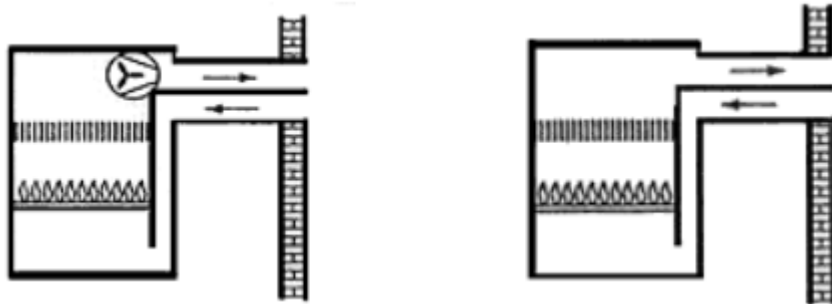
Vytápění a ohřev užitkové vody pomocí plynu je v současnosti jeden z nejčastějších způsobů. Jako palivo se v domácnostech se nejčastěji používá zemní plyn nebo propan-butan. Pořizovací i provozní náklady jsou na vytápění propan-butanem vyšší než u plynu, a tak je zaváděn pouze tehdy, pokud se nelze připojit na plynovod. Od roku 1996 do roku 2002 proběhla na území České republiky tzv. plynofikace, což znamená, že do řady míst, byť i s minimálním počtem odběratelů, byl zaveden plynovod se zemním plynem. Cena plynu je však nestabilní a neustále se mění, není tedy možné určit jeho cenu v budoucnu. Nyní se cena plynu za 1 MWh pohybuje kolem 1 400 Kč včetně DPH. [1, 11]

Kotlů na plyn se vyrábí plno druhů o různých výkonech začínajících na zhruba 5 kW. Podle způsobu přívodu vzduchu do kotle a odvodu spalin ven se rozlišují plynové spotřebiče typu B a C. Kotle typu B mají otevřenou spalovací komoru a přivádějí vzduch z místnosti, ve které jsou umístěny. Spaliny se odvádějí prostřednictvím komínu nebo kouřovodu. Schéma plynových kotlů názorně popisuje *obrázek 4*. Spotřebiče C jsou uzavřené a vzduch je přiváděn z venkovního prostoru, do kterého jsou spaliny opět odváděny. Mezi jejich představitele patří tzv.



Obrázek 4 Plynový spotřebič kategorie B [12]

turbokotel vyobrazený na *obrázku 5* vlevo. Napravo téhož obrázku je znázorněno plynové topidlo s přirozeným tahem. Na rozdíl od kotlů na tuhá paliva není zapotřebí mít pro kotel samostatnou místnost – kotelnu, ale v souladu s technickými požadavky na instalaci kotlů lze kotel umístit např. do chodby, prádelny či kuchyně. [2, 12]

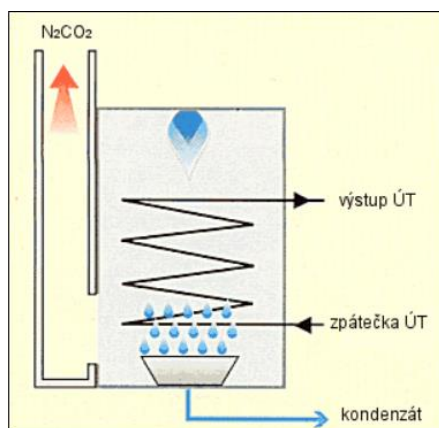


Obrázek 5 Plynové spotřebiče kategorie C [12]

Plynové kotle se podle způsobu provozu dále nechají rozdělit na kotle klasické, nízkoteplotní a kondenzační. Všechny tyto typy kotlů mohou být závěsné – jsou zavěšeny na stěnu nebo stacionární – jsou položeny na zemi. [2]

Kotle klasické a nízkoteplotní za provozu pracují se suchými spalinami. Pro kotle klasické je však hodnota vstupní vody omezena dolní hodnotou 60 °C a kotlová voda je po většinu otopného období neměnná. Účinnost klasických kotlů se pohybuje do cca 88 %. [13]

Nízkoteplotní kotle dokáží pracovat i s teplotami nižšími a to 35 až 40 °C. Teplota vody v kotli však není konstantní a jejich účinnost bývá do cca 92 %. [13]



Obrázek 6 Princip spalování zemního plynu kondenzačním ohřevem [15]

Kotle kondenzační, jak už z názvu vypovídá, využívají kondenzace spalin. Kondenzace znamená, že se spaliny ochladí pod teplotu rosného bodu a zkapalní. Tímto dějem se uvolní kondenzační teplo, které je dále použito pro ohřev vody otopné soustavy. Stručné schéma principu spalování zemního plynu prostřednictvím kondenzačního ohřevu je vidět na obrázku 6. Výrobci udávají u kondenzačních kotlů, že jejich účinnost dosahuje např. až 106 %. Tento údaj je však zavádějící, protože je zde účinnost počítána z celkové výhřevnosti, kdežto fyzikálně správně by

bylo počítat účinnost ze spalného tepla. Objektivnější hodnota pro kondenzační kotle je tedy 98 %, která vychází právě ze spalného tepla. I tak se jedná o vysokou hodnotu a kondenzační kotle tedy patří k nejúčinnějším kotlům. Jejich pořizovací cena je vyšší než u nízkoteplotních kotlů, a to především kvůli výměníku, který musí být z kvalitních materiálů, aby odolával korozi. [2, 13, 14]

3.1.1.3 Kotle na kapalná paliva

Tento druh kotlů od doby plynofikace ztratil své využití. Maximálně se tak používají v rekreačních objektech, kde není zaveden plynovod. Jejich palivem jsou převážně lehké topné oleje, které se snadno vzněcují a musí tak být pečlivě dbáno na jejich uskladnění a přepravu. Jedná se o automatický provoz, kdy není vyžadována každodenní obsluha a dá se jimi vytápět objekt i ohřívat užitková voda. [6, 16]

Od kotlů na plyn se liší především v hořáku, kde je požadavek na možnost jemného rozprášení paliva, které je v kapalném stavu. Tím se důkladně palivo promíchá se spalovacím vzduchem. Jejich pořizovací náklady jsou vyšší, jelikož je zapotřebí bezpečný zásobník paliva, samotný kotel, čerpadlo, regulátor a dopravní potrubí. Výrobci však slibují, že se investice vrátí na provozních nákladech, které jsou relativně nízké. Topné oleje je výhodné nakoupit v letním období, kdy je jejich cena výrazně nižší než v období zimním, a dá se tak ušetřit nemalá částka peněz. [5, 16, 17]

Při rozhodování nad tímto typem kotle je tedy třeba uvažovat aktuální cenu topného média a nelze také opomenout dopravení oleje od dodavatele. Je to ideální řešení tam, kde v blízké době nebude zaveden plynovod nebo tam z bezpečnostních důvodů nelze instalovat plynové zásobníky. [16]

3.1.1.4 Elektrokotle

Vytápění elektrokotlem je ekologické, čisté, bezobslužné, není potřeba komín, má vysokou účinnost (okolo 99 %) a mnoho dalších výhod. Důležitým faktorem, proč tento typ pro vytápění není moc oblíbený, je cena. Ačkoliv samotné zařízení moc nestojí, provozní náklady jsou vysoké. Cena elektrické energie neustále roste a není tak vhodné tímto způsobem vytápět celý objekt. Nebo alespoň ne každý. Pokud by se elektrokotlem chtěl výhodně vytápět celý objekt, muselo by se jednat o tzv. nízkoenergetický nebo pasivní dům, kde jsou tepelné ztráty velice nízké. Dále by se dal uvažovat malý obytný prostor, který má opět tepelné ztráty nízké. [2, 18]

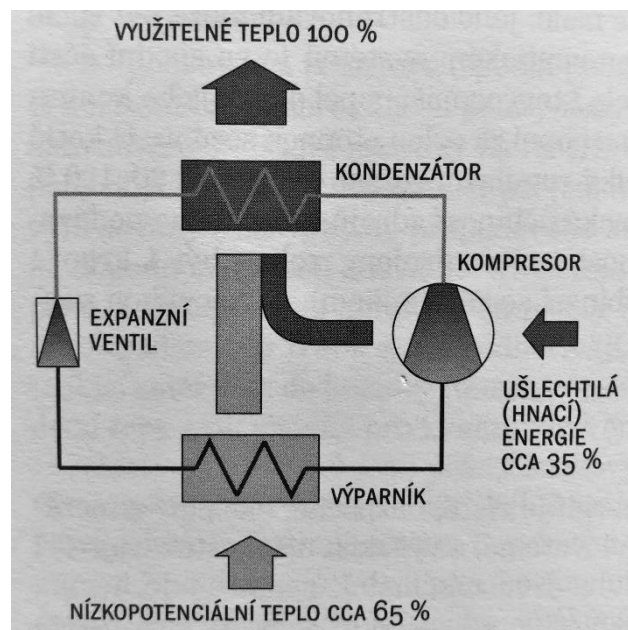
Elektrokotle se často používají v kombinaci s jiným zdrojem tepla. Jako příklad se dá uvést kombinace kotle na tuhá paliva s ručním přikládáním a elektrokotlem. Přes den slouží k vytápění kotel na tuhá paliva a v noci zajišťuje tepelnou pohodu elektrokotel, který bezobslužně běží přes celou noc. Jiná využívaná kombinace je například tepelné čerpadlo

s elektrokotlem. Elektrokotel pomáhá tepelnému čerpadlu udržet požadovanou vnitřní teplotu, když není výkon tepelného čerpadla dostačující. [18]

3.1.2 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla jsou v České republice stále více populárnější. Jedná se o tepelný stroj odebírající teplo z vnějšího prostředí, teplo se dále využije na ohřev jiné látky – vody na ústřední vytápění, užitkové vody nebo vody v bazénu. Nízkopotenciální energie, která je ochlazována, je vzata ze země, vody nebo okolního vzduchu. Tepelné čerpadlo nepracuje však samovolně a je zapotřebí mu dodávat elektrickou energii, aby se dané děje uskutečnily. [1, 10, 19, 20]

Tepelné čerpadlo se skládá ze 4 základních částí – výparníku, kompresoru, kondenzátoru a expanzního ventilu. Jeho názorné schéma lze vidět na obrázku 7. Výparníkem se nízkopotenciální teplo předává pracovní látce (chladiivu) oběhu, která se zde odpařuje. V kompresoru se látka stlačí na vysoký tlak, což má za následek zvýšení její teploty. Zde se navíc hnací elektrická energie mění na teplo, o které se již



Obrázek 7 Schéma tepelného čerpadla [2]

vytvořené teplo zvýší. Kondenzátor slouží k tomu, aby se teplo z chladicí kapaliny přeneslo do vody, která je využívána pro vytápění nebo ohřev užitkové vody, a zároveň zde chladivo kondenzuje. V expanzním ventilu chladivo expanduje a dochází k jeho ochlazení. Jako chladivo se u tepelných čerpadel nejběžněji používají fluorované uhlovodíky a jejich směsi. [1, 10, 21]

Hlavní výhodou tepelného čerpadla je, že vyrobí více energie, než kolik je mu potřeba elektrické energie dodat. To, jak je tepelné čerpadlo účinné, se zjistí z tzv. topného faktoru. Topný faktor je podíl tepla dodaného do vytápění ku energii pro pohon tepelného čerpadla. Čím je tedy jeho hodnota vyšší, tím lepší. Jeho rozsah je obvykle 2,5-3,5, někdy však i více, to záleží na typu tepelného čerpadla. Topný faktor však není po celý rok konstantní a je potřeba si uvědomit, že topný faktor udávající výrobci bude vždy pouze při ideálních podmínkách. [20]

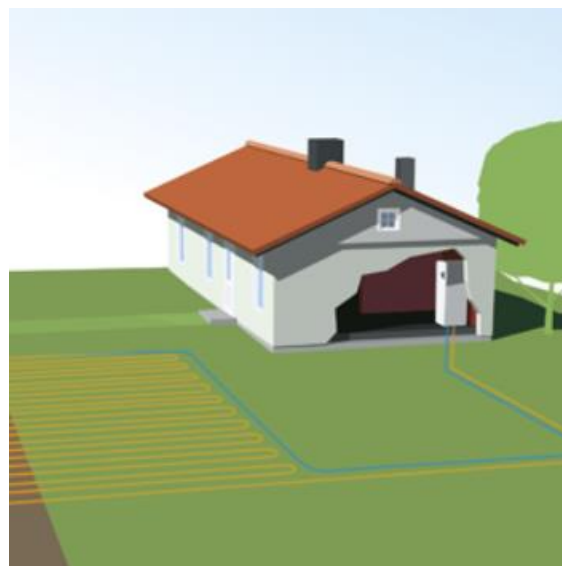
Podle toho odkud je bráno nízkopotenciální teplo a čemu je předáváno, se rozlišují základní systémy tepelných čerpadel, které budou dále vysvětleny. [10]

3.1.2.1 TČ země/voda

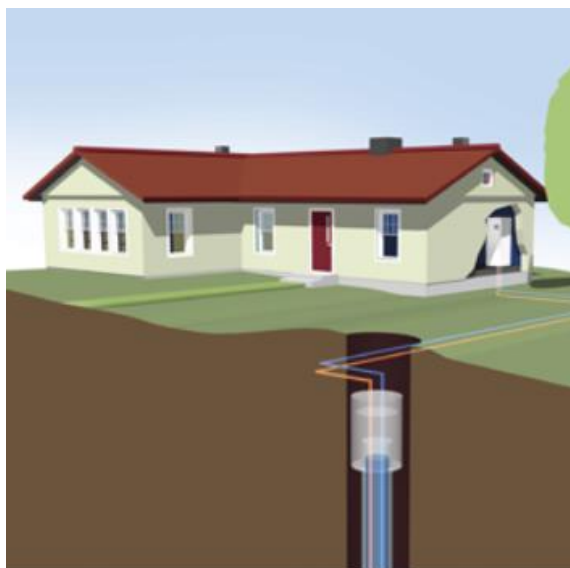
Systém tepelných čerpadel země/voda odebírá teplo z půdy, kde se nachází teplo geotermální a dále také teplo získané ze slunečního záření. Teplo ze země může být odebíráno dvojím způsobem – pomocí plošného kolektoru v povrchové vrstvě nebo prostřednictvím svislých vrtů. V obou případech je v zemi uložen polyetylenový výměník naplněný nemrznoucí směsí. [2, 19, 20]

Systémy s plošným kolektorem se nejvíce hodí pro rodinné domy s velkým pozemkem, protože plocha pro položení trubek musí být dostatečně velká, zhruba 250-350 m² pro tepelné čerpadlo s výkonem 10 kW. Názorná ukázka této soustavy je na *obrázku 8*. Aby se zemní kolektory daly položit, je zapotřebí zemina, která toto umožní. Dále je nutné znát přesnou polohu případných staveb (bazén, garáž) na zahradě, aby se jim hadovitě položený kolektor mohl vyhnout. [20, 22]

Mezi výhody TČ země/voda patří až o 30 % nižší provozní náklady v porovnání s tepelnými čerpadly vzduch/voda a také nižší pořizovací náklady oproti tepelnému čerpadlu země/voda s vrtů. Jedná se o bezhlučné zařízení nepotřebující údržbu. [22]



Obrázek 8 TČ země/voda s plošnými kolektory [22]



Obrázek 9 TČ země/voda se svislým vrtem [23]

Tepelná čerpadla země/voda s vrty mají výhodu v tom, že po celý rok je teplota ve vrtu relativně konstantní, topný faktor může být proto relativně vysoký a zejména po celý rok stabilní. Vyžadují jen malou plochu pozemku, tudíž je tento systém vhodný pro domy s menšími zahradami. Vrt, popř. vrty, se provádí v hloubce 80 až 250 m podle toho, jak velké má dům ztráty a jaké jsou geologické podmínky. Jejich hloubka musí být dostatečně velká, aby nedošlo k jejich zamrznutí. Tyto všechny přínosy jsou však na úkor vysoké pořizovací ceně. Musí se

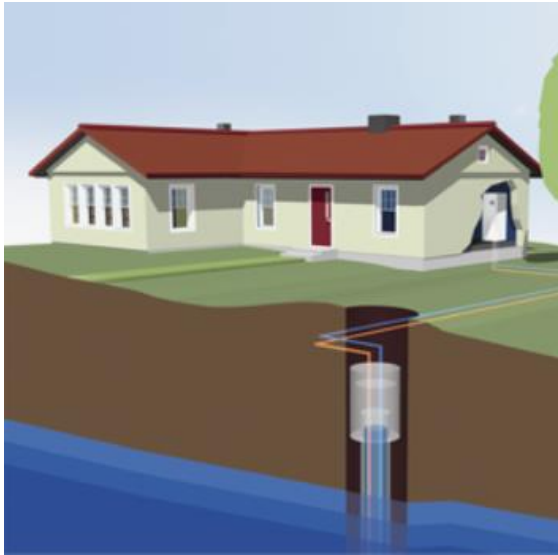
počítat s vyššími výdaji za samotné zařízení, ale také za zřízení požadovaného vrtu. Proto tento typ čerpadel není tak častý. Jeho schéma je vidět na obrázku 9. [20, 23]

3.1.2.2 TČ voda/voda

V tomto případě tepelných čerpadel se teplo získává ze spodní nebo povrchové vody. Povrchová voda však pro použití tepelných čerpadel není ideální, jelikož její teplota je relativně nízká a většinou je znečištěná. Pokud se jedná o spodní vodu, je zase nutné, aby se v okolí domu nacházel celoročně vydatný čistý vodní zdroj s vhodným složením. Tuto podmínku však splňuje jen málo míst v ČR, tudíž je instalace těchto typů tepelných čerpadel ojedinělá. [2, 19]

Pokud se však někdo pro tuto variantu rozhodne, vyvrtají se na jeho pozemku 2 studny. První se nazývá sací, ze které se odebírá voda jako zdroj tepla. V tepelném čerpadle je voda ochlazená dále je vedena do druhé studny zvané vsakovací. Ze vsakovací studni se voda vrací zpět do studně sací a během průtoku zemí je ohřívána. [2, 10, 20]

V případě spodní vody se jedná o systém s nejvyšším topným faktorem ze všech typů tepelných čerpadel a v porovnání s tepelnými čerpadly země/voda s vrty je pořizovací částka nižší. Typ s povrchovou vodou má pořizovací náklady dokonce ještě výrazněji nižší. Oba dva druhy jsou nakresleny na *obrázcích 10 a 11*. [24, 25]



Obrázek 10 TČ voda/voda s využitím spodní vody [24]



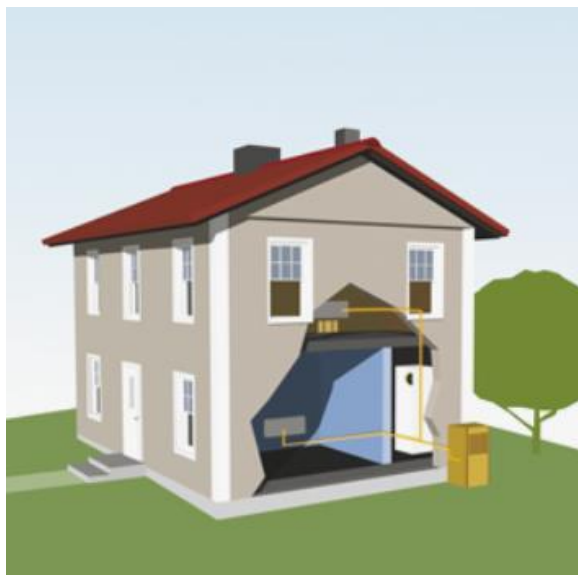
Obrázek 11 TČ voda/voda s využitím povrchové vody [25]

3.1.2.3 TČ vzduch/voda

Zřejmě nejpoužívanější typ tepelného čerpadla u nás, kde zdrojem nízkopotenciálního tepla je okolní vzduch. Vzduch je přístupný na všech místech a tato čerpadla se tedy dají instalovat všude, kde je přívod elektrické energie. Podle umístění a provedení čerpadla se rozlišují druhy:

- Vnější, kde je celé zařízení mimo vytápěný objekt, se kterým je spojena pomocí izolovaného potrubí s pracovní kapalinou. (*obrázek 12*)
- Vnitřní, kde je jednotka připojena přímo na otopnou soustavu a nachází se uvnitř domu.
- Kompaktní provedení, kde část zařízení (výparník) leží mimo objekt. Vnější a vnitřní část tepelného čerpadla spojuje rozvod s chladivem.

[2, 20]



Obrázek 12 TČ vzduch/voda s venkovní jednotkou [26]

Velkou nevýhodou tohoto zařízení je proměnlivá teplota vzduchu, která má za následek proměnlivost topného faktoru. S tím souvisí fakt, že provozní náklady na elektrickou energii v porovnání s ostatními typy tepelných čerpadel jsou o cca 30 % vyšší. Avšak oproti elektrickému nebo plynovému vytápění jsou náklady pořád ještě nižší. Další nepříznivá skutečnost je, že tepelná čerpadla vzduch/voda mohou mít hlučnější provoz. Ideální však není ani snížený výkon a nižší topný faktor čerpadla při nízkých venkovních teplotách. [2, 26]

Tento typ tepelných čerpadel je v České republice oblíbený díky nižším pořizovacím cenám. Jeho instalace je jednoduchá a nezáleží na velikosti pozemku. Ve srovnání oproti vytápění kotli, se jedná o čisté a bezpracné vytápění. [26]

3.1.2.4 TČ vzduch/vzduch

Tento druh tepelných čerpadel ohřívá přímo vnitřní vzduch z odebraného tepelného výkonu vzduchu venkovního. Jeho princip je tedy stejný jako u systému vzduch/voda, s tím rozdílem, že zde se teplo předá rovnou vzduchu uvnitř budovy. V místě, kde se střetne znehodnocený a čerstvý vzduch, je rekuperátor, který ohřívá venkovní čerstvý vzduch. Tepelná čerpadla tohoto typu tedy nelze použít pro ohřev vody, ale pouze k vytápění objektu, který by neměl mít příliš mnoho malých místností.

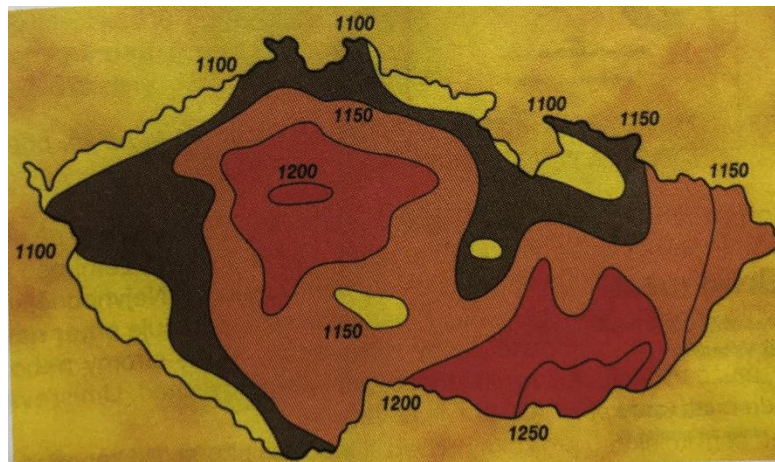


Obrázek 13 TČ vzduch/vzduch [27]

Nevýhodou je hlučnost vnitřní jednotky, pokud čerpadlo jede na plný výkon. Většinou však tento systém bývá vybaven chladicí funkcí a jeho provoz ocení uživatelé i v létě. Největší výhodou je jeho pořizovací cena, která je ze všech typů tepelných čerpadel nejnižší. [2, 27]

3.1.3 Solární energie

Na území ČR ročně dopadne v průměru na 1 m² 800-1250 kWh sluneční energie (obrázek 14), využití solární energie pro vytápění je proto do určité míry možné. Přeměna sluneční energie na energii tepelnou probíhá pomocí solárních (slunečních) kolektorů. Takto vzniklou energií se pak ohřeje teplotnosné médium (vzduch nebo voda). Teplota tohoto média však není dostatečně vysoká, aby se s ní dal vytopit celý dům. Solární zařízení je tedy vhodné na přitápění jako doplňkový zdroj tepla nebo jako zdroj k ohřevu užitkové vody či bazénů. [1, 2, 10, 28, 29]



Obrázek 14 Průměrné množství slunečního záření na území ČR v kWh za rok na 1 m² [10]

Sluneční záření není po celý rok rovnoměrné a je samozřejmé, že podstatně více paprsků vyzáří Slunce během letních měsíců než v zimě. S tím je potřeba počítat při dimenzování solárního kolektoru. V létě se díky větší sluneční energii vyrobí v kolektorech více tepla, které však musí být odebráno, aby nedošlo k přehřívání kapaliny v kolektorovém okruhu. Pak se tedy přebytečná teplá voda může použít např. k přehřívání bazénové vody. [10]

Aby kolektory zachytily slunečního záření co nejvíce, musí být správně natočeny a mít takový sklon, aby paprsky směřovaly na plochu kolektorů pod úhlem 90°. Úhel dopadu paprsků je však každý měsíc jiný, jak je vidět v *tabulce 1*, a kolektor by se tedy ideálně během roku musel mechanicky natáčet. Toto řešení však není ekonomicky výhodné. Aby se i přesto dosáhlo dobrého ročního zisku, volí se nejčastěji sklony kolektorů 30°, 45° nebo 60° směrem na jižní stranu. Pokud by jižní strana byla stíněna, natočí se kolektory směrem na jihozápad, případně jihovýchod. Jejich konstrukce bývá nejčastěji připevněna na střechy domů, můžou být však položeny na zemi, na garáži nebo namontovány na stěnu. [10, 28]

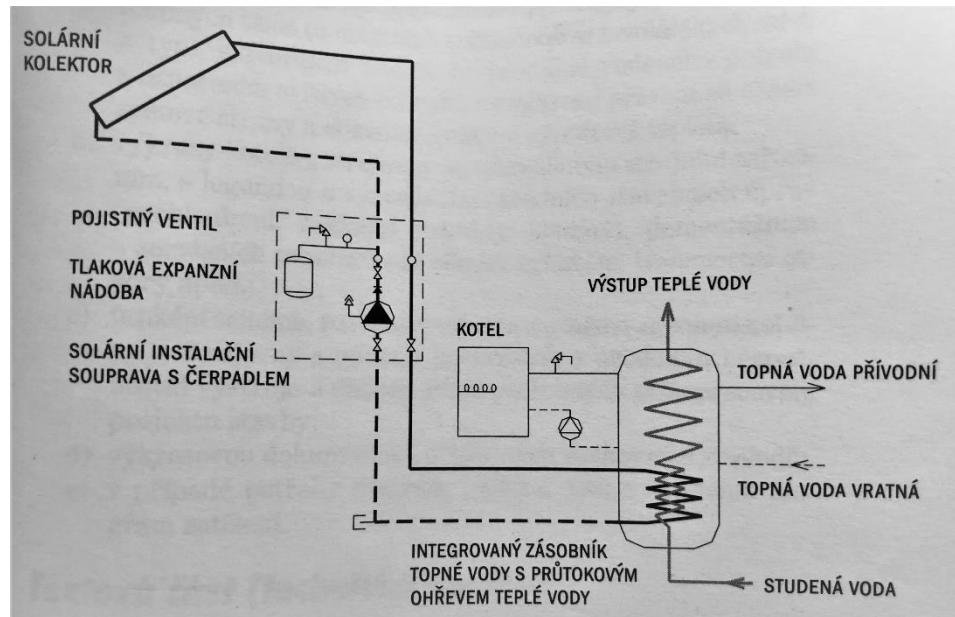
Tabulka 1 Doporučené úhly dopadu přímého slunečního záření [10]

| Měsíc | Úhel dopadu paprsků | Sklon kolektorů |
|----------|---------------------|-----------------|
| Leden | 19 | 71 |
| Únor | 27 | 63 |
| Březen | 38 | 52 |
| Duben | 50 | 40 |
| Květen | 59 | 31 |
| Červen | 63 | 27 |
| Červenec | 61 | 29 |
| Srpen | 54 | 36 |
| Září | 43 | 47 |
| Říjen | 32 | 58 |
| Listopad | 22 | 68 |
| Prosinec | 17 | 73 |

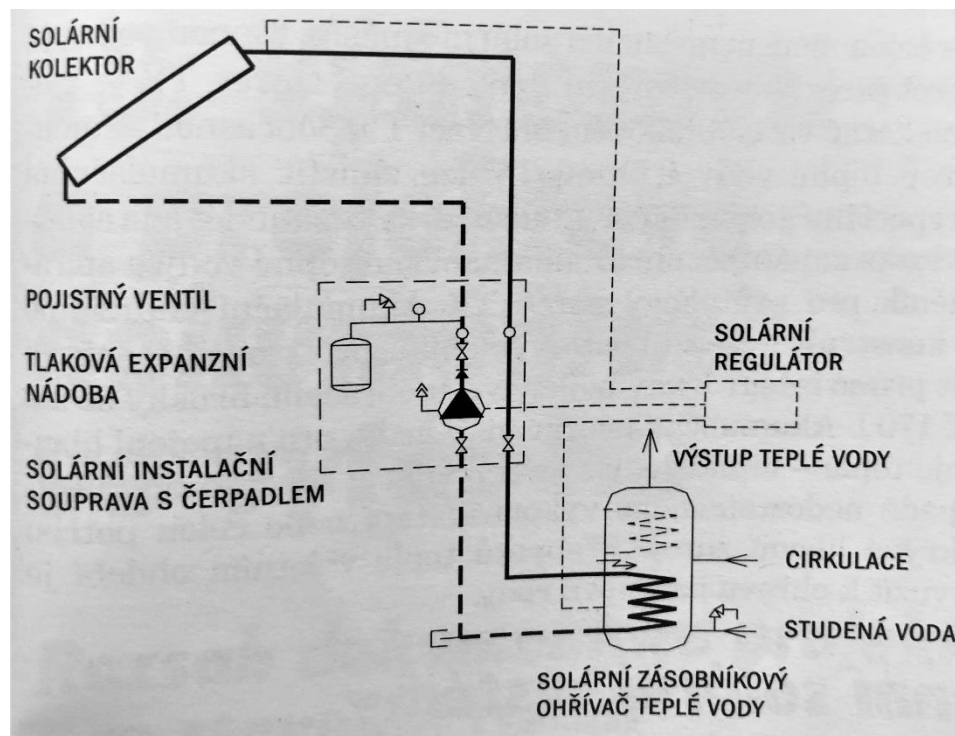
Solární soustava se skládá z dílčích částí: solárního kolektoru, solárního okruhu a tepelného zásobníku. Kolektor je nejhlavnější část celé solární soustavy a jeho úkolem je pohlcovat sluneční energii, kterou následně přemění na teplo. Podle teplosměrné látky, která jimi proudí, se rozlišují kolektory vzduchové nebo kapalinové. Co se týče tvaru jsou ploché typy kolektorů nebo trubicové. Jejich výkon závisí především na velikosti plochy absorbující sluneční záření. Během roku se vystavují nepříznivým jevům (děšť, kroupy, vítr) a v zimě čelí nánosům sněhu, tudíž musí být velice odolné. Solární okruh zajišťuje převedení tepla získaného z kolektoru do tepelného zásobníku nebo rovnou k přímé spotřebě. Skládá se z potrubí, armatur, pojistných zařízení, řídicí jednotky, tepelného výměníku atd... Zásobník je zase potřebný pro uchování tepla z bohatých period na záření pro to období, kdy Slunce moc paprsků nevyzařuje. Jedná se však o krátkodobou akumulaci, tudíž uchování tepla je možné pouze v řádech pár dní. [10, 28]

Použití solárních soustav, jak už bylo zmíněno, je omezeno nižší teplotou vody získané v zimních měsících. Proto se jeho 100% využití předpokládá pouze v jarních a podzimních měsících. V období zimy tedy bývá zapotřebí nakombinovat solární soustavu s jiným zdrojem tepla. Tím je zpravidla kotel na různá paliva. Soustavě takto propojené s jiným zdrojem tepla se říká bivalentní a její varianta bude použita i v praktické části. Schéma tohoto zapojení je na

obrázku 15. Pokud by solární zařízení bylo jediným zdrojem tepla a nebylo s ničím propojené, nazývá se soustavou monovalentní (obrázek 16). [10]



Obrázek 15 Schéma zapojení kombinovaného zásobníku s průtokovým ohřevem teplé vody [2]



Obrázek 16 Schéma solárního ohřevu teplé vody [2]

V neprospěch tohoto systému hraje již zmíněný fakt, že není schopen sám vytopit celý objekt a je zapotřebí využití i jiného zdroje tepla. Sluneční záření je velice proměnlivé, mění se s počasím, proto není zcela lehké kolektor správně nadimenzovat. [28]

Výhodou solární energie je, že se jedná o obnovitelný zdroj a bude tedy neustále k dispozici. Jejím používáním se neprodukuje žádné emise a v tomto ohledu se tak jedná o ekologický způsob přitápění a ohřevu užitkové vody. Co se však týče jejich výroby a likvidace, nelze o šetrnosti k životnímu prostředí hovořit. Není zde náročnost na velikost pozemku, kolektory se dají instalovat i v husté městské zástavbě. Jejich životnost se předpokládá 25 až 30 let, a je tedy dobré zvážit, zda se do nich investice vyplatí. [28, 30]

3.2 Čistá současná hodnota (ČSH)

V praktické části se budou jednotlivé možnosti vytápění hodnotit pomocí finančního ukazatele Čisté současné hodnoty (ČSH). Tato dynamická metoda pro vyhodnocování investičních projektů pracuje s časovou hodnotou peněz a pomocí diskontního faktoru předpovídá hodnotu peněz v budoucnu. V oblasti energetiky se počítá s diskontní sazbou 10 %. Dále je ve vzorci ČSH zohledňována předpokládaná životnost investice, která je s ohledem na životnost použitých zařízení volena na dobu 20 let. Je snaha o co nejvyšší kladnou hodnotu ČSH, protože její výsledek říká, kolik peněz realizace investičního projektu přinese. V případě této bakalářské práce se však do peněžních toků započítávají pouze výdaje za energie, popř. palivo. Nejsou tedy žádné výnosy a u všech variant bude výsledek ČSH záporný. Nejvýhodněji bude vycházet ta možnost vytápění, jejíž ČSH se bude nejvíce blížit 0. [6,38,39]

Vzorce ČSH, které budou použity ve výpočtech praktické části dle [38]:

$$dCF_i = CF_i * DF_i = CF_i * \frac{1}{(1+r)^i}$$

dCF_i ... diskontované cash-flow v i-tém roce

DF_i diskontní faktor v i-tém roce

r diskontní sazba

i rok životnosti investice 1 až n

$$ČSH = -INV + \sum_{i=1}^n dCF_i$$

4 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části bakalářské práce jsem se zabývala 4 variantami vytápění a ohřevu užitkové vody v rodinném domě. Tepelná ztráta rodinného domu byla zadána vedoucím práce. Jedná se o rodinný dům pro 4 osoby, kde jeho celkové teplo na vytápění činí 104 GJ/rok.

Nejdříve se tedy musel určit maximální potřebný topný výkon z roční spotřeby tepla pomocí denostupňové metody, aby se zjistilo, jak výkonné zdroje tepla budou pro tento rodinný dům potřeba. Dále se spočítal potřebný výkon pro ohřev vody, který se následně přičetl k potřebnému výkonu na vytápění a získal se tak maximální výkon zdroje tepla, který bude rodinný dům potřebovat.

Následně byly navrženy 4 různé varianty vytápění domu. Pro první variantu byl vybrán na vytápění i ohřev vody kondenzační kotel Viadrus K5 na zemní plyn. Ve druhé variantě byl zvolen pouze pro vytápění kondenzační kotel Panther Condens 12 KKO na zemní plyn a jako zdroj pro ohřev teplé vody byl volen elektrický bojler Tatramat EOV – 100. Třetí variantu představuje tepelné čerpadlo typu země/voda s vrtem. A poslední čtvrtá varianta je kombinace kotle na pelety Atmos D 15 PX na vytápění i ohřev vody a solárních panelů Q7-3000-FKN/V od rakouské firmy GREENoneTEC, které částečně zaštiťují potřebný výkon na ohřev vody. [31, 32, 33, 34, 35, 36]

V jednotlivých variantách bylo přepočteno potřebné teplo na spotřebu paliva či elektrické energie, přičemž se zohledňovala účinnost daného zařízení. Dále se na základě těchto vypočtených a zjištěných hodnot provedlo ekonomické zhodnocení metodou finančního ukazatele čisté současné hodnoty (ČSH).

Ceny elektrické energie nebo plynu nejsou stabilní, a je tedy nutné počítat s jejich budoucím zdražením nebo méně pravděpodobně s jejich zlevněním. Proto je v této bakalářské práci také provedena citlivostní analýza, aby se ukázalo, jak jednotlivé varianty reagují na změnu ceny paliva či elektřiny.

Na závěr jsou všechny čtyři vybrané varianty porovnány a je diskutováno, která z nich by se jevila jako nejlepší.

4.1 Výpočet

Zadané hodnoty: Potřebné teplo na vytápění domu $Q_v = 104 \text{ GJ/rok} = 28,89 \text{ MWh/rok}$

4.1.1 Určení maximálního potřebného topného výkonu z roční spotřeby tepla pomocí denostupňové metody

Následující hodnoty voleny dle [37]:

Tabulka 2 Hodnoty pro výpočet potřebného topného výkonu

| | | |
|-----------------|-----------|---|
| d | 258 [dní] | Počet dnů otopného období |
| t _{is} | 20 [°C] | Průměrná vnitřní teplota vytápěného objektu |
| t _{es} | 4,5 [°C] | Průměrná venkovní teplota během otopného období |
| t _e | -15 [°C] | Venkovní výpočtová teplota |
| η _o | 0,95 [-] | Účinnost rozvodu vytápění |
| η _r | 0,95 [-] | Účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy |
| E | 0,765 [-] | Opravný součinitel |

$$D = d * (t_{is} - t_{es}) = 258 * (20 - 4,5) = 3999 \text{ den.K}$$

$$Q_c' = \frac{Q_V * \eta_o * \eta_r * (t_{is} - t_e)}{\varepsilon * 24 * D * 3,6 * 10^{-3}} = \frac{104 * 0,95 * 0,95 * (20 - 4,5)}{0,765 * 24 * 3999 * 3,6 * 10^{-3}} = 12,43 \text{ kW}$$

Aby bylo možné zajistit průměrnou vnitřní teplotu v objektu i v případě poklesu venkovní teploty -15 °C, byla k 12,43 kW připočtena 20% rezerva.

$$Q_c = \frac{Q_c' * 120}{100} = 14,91 \text{ kW}$$

4.1.2 Potřebné teplo pro ohřev vody

Výpočet je realizován pro 4 osoby, kdy se počítá se spotřebou teplé vody 0,082 m³ za den na jednu osobu.

Vstupní hodnoty voleny dle [37]:

Tabulka 3 Hodnoty pro výpočet denní potřeby tepla pro ohřev teplé vody

| | | |
|-----------------|---------------------------|--|
| t ₁ | 10 °C | Teplota studené vody |
| t ₂ | 55 °C | Teplota ohřáté vody |
| V _{2p} | 0,328 m ³ /den | Celková potřeba teplé vody za 1 den |
| ρ | 1 000 kg/m ³ | Měrná hmotnost vody |
| C | 4 186 J/kg.K | Měrná tepelná kapacita vody |
| Z | 0,5 | Koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody |

pozn.: Koeficient energetických ztrát Z byl volen dle [37] pro rozvody v nových stavbách, které mají vyšší izolační schopnosti.

Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody:

$$Q_{TUV.d} = (1 + z) * \frac{\rho * c * V_{2p} * (t_2 - t_1)}{3600}$$

$$Q_{TUV.d} = (1 + 0,5) * \frac{1\,000 * 4\,186 * 0,328 * (55 - 10)}{3600}$$

$$Q_{TUV.d} = 25\,743,9 \text{ Wh}$$

$$Q_{TUV.d} = 92,68 \text{ MJ (pozn.: 1 Wh = 3 600 J)}$$

Tabulka 4 Hodnoty pro výpočet roční potřeby tepla pro ohřev teplé vody

| | | |
|------------------|---------|--------------------------------------|
| t _{svl} | 15 °C | Teplota studené vody v létě |
| t _{svz} | 5 °C | Teplota studené vody v zimě |
| N | 365 dnů | Počet pracovních dní soustavy v roce |

Roční potřeba tepla pro ohřev teplé vody:

$$Q_{TUV.r} = Q_{TUV.d} * d + 0,8 * Q_{TUV.d} * \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} * (N - d)$$

$$Q_{TUV.r} = 92,68 * 258 + 0,8 * 92,68 * \frac{55 - 15}{55 - 5} * (365 - 258)$$

$$Q_{TUV.r} = 8\,404\,868,47 \text{ Wh/rok}$$

$$Q_{TUV.r} = 30,26 \text{ GJ/rok}$$

Potřebný výkon zařízení na ohřev vody:

$$Q_{cv} = \frac{Q_{TUV.r} [\text{Wh/rok}]}{8\,760} = 959,46 \text{ W}$$

$$Q_{cv} = 0,959 \text{ kW}$$

4.1.3 Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev užitkové vody

$$Q_r = Q_v + Q_{TUV.r} = 104 + 30,26 = 134,26 \text{ GJ/rok}$$

$$Q_r = 37,29 \text{ MWh/rok}$$

Potřebný celkový výkon zdroje tepla na vytápění a ohřev vody:

$$Q_{cvt} = Q_c + Q_{cv} = 14,91 + 0,959 = 15,97 \text{ kW}$$

4.2 Sestavení křivek

Pro přehlednost a názornost dané problematiky byly v programu Excel vytvořeny grafy, které zachycují, jak se teploty během otopného období mění. Díky tomu je možné snadno z grafu vyčíst, kdy bude jaké množství energie dodávané na vytápění domu.

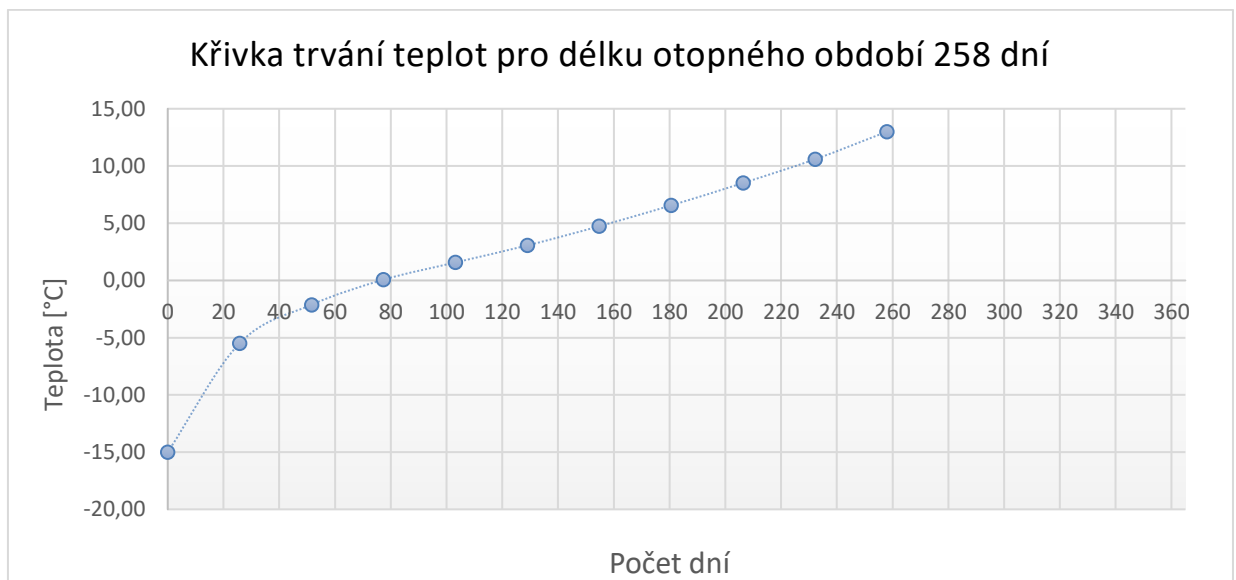
4.2.1 Standardní křivka trvání teplot (ze statistiky ČHMÚ) pro délku otopného období 258 dní

Pro vytvoření standardní křivky byly použity statistické hodnoty ČHMÚ trvání teplot během roku. Statistika zahrnuje pouze teploty do 13 °C, která je považována za konec otopného období:

Tabulka 5 Venkovní teploty pro dny během otopného období

| Počet dní | t_e |
|-----------|--------|
| 0 | -15,00 |
| 25,8 | -5,48 |
| 51,6 | -2,12 |
| 77,4 | 0,06 |
| 103,2 | 1,58 |
| 129 | 3,06 |
| 154,8 | 4,74 |
| 180,6 | 6,56 |
| 206,4 | 8,52 |
| 232,2 | 10,59 |
| 258 | 13,00 |

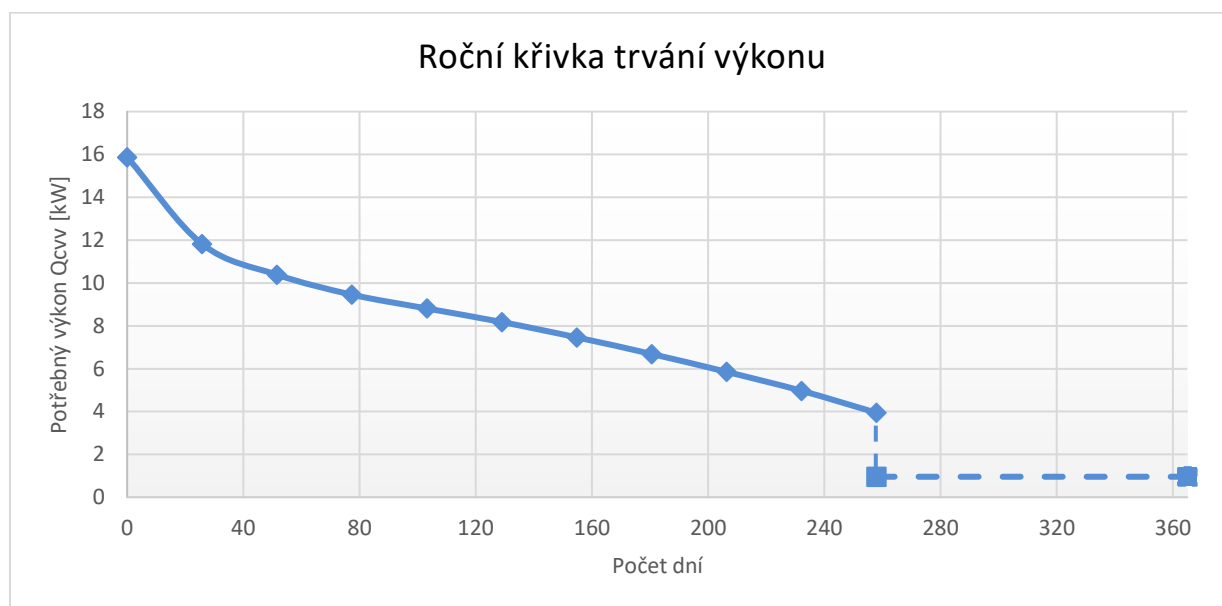
Grafické znázornění je uvedeno na *obr. 17*.



Obrázek 17 Křivka trvání teplot

4.2.2 Roční křivka trvání výkonu (tj. závislost potřebného výkonu zdroje na počtu dní)

Maximální potřebný výkon zdroje tepla na vytápění a ohřev vody vyšel 15,87 kW, avšak tato hodnota bude potřebná pouze tehdy, pokud venkovní teplota dosáhne $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (může i méně, jelikož u zdroje tepla je připočítána 20% rezerva). Jaké jsou nároky na zdroj během roku se zjistí právě z roční křivky trvání výkonu, která byla pro tento typ rodinného domu vytvořena pomocí vypočtených veličin.



Obrázek 18 Roční křivka trvání výkonu

Na křivce zobrazené na obr. 18 je názorně vidět, že zdroj tepla na vytápění je potřebný jen během otopného období, což je 258 dní, zatímco ohřev teplé vody požaduje zdroj po celý rok.

4.3 Volba variant na vytápění a ohřev vody v rodinném domu

Rodinné domy je možno vytápět několika možnými způsoby, které jsou podrobněji popsány v teoretické části bakalářské práce. Pro srovnání jsou navrženy 4 varianty.

4.3.1 Varianta 1 = kondenzační kotel

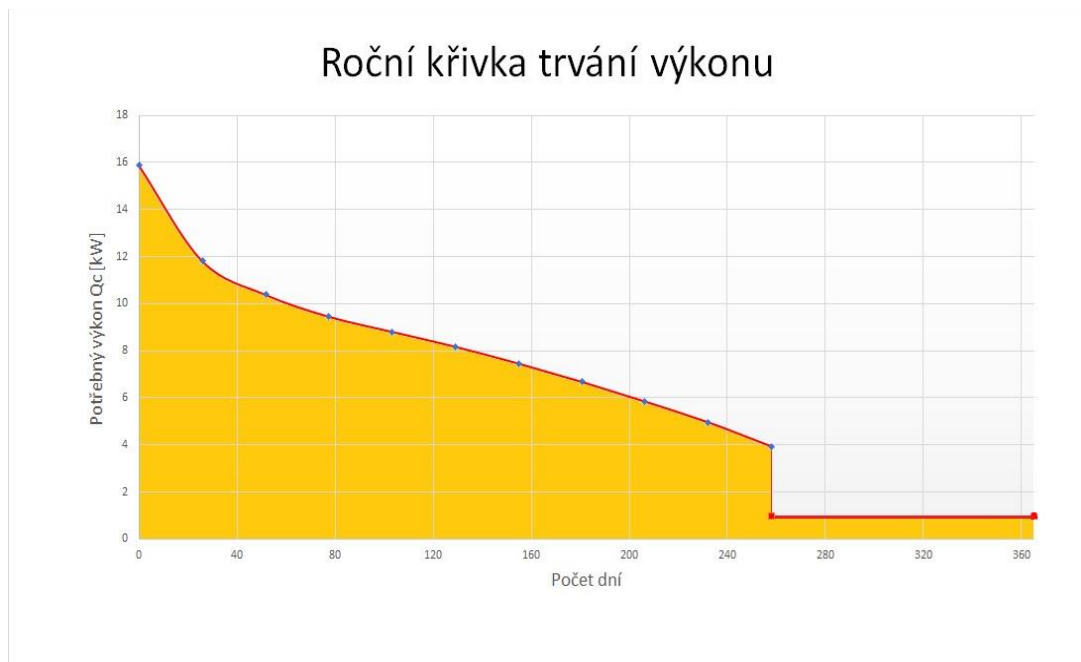
Jak již bylo zmíněno, první variantou je kondenzační kotel, který svým výkonem pokryje jak vytápění domu, tak i ohřev vody. Byl vybrán kondenzační plynový kotel VIADRUS K5 s výkonem 4-20 kW, jehož palivem je zemní plyn nebo propan. [32]



Jedná se o moderní nástěnný kondenzační kotel s vestavěným 60 litrovým zásobníkem na vodu s dobou ohřevu 14 minut. U tohoto typu kotle je možnost zapojení a spolupráce s alternativními zdroji tepla, jako jsou například solární systémy nebo kotle na biomasu. V této variantě se však bude počítat pouze s kotlem samotným. [32]

Jeho výkon dokáže pokrýt veškeré energetické potřeby domu na vytápění i ohřev vody, a to také můžeme vidět na roční křivce trvání výkonu vyobrazené na obr. 20.

Obrázek 19 Kondenzační plynový kotel VIADRUS K5 [32]



Obrázek 20 Roční křivka trvání výkonu pro variantu 1

Ačkoliv výrobce udává účinnost 108 %, bude se na doporučení vedoucího počítat s průměrnou účinností kondenzačního kotle 90 %. Jak je možná větší než 100% účinnost u kondenzačních kotlů, je vysvětleno v kapitole 2.1.1.2 v teoretické části.

4.3.1.1 Celková spotřeba plynu kondenzačního kotle s účinností 90 %

$$Q_{rpV1} = \frac{Q_r * 100}{90} = \frac{37,29 * 100}{90} = 41,44 \text{ MWh/rok}$$

Z ceníku Standard plyn energetické společnosti E.ON pro přepočtenou roční spotřebu od 30 do 45 MWh/rok byla zjištěna cena plynu 1 371,11 Kč vč. DPH za jednu MWh. Tato cena již v sobě obsahuje regulované složky platby za plyn. [11]



Ceník Standard plyn
(nebo také „Ceník prodejních cen dodávky zemního plynu pro maloodběratele a domácnosti s měřením typu C1 (ročně fakturovaní zákazníci)“)



Ceník zahrnuje obchodní ceny platné od 19. 11. 2018 a regulované ceny pro distribuční území **E.ON Distribuce, a.s.** na rok 2019.

Produkt **Standard plyn**

Obchodní a regulované ceny

| Přepočtená roční spotřeba od – do (včetně) MWh/rok | Obchodní cena (cena za dodávku plynu) | | Daň ze zemního plynu ¹ Kč/MWh | Regulovaná cena (cena za související služby v plynárenství) | | | Celková cena | |
|---|---------------------------------------|-----------------------|---|---|--|---|-----------------------|-------------------------------|
| | Komoditní cena (Kč/MWh) | Stálý plat (Kč/měsíc) | | Cena za distribuovaný plyn (Kč/MWh) | Cena za činnosti operátora trhu (Kč/MWh) | Stálý plat za přistavenou kapacitu (Kč/měsíc) | Celková cena (Kč/MWh) | Celkový stálý plat (Kč/měsíc) |
| do 1,89 | 1056,00 1 277,76 | 25,00 30,25 | 30,60 37,03 | 522,04 631,67 | 2,05 2,48 | 71,60 86,64 | 1580,09 1 911,91 | 96,60 116,89 |
| od 1,89 do 7,56 | 891,00 1 078,11 | 53,00 64,13 | 30,60 37,03 | 356,88 431,82 | 2,05 2,48 | 97,59 118,08 | 1 249,93 1 512,42 | 150,59 182,21 |
| od 7,56 do 15 | 863,00 1 044,23 | 142,00 171,82 | 30,60 37,03 | 315,44 381,68 | 2,05 2,48 | 123,60 149,56 | 1 180,49 1 428,39 | 265,60 321,38 |
| od 15 do 25 | 863,00 1 044,23 | 142,00 171,82 | 30,60 37,03 | 298,22 360,85 | 2,05 2,48 | 144,96 175,40 | 1 163,27 1 407,56 | 286,96 347,22 |
| od 25 do 30 | 863,00 1 044,23 | 142,00 171,82 | 30,60 37,03 | 268,10 324,40 | 2,05 2,48 | 207,40 250,95 | 1 133,15 1 371,11 | 349,40 422,77 |
| od 30 do 45 | 863,00 1 044,23 | 268,00 324,28 | 30,60 37,03 | 268,10 324,40 | 2,05 2,48 | 207,40 250,95 | 1 133,15 1 371,11 | 475,40 575,23 |
| od 45 do 63 | 863,00 1 044,23 | 268,00 324,28 | 30,60 37,03 | 239,29 289,54 | 2,05 2,48 | 314,91 381,04 | 1 104,34 1 336,25 | 582,91 705,32 |
| | 1a | 2a | 3a | 4a | 5a | 6a | 7a | 8a |

Obrázek 21 Ceník Standard plyn [11]

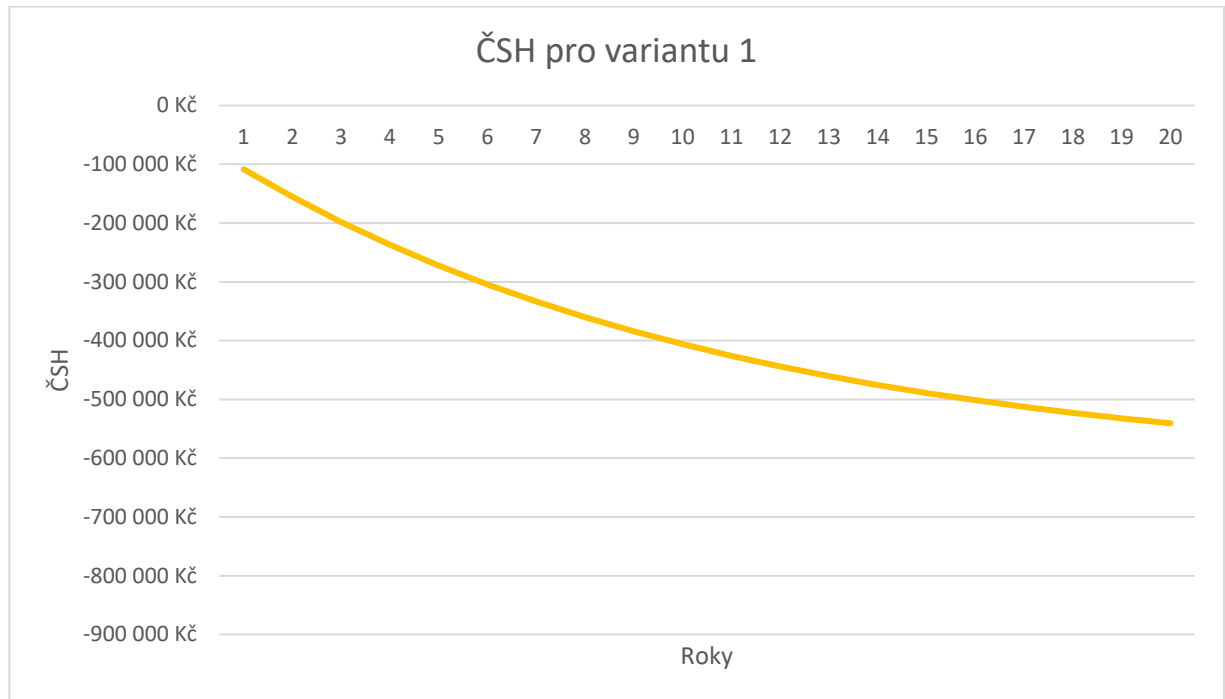
4.3.1.2 Ekonomické zhodnocení varianty 1

Tabulka 6 Přehled cen a spotřeby pro první variantu [11,31]

| | |
|----------------|-------------------------|
| Cena kotle | 56 900,00 Kč vč. DPH |
| Cena plynu | 1 371,11 Kč/MWh vč. DPH |
| Spotřeba plynu | 41,44 MWh/rok |

$$\check{C}SH = -56\,900 + \sum_{i=1}^{20} dCF_i$$

$$\check{C}SH = -540\,601,37 \text{ Kč}$$



Obrázek 22 Graf ČSH pro variantu 1

4.3.2 Varianta 2 = kondenzační kotel + elektrický bojler

Druhou variantu představuje kondenzační kotel na vytápění a elektrický bojler na ohřev vody. Hlavní myšlenkou této varianty je porovnání kombinace méně výkonného kondenzačního kotle s elektrickým bojlerem vůči výkonnějšímu kondenzačnímu kotli z varianty 1.

Pro tuto možnost vytápění byl vybrán kondenzační kotel Panther Condens 12 KKO s výkonem 4,4-13,2 kW určený pouze pro vytápění. Z roční křivky trvání výkonu (obr. 25) je poznat, že tento kotel nám vytápěcí část zcela nepokryje, ale jelikož se na začátku připočetla 20 % rezerva, může se tento kotel použít. Výrobce kotle udává vysokou účinnost, a to dokonce až 109,5 %. Tato hodnota však vychází z definice spalného tepla



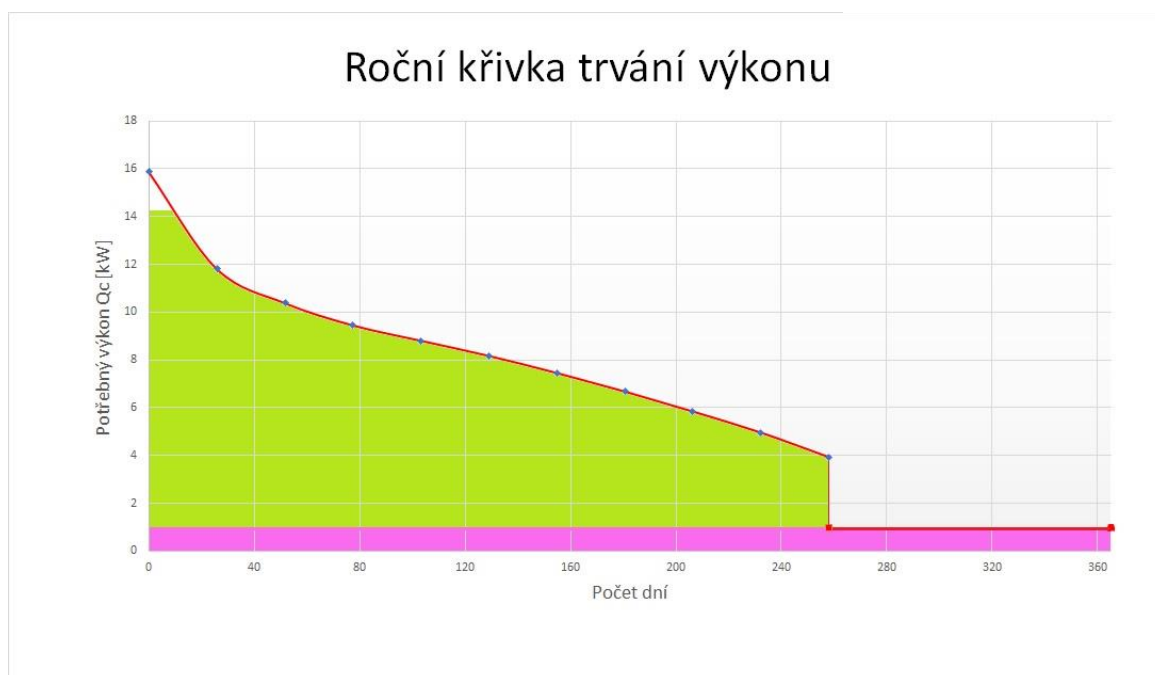
Obrázek 23 Kondenzační kotel Panther Condens 12 KKO [32]

jako u předchozí varianty, a proto je výpočtech počítáno s účinností opět 90 %. [32]

Na ohřev vody v této variantě bude sloužit elektrický bojler Tatramat EOV-100 s objemem 100 litrů a jmenovitým výkonem 0-2 kW. [33]



Obrázek 24 Elektrický bojler Tatramat EOV-100 [33]



Obrázek 25 Roční křivka trvání výkonu pro variantu 2

Zelená barva v grafu představuje pokrytí kondenzačním kotlem Panther Condens 12 KKO a růžová elektrický bojler Tatramat EOV – 100 pro celoroční ohřev vody.

4.3.2.1 Celková spotřeba plynu kondenzačního kotle s účinností 90%

$$Q_{rpV2} = \frac{Q_v * 100}{90} = \frac{28,89 * 100}{90} = 32,10 \text{ MWh/rok}$$

Cena plynu je vzata z ceníku společnosti E.ON stejně jako u první varianty a činí tedy 1 377 Kč/MWh vč. DPH. [11]

4.3.2.2 Celková spotřeba elektřiny elektrického bojleru s účinností 98 %

$$Q_{rev2} = \frac{Q_{TUV,r} * 100}{98} = \frac{8,40 * 100}{98} = 8,58 \text{ MWh/rok}$$

V ceníku elektřiny byl volen orientační typ spotřeby „ohřev vody nebo vytápění akumulacími kamny“, kde se cena v nízkém tarifu rovná 1 702,25 Kč/MWh, která však nezahrnuje regulované položky platby za elektřinu. Ve výpočtu se předpokládá, že elektrický bojler bude v provozu pouze v období nízkého tarifu (ovládání např. pomocí HDO). [40]

Tabulka 7 Ceny složek elektřiny pro distribuční sazbu D 26d [40]

| | Cena [Kč] | Cena za 1 MWh [Kč] |
|--|-------------------|--------------------|
| OBCHODNÍ CENA (cena za dodávku elektřiny) | | |
| Silová elektřina (NT) | 14 605,305 | 1 702,25 |
| REGULOVANÁ CENA (cena za související služby v elektroenergetice) | | |
| Stálý měsíční plat | 79,00 | - |
| Jistič 3x25 A | 286,00 | - |
| Cena za činnost operátora trhu (OTE) | 8,39 | - |
| Cena za podporu elektřiny z podporovaných zdrojů energie (POZE) dle spotřeby v MWh | 5 136,83 | 598,95 |
| Celkem za rok | 20 115,525 | - |

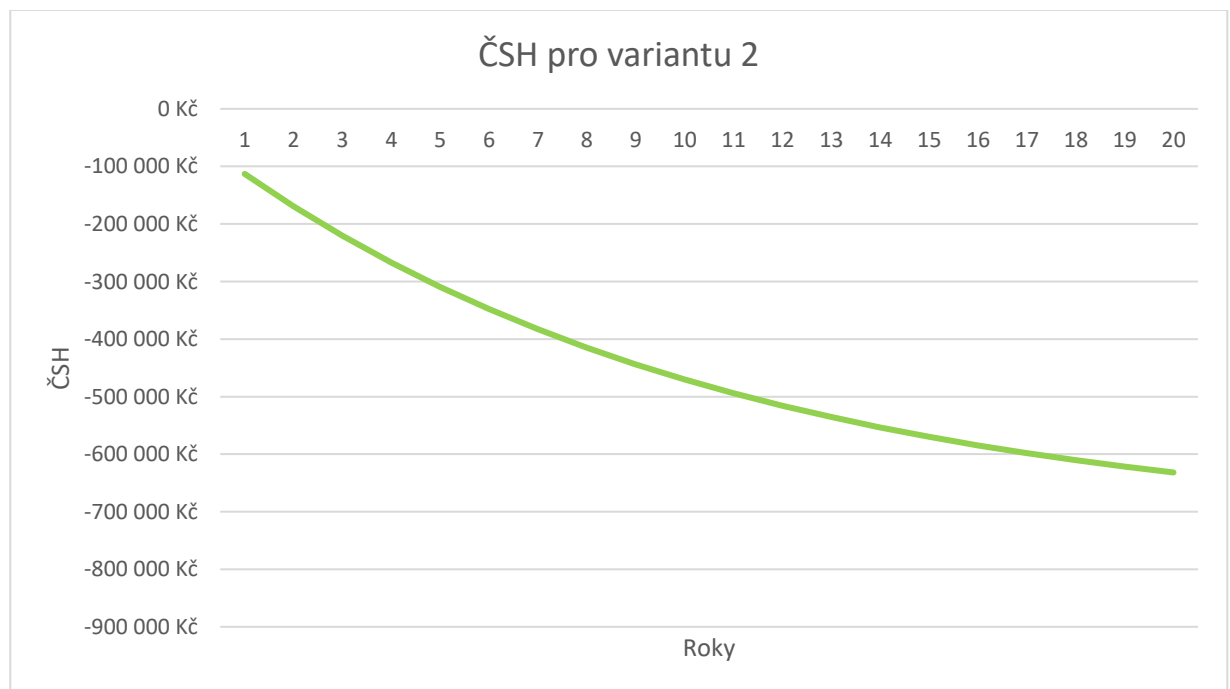
4.3.2.3 Ekonomické zhodnocení varianty 2

Tabulka 8 Přehled cen a spotřeby pro druhou variantu [11, 32, 33, 40]

| | |
|----------------------------------|-------------------------|
| Cena kondenzačního kotle | 44 782,00 Kč vč. DPH |
| Cena elektrického bojleru | 6 149,00 Kč vč. DPH |
| Cena plynu | 1 371,11 Kč/MWh vč. DPH |
| Cena silové elektřiny | 1 702,25 Kč/MWh vč. DPH |
| Cena regulované složky elektřiny | 5 510,22 Kč/rok |
| Spotřeba plynu | 32,10 MWh/rok |
| Spotřeba elektřiny | 8,58 MWh/rok |

$$\check{C}SH = -44\,782 - 6\,149 + \sum_{i=1}^{20} dCF_i$$

$$\check{C}SH = -631\,791,20 \text{ Kč}$$



Obrázek 26 Graf ČSH pro variantu 2

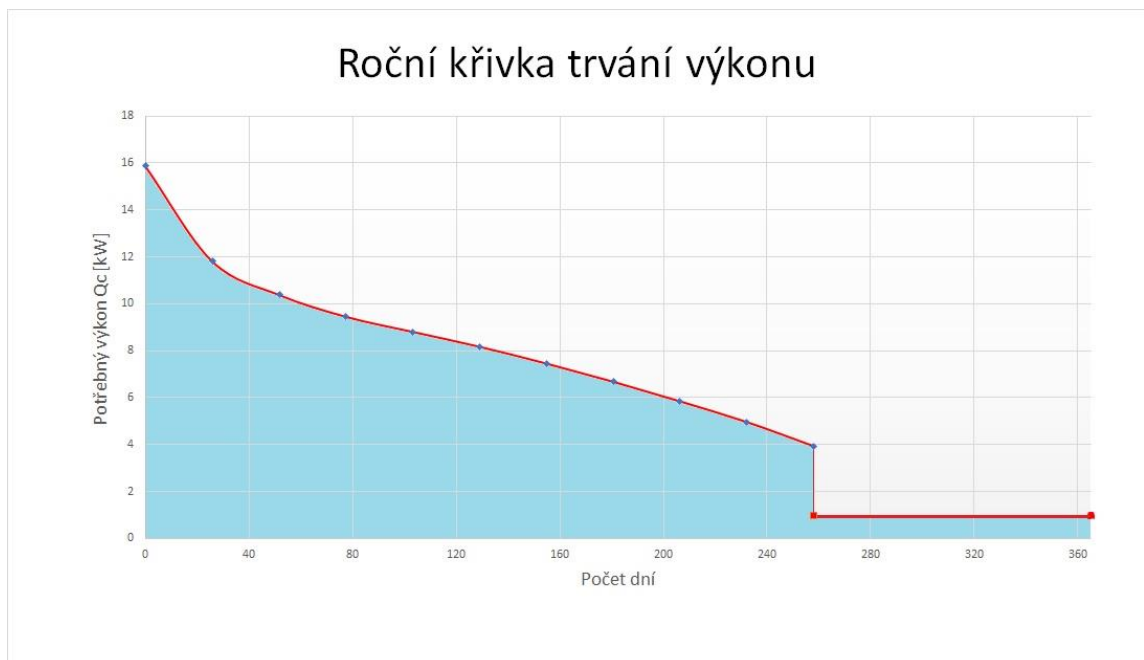
4.3.3 Varianta 3 = TČ země/voda

Ve třetí variantě vytápění a ohřev vody zaštiťuje tepelné čerpadlo systému země/voda, kde tepelné čerpadlo odebírá energii ze země, ta se dále předá topné vodě a tím se výrazně snižují náklady na elektřinu. [23, 41]

Na základě potřebného výkonu zdroje tepla bylo vybráno tepelné čerpadlo německé společnosti Viessmann Vitocal 200-G typu BVC 201.A17 s nominálním topným faktorem 4,52. Tato hodnota je velmi vysoká a nelze předpokládat, že bude během celého roku stejná. Jelikož se však jedná o TČ systému země/voda s vrty, není proměnlivost topného faktoru příliš značná, a proto se ve výpočtové části bude počítat s touto tabulkovou hodnotou. Jmenovitý tepelný výkon čerpadla, který výrobce udává, že je 17,2 kW, nám pokryje celou roční potřebu tepla, což můžeme vidět na obr. 28. [34]



Obrázek 27 Tepelné čerpadlo Vitocal 200-G [34]



Obrázek 28 Roční křivka trvání výkonu pro variantu 3

4.3.3.1 Celková spotřeba elektřiny tepelného čerpadla s topným faktorem COP = 4,52

$$Q_{rev3} = \frac{Q_r}{COP} = \frac{37,29}{4,52} = 8,25 \text{ MWh/rok}$$

U vytápění domu tepelným čerpadlem byl v ceníku elektřiny volen orientační typ spotřeby „vytápění přímotopy, elektrokotlem nebo tepelným čerpadlem“, kde se cena v nízké tarifu rovná 2 206,82 Kč. Tato částka je neregulovaná a mění se se spotřebou elektřiny. Společně se státem regulovanou cenou elektrické energie, jsou ceny elektřiny uvedeny v *tabulce 9*. Stejně jako u předchozí varianty nebude vysoký tarif elektřiny zohledněn. [40]

Tabulka 9 Ceny složek elektřiny pro distribuční sazbu D 56d [40]

| | Cena [Kč] | Cena za 1 MWh [Kč] |
|--|-------------------|--------------------|
| OBCHODNÍ CENA (cena za dodávku elektřiny) | | |
| Silová elektřina (NT) | 18 206,265 | 2 206,82 |
| REGULOVANÁ CENA (cena za související služby v elektroenergetice) | | |
| Stálý měsíční plat | 79,00 | - |
| Jistič 3x25 A | 380,00 | - |
| Cena za činnost operátora trhu (OTE) | 8,39 | - |
| Cena za podporu elektřiny z podporovaných zdrojů energie (POZE) dle spotřeby v MWh | 4 941,84 | 598,95 |
| Celkem za rok | 23 615,495 | - |

4.3.3.2 Ekonomické zhodnocení varianty 3

Druhou největší částku v pořízení TČ toho typu tvoří vrty. Jejich cena se odvíjí podle tepelných ztrát objektu a na 1 kW je potřeba cca 12 m vrtu. Maximální hloubky vrtů bývají kolem 150 m, a tak je někdy zapotřebí vykopat vrty 2. [42]

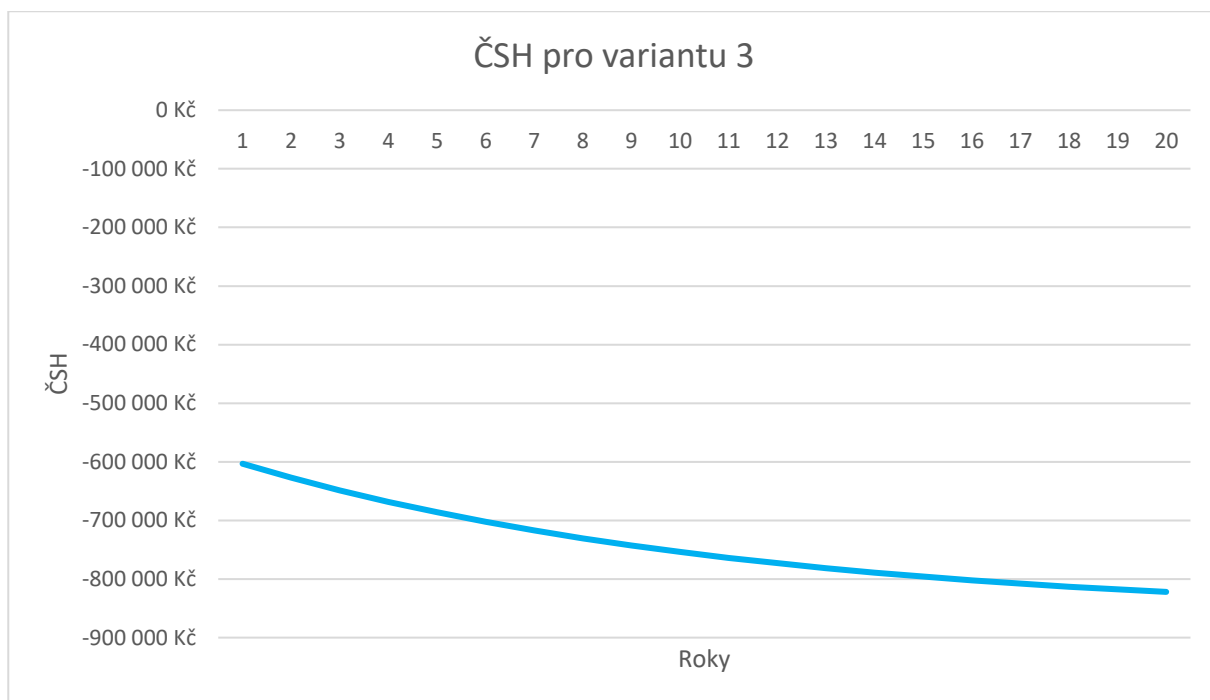
V tomto případě, kdy tepelné ztráty jsou 17,2 kW, je zapotřebí vykopat 2 vrty po 103,2 m. Cena výkopu 1 m vrtu se pohybuje okolo 1 200 Kč. [42]

Tabulka 10 Přehled cen pro třetí variantu [40, 42, 43]

| | |
|---------------------------|-------------------------|
| Cena TČ | 329 422,50 Kč vč.DPH |
| Cena vrtu | 247 680 Kč vč. DPH |
| Variabilní cena elektřiny | 2 206,82 Kč/MWh vč. DPH |
| Fixní cena elektřiny | 5 409 Kč/rok |
| Spotřeba elektřiny | 8,25 MWh/rok |

$$\check{C}SH = - 329\,422,50 - 247\,680 + \sum_{i=1}^{20} dCF_i$$

$$\check{C}SH = - 821\,940,80 \text{ Kč}$$



Obrázek 29 Graf ČSH pro variantu 3

4.3.4 Varianta 4 = kotel na pelety + solární kolektory

Pro variantu 4 byl jako nejvhodnější zvolen kotel na pelety Atmos D 15 PX se zabudovaným hořákem na pelety a výkonem 4,5-15 kW. Udávaná účinnost kotle výrobcem je 90,4 %, ale pro výpočty bude použita hodnota účinnosti 80 % na doporučení vedoucího, protože účinnost kotlů se výrazně mění s jejich provozními režimy. [35]



Obrázek 30 Kotel na pelety Atmos D15PX [44]



Obrázek 31 Roční křivka trvání výkonu pro variantu 4

Na obrázku 31 je podle barev zobrazeno pokrytí potřebného výkonu na zdroj tepla. Fialovou barvu představuje kotel na pelety a žlutou solární kolektory.

4.3.4.1 Spotřeba pelet na vytápění kotlem s účinností 80 %:

$$Q'_{rpeV4} = \frac{\frac{(Q_r * 1000)}{H} * 100}{80} = \frac{\frac{(104 * 1000)}{18,533} * 100}{80} = 7\,014,51 \text{ kg/rok}$$

kde H [MJ/kg] je výhřevnost pelet, která je udaná výrobcem. [46]

4.3.4.2 Dimenzování solárních kolektorů

Dimenzování solárního kolektoru pro ohřev TUV bylo provedeno s použitím vztahů dle [47,48].

| | | |
|----------------|------------------|----------------------------|
| Q _p | 17,163 [kWh/den] | Denní potřeba tepla |
| P | 0,1 [-] | Přirážka na tepelné ztráty |

Celková spotřeba tepla Q_{pc} za den:

$$Q_{pc} = (1 + p) * Q_p$$

$$Q_{pc} = (1 + 0,1) * 17,163$$

$$Q_{pc} = 18,879 \text{ kWh/den}$$

| | | |
|-----------|-----------------------------|--|
| τ | 0,92 [-] | Propustnost slunečního záření zasklení |
| α | 0,95 [-] | Pohltivost slunečního záření absorberu |
| U | 3,494 [W/m ² .K] | Součinitel prostupu tepla kolektoru |
| t_{abs} | 40 [°C] | Střední teplota absorberu |
| t_e | 14,45 [°C] | Teplota okolí |
| $G_{stř}$ | 645,83 [W/m ²] | Střední intenzita slunečního záření |

V [48] se doporučuje navrhovat solární kolektor pro období duben až září. Teplota t_e se tedy spočítala z průměrných teplot ve městě České Budějovice pro tyto měsíce. [49]

Hodnota střední intenzity slunečního záření $G_{stř}$ se vypočetla z průměrných hodnot v [50] (opět pro měsíce duben až září) v příloze 7, kde úhel sklonu slunečné plochy β byl volen 30° a azimutový úhel $\gamma \pm 0^\circ$ (orientace na jih).

Součinitel prostupu tepla je uveden výrobcem vybraných solárních panelů Q7-3000-FKN/V. [48]

Průměrné denní účinnost solárního kolektoru η_k :

$$\eta_k = \tau * \alpha - U * \frac{t_{abs} - t_e}{G_{stř}}$$

$$\eta_k = 0,92 * 0,95 - 3,494 * \frac{40 - 14,5}{645,83}$$

$$\eta_k = 73,85 \%$$

| | | |
|-------------------|-----------------------------|---|
| H_{T,den_teor} | 9,403 [kWh.m ²] | Teoretická hodnota denní dávky ozáření plochy |
|-------------------|-----------------------------|---|

Správně by se do následujícího vzorce měla dosazovat skutečná denní dávka ozáření plochy $H_{T,den}$, která je dána vztahem:

$$H_{T,den} = \tau_r * H_{T,den_teor} + (1 - \tau_r)H_{T,den_dif}$$

kde τ_r [-] je poměrná doba slunečního svitu a H_{T,den_dif} [kWh/m².den] je denní dávka difúzního slunečního ozáření.

Protože určení H_{T,den_dif} je problematické, bude se počítat pouze s teoretickou hodnotou denní dávky ozáření H_{T,den_teor} .

Potřebná plocha kolektoru A_k :

$$A_k = \frac{Q_{pc}}{q_k} = \frac{Q_p + Q_z}{\eta_k * H_{T,den_teor}} = \frac{(1 + p) * Q_p}{\eta_k * H_{T,den_teor}}$$

$$A_k = \frac{(1 + 0,1) * 17,163}{73,58 * 9,403}$$

$$A_k = 2,729 \text{ m}^2$$

Pro ohřev vody byl vybrán sluneční kolektor od rakouské firmy GREENoneTEC typu Q7-3000-FKN/V. Plocha absorberu je dle výrobce 2,21 m², tudíž i s ohledem na dimenzaci v chladnějším období budou zapotřebí kolektory 2. [36]

Tyto 2 kolektory však nepokryjí celoroční potřebu teplé vody a musí se tedy pro ohřev užitkové vody používat i kotel na pelety. Potřebná energie je vypočtena v Příloze 1 v tabulce 1 (na přiloženém CD). V letních měsících naopak energie přebývá, ta se využije na ohřev bazénu.

Chybějící energie na ohřev vody Q_r'' vyšla 3,22 MWh/rok (=11 579,204 MJ/rok). Z toho se vypočítá spotřeba pelet, kde účinnost kotle je 80 %.

$$Q''_{rpeV4} = \frac{\left(\frac{Q''_r}{H}\right) * 100}{80} = \frac{\left(\frac{11\,579,204}{18,533}\right) * 100}{80} = 780,986 \text{ kg/rok}$$

4.3.4.3 Celková spotřeba pelet na vytápění a dopomocný ohřev vody

$$Q_{rpeV4} = Q'_{rpeV4} + Q''_{rpeV4}$$

$$Q_{rpeV4} = 7\,014,51 + 780,986$$

$$Q_{rpeV4} = 7\,795,5 \text{ kg/rok} \approx 8 \text{ t/rok}$$

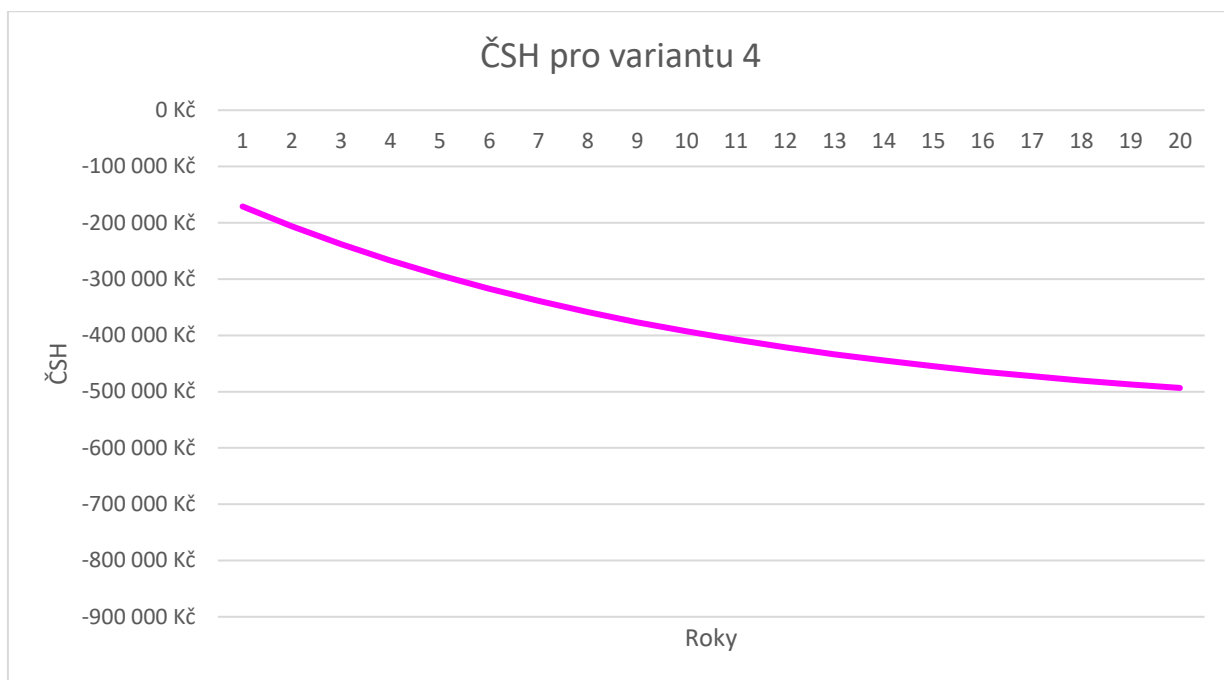
4.3.4.4 Ekonomické zhodnocení varianty 4

Tabulka 11 Přehled cen pro čtvrtou variantu [44, 45,46]

| | |
|--|----------------------------|
| Cena kotle | 87 604,00 Kč vč.DPH |
| Cena 2 ks solárních panelů | 34 836,00 Kč vč. DPH |
| Cena příslušenství k solárním panelům (montážní sady, čerpadlové jednotky, regulace, atd...) | 10 000,00 Kč vč. DPH (cca) |
| Cena pelet | 5,30 Kč/kg |
| Spotřeba pelet | 8 000 kg |

$$\check{C}SH = -87\,604 - 34\,836 + \sum_{i=1}^{20} dCF_i$$

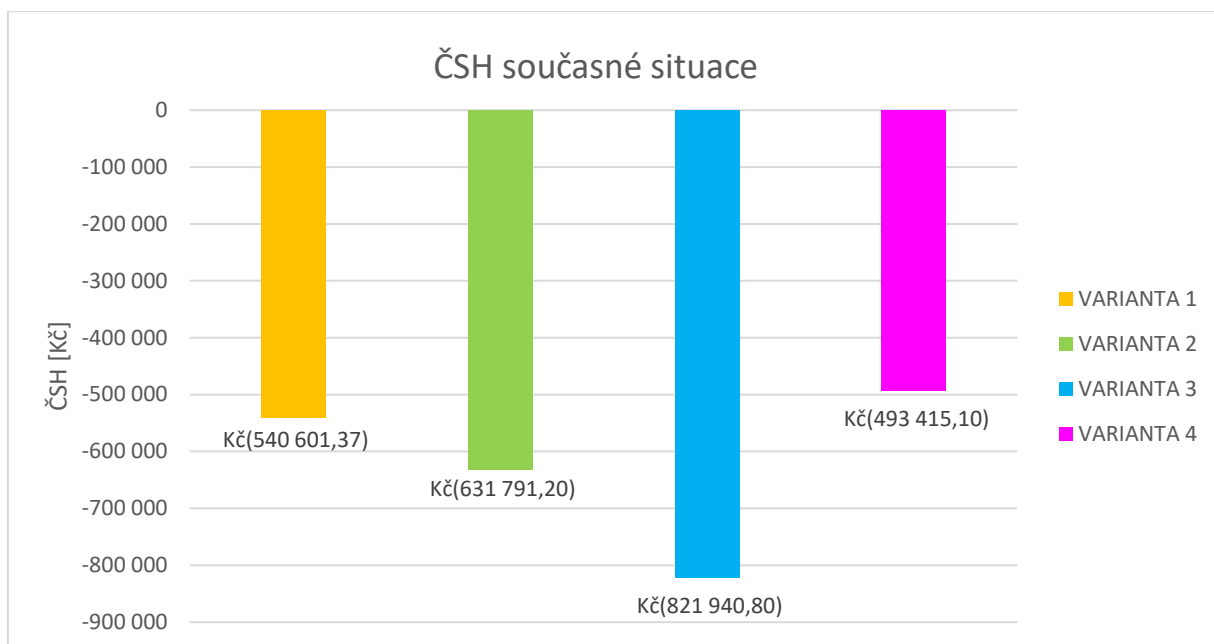
$$\check{C}SH = -493\,415,10 \text{ Kč}$$



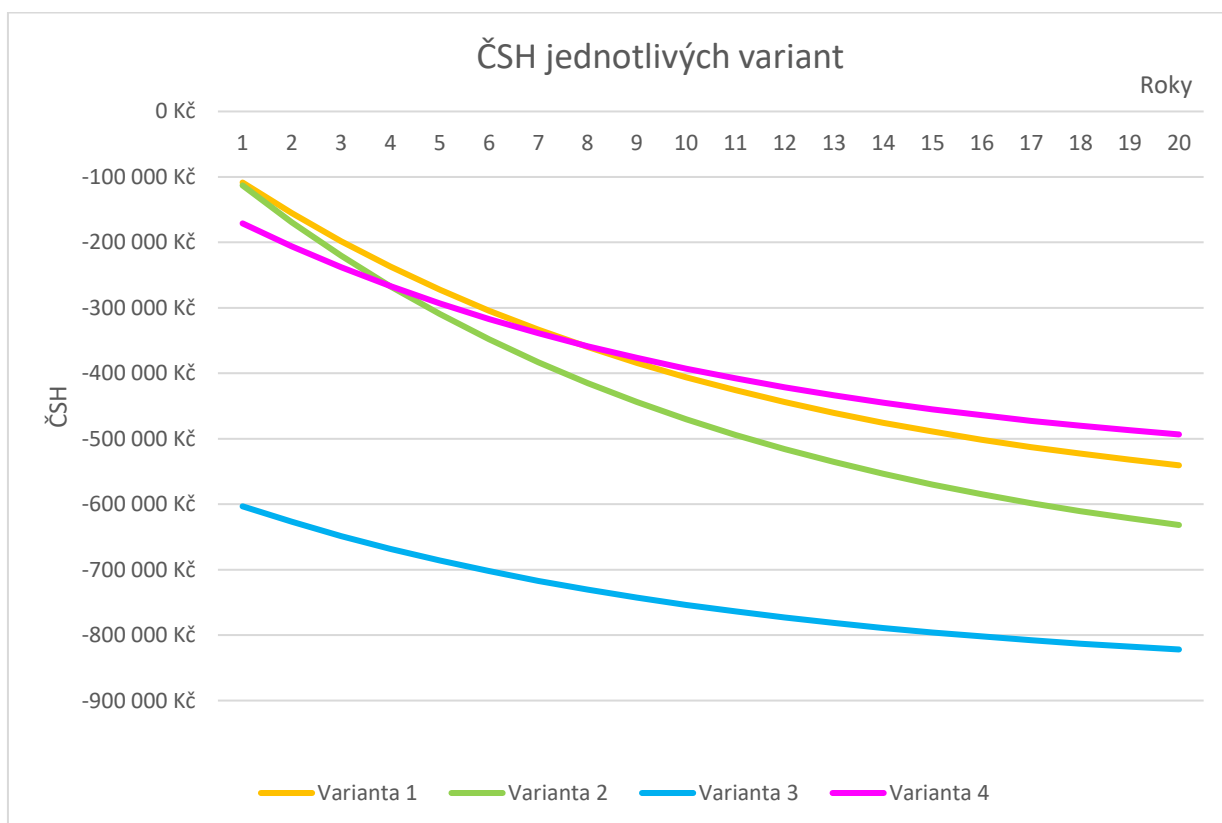
Obrázek 32 Graf ČSH pro variantu 4

4.4 Porovnání variant

Tato bakalářská práce se především soustředí na ekonomické hodnocení možností vytápění a ohřevu vody v rodinném domě. Mezi vybranými variantami se bude porovnávat podle hodnoty již zmíněné a vypočtené ČSH. Na *obrázku 33* je přehledné srovnání ČSH pro všechny vybrané varianty a na *obrázku 34* je názorně ukázáno, jak se hodnota ČSH mění s časem.



Obrázek 33 Graf ČSH pro současnou situaci



Obrázek 34 Graf ČSH pro jednotlivé varianty v současnosti

Z obrázku 34 lze například vyčíst, že pokud by se uvažovala doba životnosti investice pouhých 7 let, byla by nejvýhodnější variantou varianta 1, jelikož v této době by její ČSH byla ze

všech variant nejvyšší. Nebo za předpokladu pouhé tříleté doby životnosti by druhou nejlépe vycházející možností vytápění byla varianta 2, která využívá kondenzační plynový kotel k vytápění a elektrický bojler na ohřev vody. Je to způsobeno tím, že u těchto dvou variant jsou nejnižší pořizovací náklady, což má za následek nižší ČSH v prvních letech. Avšak protože jejich provozní náklady jsou vyšší než u varianty 4, tak výsledná hodnota ČSH této varianty vychází nejvýhodněji.

Nesmí se však zapomenout, že tato čísla jsou pouze pro konkrétně zvolené varianty, a nelze tak výsledky považovat za obecně platné. Záleží na cenách zařízení, které se mohou velice lišit.

Nelze přehlédnout, že ČSH varianty 4 se od ostatních možností vytápění velice liší. Je to zejména kvůli vysoké pořizovací ceně tepelného čerpadla a drahému výkopu vrtů. Pokud by se vybralo levnější čerpadlo (např. TČ systému vzduch/voda), byly by pořizovací ceny sníženy a tato varianta s TČ by ekonomicky vycházela lépe. Na druhou stranu pro TČ systému vzduch/voda je typický nestabilní topný faktor, a bylo by tedy zapotřebí více elektrické energie, která neustále zdražuje.

Celkově nejlépe vychází varianta 4 s kotlem na pelety a solárními panely. Pokud by se však změnila cena kotle na 115 704 Kč vč. DPH (zdražení o 32 %) a za 2 solární kolektory by se zaplatilo 54 000 Kč vč. DPH (zdražení o 55 %), už by lépe vycházela varianta 1 s kondenzačním plynovým kotlem.

Pokud by se v úvahu braly současné ceny vybraných zařízení a ceny za paliva a elektřinu v dnešní době u zvolených dodavatelů, bylo by pořadí ekonomické výhodnosti takové, jak zobrazuje následující *tabulka 12*.

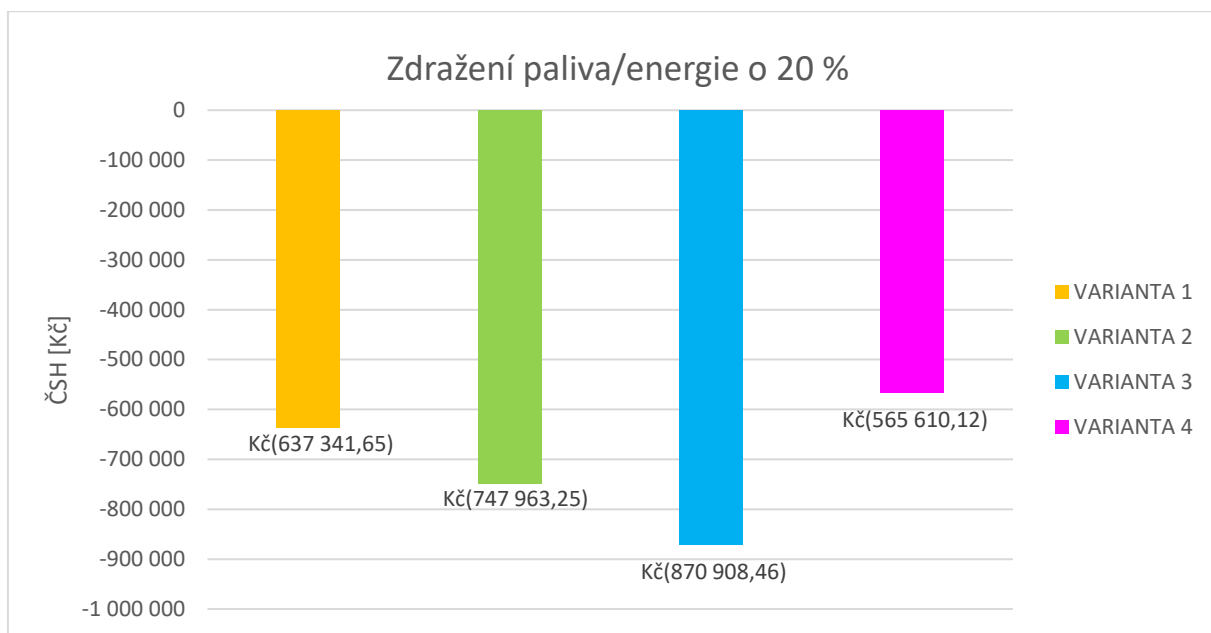
Tabulka 12 Pořadí variant dle ČSH

| Pořadí | Varianta | ČSH |
|--------|--|----------------|
| 1. | 4: Kotel na pelety a solární kolektory | -493 415,10 Kč |
| 2. | 1: Kondenzační plynový kotel | -540 601,37 Kč |
| 3. | 2: Kondenzační plynový kotel a elektrický bojler | -631 791,20 Kč |
| 4. | 3: Tepelné čerpadlo země/voda | -821 940,80 Kč |

4.5 Citlivostní analýza

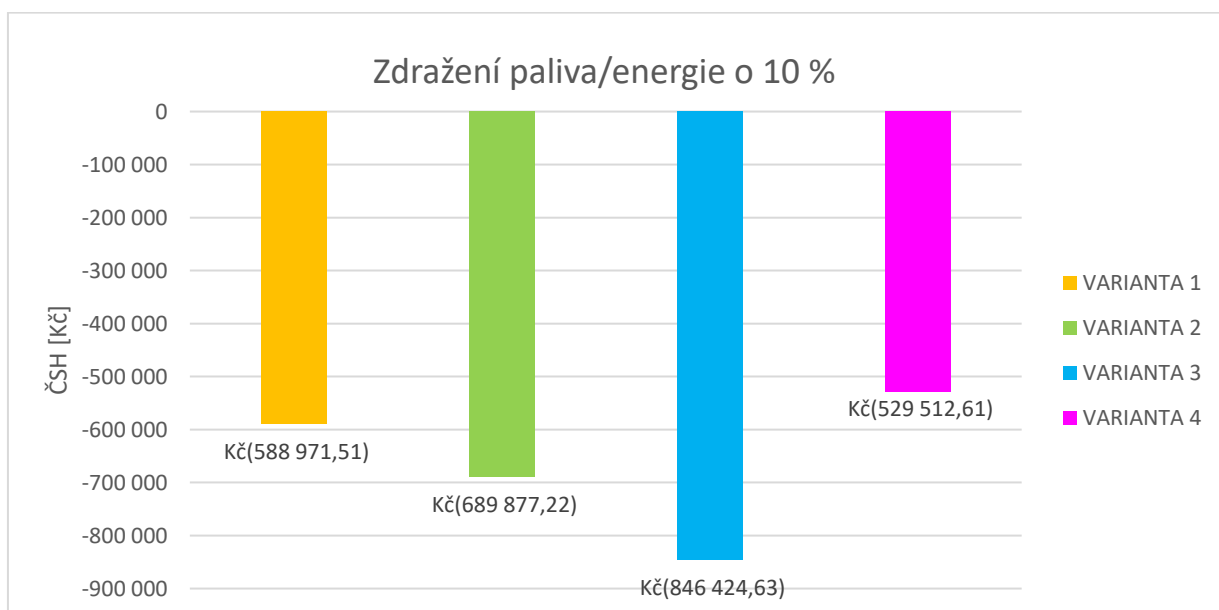
Citlivostní analýza umožňuje získat přehled o budoucích ekonomických dopadech při změně nějaké vstupní veličiny. V případě této bakalářské práce se vstupní veličinou rozumí změna ceny plynu, elektrické energie nebo pelet. Pro několik situací u zvolených variant byly vytvořeny přehledné grafy, které popisují, jak ovlivní změna vstupní veličiny výslednou ČSH, a jak se tedy změní či nikoliv jejich výhodnost. To vše opět za předpokladu, že uvažujeme ceny zařízení, které byly v této bakalářské práci použity.

První čtyři situace pracují pouze se zlevněním/zdražením elektřiny a paliva, které by proběhlo v současné době a jejich cena by se v dalších dvaceti letech nezměnila.

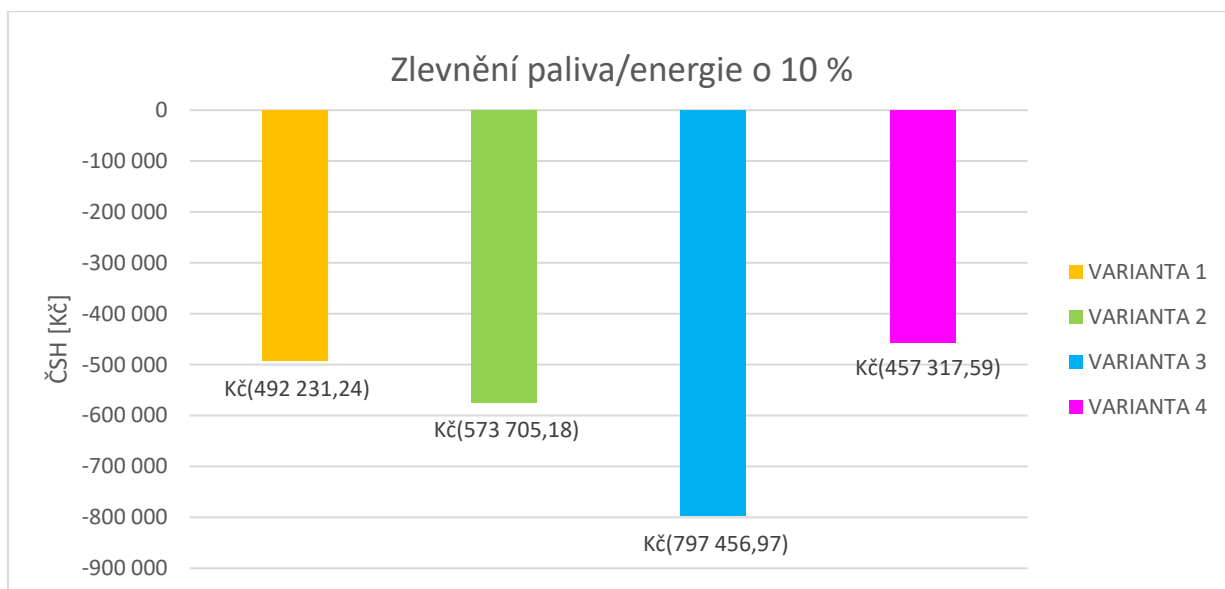


Obrázek 35 Graf ČSH při zdražení paliva/energie o 20 %

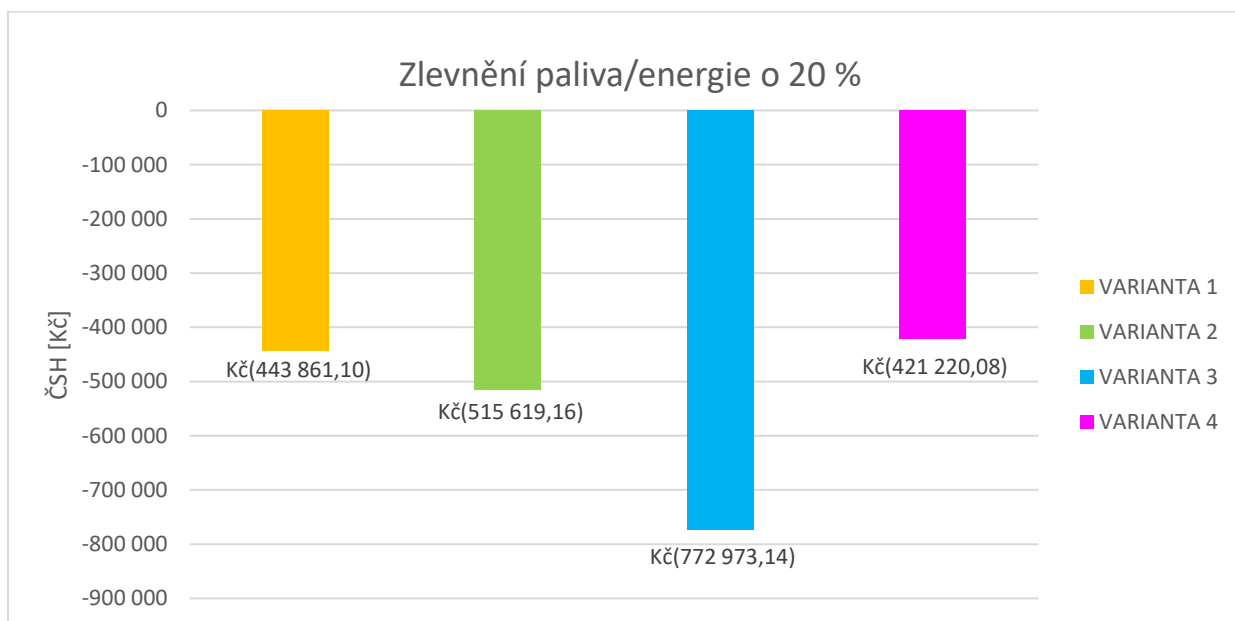
Na obrázku 35 lze vidět, že pokud by došlo ke 20% zdražení energií a paliv, byla by nejvýhodnější variantou varianta 4, tedy kotel na pelety společně se solárními panely. Oproti tomu varianta č. 3 s tepelným čerpadlem má hodnotu ČSH nejvíce zápornou a jednalo by se o nejméně výhodnou variantu. Pokud bychom tento graf srovnali se stejným grafem jen pro současnou situaci (obrázek 33), pořadí výhodnosti jednotlivých variant se nijak nezměnilo. Jediné, co se změnilo, je hodnota ČSH. Tak je tomu stejně u následujících třech grafů.



Obrázek 36 Graf ČSH při zdražení paliva/energie o 10 %

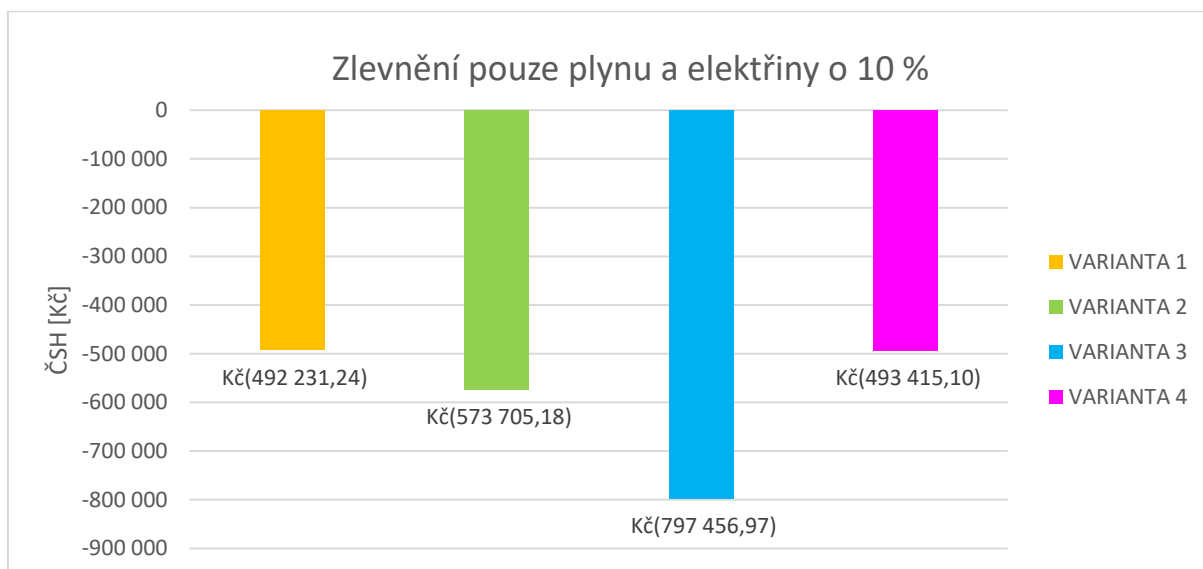


Obrázek 37 Graf ČSH při zlevnění paliva/energie o 10 %



Obrázek 38 Graf ČSH při zlevnění paliva/energie o 20 %

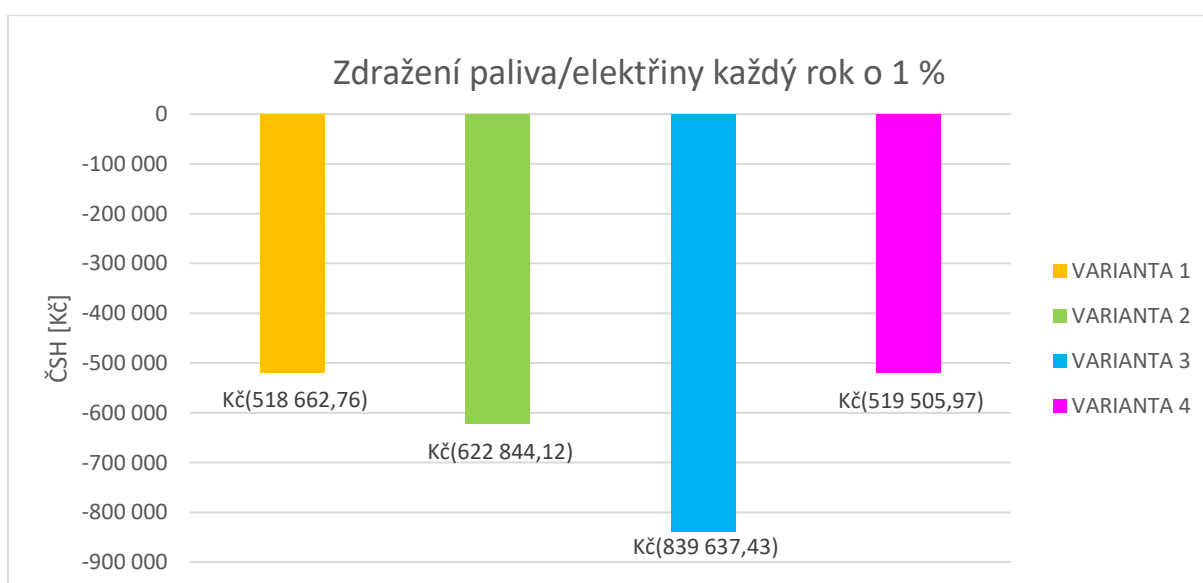
Z předcházejících grafů je očividné, že nejlépe vycházející variantě 4 se nejvíce blíží varianta 1 s kondenzačním kotlem na plyn. Proto byla jako další situace vybrána ta, kde dojde pouze ke zlevnění plynu a elektřiny. Cena pelet zůstane stejná. Jak je na příslušném grafu (obrázek 39) vidět, v této situaci nejlépe vychází ČSH u varianty 1. Ovšem to, že by se elektřina či plyn zlevnily, je velice nepravděpodobné.



Obrázek 39 Graf ČSH při zlevnění pouze plynu a elektřiny o 10 %

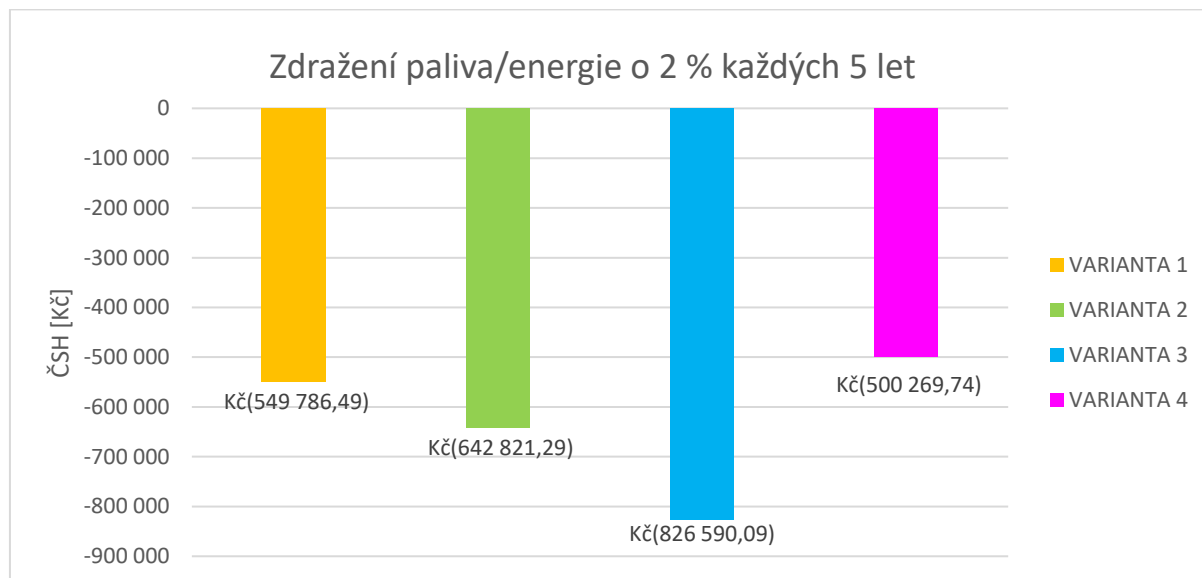
Pravděpodobnější bude situace, kde bude postupně docházet k 1% zdražení paliva/elektřiny z ceny pro předcházející rok. Tato situace je graficky znázorněna na *obrázku 40*. Zde nejlépe vychází opět varianta 1, kde se na vytápění i ohřev užitkové vody v rodinném domě používá kondenzační plynový kotel Viadrus K5. [32]

Druhá neekonomičtější varianta je dle ČSH, s rozdílem necelých 1 000 Kč, varianta 4. Třetí a čtvrté místo výhodnosti se dle finančního ukazatele ČSH nikterak nezměnilo, a především pro variantu 3 zůstává její hodnota neustále velice nízká.



Obrázek 40 Graf ČSH při zdražení paliva/elektřiny každý rok o 1 %

Další a zároveň poslední situace v této bakalářské práci, která by mohla v reálném světě nastat, je zobrazena na *obrázku 41*. Jedná se o zdražení paliv a energií o 2 % každý pátý rok. V tomto případě vychází nejlépe varianta 4 s ČSH -500 269,74 Kč. Tato varianta je nejvýhodnější i pro současnou cenu paliv.



Obrázek 41 Graf ČSH při zdražení paliva/energie o 2 % každých 5 let

5 ZÁVĚR

V teoretické části této bakalářské práce bylo popsáno široké spektrum možností, jak vytápět rodinný dům a ohřívat užitkovou vodu. Každé zařízení má svá pozitiva i negativa, a nelze tedy jednoznačně říci, která možnost vytápění je tou nejlepší. Při koupi nového vytápěcího systému do rodinného domu se velice hledí na současné ceny paliv či energií, a také záleží na rozpočtu rodiny, jakou částku je schopna do nového vytápění investovat. Samotný výkon zařízení se pak vypočítá dle tepelných ztrát domu. Aby požadovaný výkon mohl být co nejmenší, je důležité mít dům co nejlépe izolovaný kvůli nežádoucímu úniku tepla. Dalším silným faktorem při výběru zařízení je jeho účinnost. Hodnoty účinnosti mohou být někdy zavádějící, a je dobré si ověřit, za jakých podmínek zařízení dané účinnosti dosahuje, a zda jsou tyto podmínky pro běžné vytápění vůbec reálné. Při správném výběru a instalaci otopného systému se může ušetřit velká částka peněz a volba vytápěcího zařízení by se tedy měla důkladně promyslet a konzultovat s odborníky.

V praktické části byly zvoleny čtyři konkrétní případy, jak rodinný dům vytápět a ohřívat vodu. Úkolem bylo zjistit, která z těchto variant bude dle ČSH nejvýhodnější. Podle tepelných ztrát se spočítal potřebný výkon zdroje tepla a následně byly vybrány zařízení, které danému výkonu odpovídají. Na základě jejich účinností se spočítala celková spotřeba paliva či energie, což vytváří peněžní tok, který tvoří složku ve vzorci pro ČSH.

Z výsledků vyplynulo, že variantou s největší ČSH je varianta, která pro vytápění používá kotel na pelety a na ohřev vody si dopomáhá dvěma solárními kolektory. Toto tvrzení však platí pouze za předpokladu použitých cen zařízení v této bakalářské práci. Nelze tedy říci, že tato varianta bude vždy výhodnější než např. vytápění kondenzačním kotlem.

Nejméně výhodnou variantou byla možnost, kde se vytápění i ohřev vody zajišťovalo tepelné čerpadlo země/voda. Ačkoliv se tento systém vyznačuje vysokým a relativně stálým topným faktorem, jeho pořizovací náklady jsou oproti jiným možnostem vytápěním vysoké. To samé se dá říci i o výši ceny elektrické energie.

Účinnosti zařízení se mění dle venkovní teploty a nejsou po celý rok stálé, jak s nimi bylo počítáno v bakalářské práci. Proto se mohou výsledky ve skutečných situacích od vypočítaných lehce lišit. Hodnoty, které udávají výrobci, nemusí být vždy reálné, a proto v některých případech bylo počítáno s účinností průměrnou, typickou pro konkrétní zařízení.

Ceny energií a paliv se neustále mění, resp. zdražují, a je tedy dobré mít obrázek o tom, jak se následně změní provozní náklady. Proto byla pro všechny čtyři varianty udělána citlivostní analýza pro různé situace. V situacích, u kterých došlo ke změnám současných cen energií/paliv a jejich hodnota zůstala po dalších 20 let stejná, se pořadí výhodnosti vůbec nezměnilo. Došlo pouze k poklesu či navýšení ČSH, ale stále nejlépe vycházela varianta s kotlem na pelety a solárními kolektory, nejhůře varianta s tepelným čerpadlem. Teprve v situaci, kde by ceny energií a paliv rostly každý rok o 1 %, by nejlepší variantou dle ČSH byla varianta 1, která jako zdroj tepla používá kondenzační plynový kotel.

6 SEZNAM ZDROJŮ A POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUFKA, Jaroslav. *Vytápění domů a bytů*. Druhé, zcela přepracované vydání. U Průhonu 22, Praha 7: Grada Publishing, 2004. ISBN 80-247-0642-3.
- [2] POČINKOVÁ, Marcela a Lea TREUOVÁ. *Vytápění*. Brno: Computes Press, 2011. ISBN 978-80-251-3329-3.
- [3] OTEVŘEL, Pavel. *Stavíte rodinný dům a vybíráte zdroj tepla?* [online]. 2017 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/15764-stavite-rodinny-dum-a-vybirate-zdroj-tepla>
- [4] LÁZŇOVSKÝ, Miroslav, Milan KUBÍN a Petr FISCHER. *Vytápění rodinných domků*. Praha: T. Malina, 1996. ISBN 80-901975-2-3.
- [5] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-3955-9.
- [6] IBLER, Zbyněk a kol. *Technický průvodce ENERGETIKA*. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-026-1.
- [7] *Jaká je výhřevnost tuhých paliv* [online]. 2014 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://www.dumazahrada.cz/stavba-rekonstrukce/penize-pravo/22475-jaka-je-vyhrevnost-tuhych-paliv/>
- [8] LYČKA, Zdeněk. *Jak vybírat nový kotel na pevná paliva? (1)* [online]. 2013 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9798-jak-vybirat-novy-kotel-na-pevna-paliva-1>
- [9] HODBOŇ, Josef. *TZB-info / Vytápění / Vytápíme tuhými palivy / Kotel na pelety do rodinného domu Kotel na pelety do rodinného domu* [online]. 2018 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/18331-kotel-na-pelety-do-rodinneho-domu>
- [10] DUFKA, Jaroslav. *Vytápění netradičními zdroji tepla*. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-079--2.
- [11] *Ceník Standard plyn* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: https://www.eon.cz/-a164851---E8lkj_lb/cenik-standard-plyn-k-1-1-2019-distribucni-uzemi-e-on-pdf
- [12] FÍK, Josef. *Plynové spotřebiče (I)* [online]. 2004 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem/2019-plynove-spotrebice-i>

- [13] VELETRHY BRNO, A.S. *Zdroje tepla na plyn* [online]. 2007 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem/4048-zdroje-tepla-na-plyn>
- [14] *Účinnost a výkon plynového kotle* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/ucinnost-a-vykon-plynoveho-kotle.html>
- [15] FUČÍK, Zdeněk. *Stručná teorie kondenzace u kondenzačních plynových kotlů* [online]. 2004 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem/1912-strucna-teorie-kondenzace-u-kondenzacnich-plynovych-kotlu>
- [16] *Vytápění kapalnými palivy - princip a využití* [online]. 2009 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.infobydleni.cz/news/vytapani-kapalnymi-palivy-princip-a-vyuziti/>
- [17] *Kotle na kapalná paliva - komfort a nezávislost* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-klasicka/kotle-na-kapalna-paliva.php>
- [18] THERMONA, SPOL. S.R.O. *Kdy se vyplatí vytápět elektrokotlem* [online]. 2018 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-elektrinou/16772-kdy-se-vyplati-vytapet-elektrokotlem>
- [19] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla*. Brno: ERA, 2005. 21. století. ISBN 80-7366-031-8.
- [20] TINTĚRA, Ladislav. *Tepelná čerpadla*. Praha: ARCH, 2003. ISBN 80-86165-61-2.
- [21] KRAINER, Robert a Jiří DUDA. *Chladiva používaná v tepelných čerpadlech* [online]. 2015 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12647-chladiva-pouzivana-v-tepelnych-cerpadlech>
- [22] *Země/voda - plocha* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-plocha>
- [23] *Země/voda - vrt* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-vrt>
- [24] *Voda/voda (studny)* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-voda-voda-studny>

- [25] *Země/voda - vodní plocha* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-vodni-plocha>
- [26] *Vzduch/voda - venkovní vzduch* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-vzduch-voda>
- [27] *Vzduch/vzduch* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-vzduch-vzduch>
- [28] MURTINGER, Karel a Jan TRUXA. *Solární energie pro váš dům*. Brno: Computer Press, 2010. Stavíme. ISBN 978-80-251-3241-8.
- [29] LADENER, Heinz a Frank SPÄTE. *Solární zařízení*. Praha: Grada, 2003. Stavitel. ISBN 80-247-0362-9.
- [30] *Jaká je životnost solárního kolektoru?* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://www.solarnispolecnost.cz/cz/21.jaka-je-zivotnost-solarniho-kolektoru>
- [31] *Kondenzační plynový kotel VIADRUS K5* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.viadrus.cz/plynove-kotle/kondenzacni-plynovy-kotel-viadrus-k5-26-cz13.html>
- [32] *Kondenzační kotel Panther Condens* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.protherm.cz/pro-nase-zakazniky/produkty/product-detail-page-0.html>
- [33] *Elektrický bojler Tatramat EOV-100* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.hornbach.cz/shop/Elektricky-bojler-Tatramat-EOV-100/5792049/artikl.html>
- [34] *VITOCAL 200-G* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/tepelna-cerpadla/tepelna-cerpadla-zemevoda/vitocal-200g.html>
- [35] *Ekologické a plně automatické kotle na pelety ATMOS* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/kotle-na-pelety/>
- [36] *Panely FKN* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <http://www.quantumas.cz/panely-fkn/>
- [37] REINBERK, Zdeněk. *Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>

- [38] ZRALÝ, Martin. *Manažerské účetnictví: sbírka úloh*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-010-2624-8.
- [39] *Čistá současná hodnota (NPV - Net Present Value)* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/cista-soucasna-hodnota>
- [40] *Ceník Elektřina* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/-a164675---WAJC-cEA/cenik-elektrina-k-1-1-2019-distribucni-uzemi-e-on-pdf>
- [41] *Tepelná čerpadla země/voda* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/tepelna-cerpadla/tepelna-cerpadla-zemevoda.html>
- [42] *K čemu slouží a kolik stojí vrty pro tepelná čerpadla?* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/vrty-pro-tepelna-cerpadla>
- [43] *Zvýhodněné sestavy tepelných čerpadel* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.eurosystemy.cz/cenik/tepelna-cerpadla/viessmann-cenik-cena-tepelna-cerpadla-podlahove-topeni-vytapeni.pdf>
- [44] *Ceník* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/cenik/>
- [45] *Ceník 2018* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: http://www.quantumas.cz/files/ckeditor/Ke_sta%C5%BEn%C3%AD/cen%C3%ADky/Quantum_cenik_1-7-2018_-_web.pdf
- [46] *Dřevěné pelety ENplus A1 - Volně ložené* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.ekopelety.cz/pelety/enplus-a1-volne-lozene/>
- [47] MATUŠKA, Tomáš. *Dimenzování solárních soustav (I)* [online]. 2007 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/4214-dimenzovani-solarnich-soustav-i>
- [48] ŠOUREK, Bořivoj. *Navrhování solárních soustav* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://quantumascz.hebe.one.cz/file/solarni-soustavy.pdf>
- [49] *České Budějovice* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.in-pocasi.cz/archiv/ceske-budejovice/>
- [50] BROŽ, Karel a Bořivoj ŠOUREK. *Alternativní zdroje energie*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02802-X.

7 SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 Doporučené teploty místností pro tepelnou pohodu během dne [1] | 12 |
| Obrázek 2 Rozložení tepelných ztrát v rodinném domě [1] | 12 |
| Obrázek 3 Kotel na biomasu se šikmým roštem [5] | 15 |
| Obrázek 4 Plynový spotřebič kategorie B [12]..... | 16 |
| Obrázek 5 Plynové spotřebiče kategorie C [12] | 17 |
| Obrázek 6 Princip spalování zemního plynu kondenzačním ohřevem [15] | 17 |
| Obrázek 7 Schéma tepelného čerpadla [2] | 19 |
| Obrázek 8 TČ země/voda s plošnými kolektory [22] | 20 |
| Obrázek 9 TČ země/voda se svislým vrtem [23]..... | 21 |
| Obrázek 10 TČ voda/voda s využitím spodní vody [24]..... | 22 |
| Obrázek 11 TČ voda/voda s využitím povrchové vody [25] | 22 |
| Obrázek 12 TČ vzduch/voda s venkovní jednotkou [26] | 23 |
| Obrázek 13 TČ vzduch/vzduch [27] | 23 |
| Obrázek 14 Průměrné množství slunečního záření na území ČR v kWh za rok na 1 m ² [10]..... | 24 |
| Obrázek 15 Schéma zapojení kombinovaného zásobníku s průtokovým ohřevem teplé vody [2] | 26 |
| Obrázek 16 Schéma solárního ohřevu teplé vody [2] | 26 |
| Obrázek 17 Křivka trvání teplot | 32 |
| Obrázek 18 Roční křivka trvání výkonu | 33 |
| Obrázek 19 Kondenzační plynový kotel VIADRUS K5 [32]..... | 34 |
| Obrázek 20 Roční křivka trvání výkonu pro variantu 1..... | 34 |
| Obrázek 21 Ceník Standard plyn [11] | 35 |
| Obrázek 22 Graf ČSH pro variantu 1..... | 36 |
| Obrázek 23 Kondenzační kotel Panther Condens 12 KKO [32] | 36 |
| Obrázek 24 Elektrický bojler Tatramat EOY-100 [33]..... | 37 |

| | |
|--|----|
| Obrázek 25 Roční křivka trvání výkonu pro variantu 2..... | 37 |
| Obrázek 26 Graf ČSH pro variantu 2..... | 39 |
| Obrázek 27 Tepelné čerpadlo Vitocal 200-G [34]..... | 40 |
| Obrázek 28 Roční křivka trvání výkonu pro variantu 3..... | 40 |
| Obrázek 29 Graf ČSH pro variantu 3..... | 43 |
| Obrázek 30 Kotel na pelety Atmos D15PX [44] | 43 |
| Obrázek 31 Roční křivka trvání výkonu pro variantu 4..... | 44 |
| Obrázek 32 Graf ČSH pro variantu 4..... | 48 |
| Obrázek 33 Graf ČSH pro současnou situaci..... | 49 |
| Obrázek 34 Graf ČSH pro jednotlivé varianty v současnosti | 49 |
| Obrázek 35 Graf ČSH při zdražení paliva/energie o 20 %..... | 52 |
| Obrázek 36 Graf ČSH při zdražení paliva/energie o 10 %..... | 52 |
| Obrázek 37 Graf ČSH při zlevnění paliva/energie o 10 %..... | 53 |
| Obrázek 38 Graf ČSH při zlevnění paliva/energie o 20 %..... | 53 |
| Obrázek 39 Graf ČSH při zlevnění pouze plynu a elektřiny o 10 % | 54 |
| Obrázek 40 Graf ČSH při zdražení paliva/elektřiny každý rok o 1 % | 54 |
| Obrázek 41 Graf ČSH při zdražení paliva/energie o 2 % každých 5 let..... | 55 |

8 SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 Doporučené úhly dopadu přímého slunečního záření [10] | 25 |
| Tabulka 2 Hodnoty pro výpočet potřebného topného výkonu..... | 29 |
| Tabulka 3 Hodnoty pro výpočet denní potřeby tepla pro ohřev teplé vody..... | 30 |
| Tabulka 4 Hodnoty pro výpočet roční potřeby tepla pro ohřev teplé vody..... | 30 |
| Tabulka 5 Venkovní teploty pro dny během otopného období | 32 |
| Tabulka 6 Přehled cen a spotřeby pro první variantu [11,31]..... | 35 |
| Tabulka 7 Ceny složek elektřiny pro distribuční sazbu D 26d [40] | 38 |
| Tabulka 8 Přehled cen a spotřeby pro druhou variantu [11, 32, 33, 40] | 39 |
| Tabulka 9 Ceny složek elektřiny pro distribuční sazbu D 56d [40] | 41 |
| Tabulka 10 Přehled cen pro třetí variantu [40, 42, 43] | 42 |
| Tabulka 11 Přehled cen pro čtvrtou variantu [44, 45,46] | 47 |
| Tabulka 12 Pořadí variant dle ČSH..... | 51 |