



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**NÁVRH VYTÁPĚNÍ A VĚTRÁNÍ SAMOSTATNĚ STOJÍCÍHO
RODINNÉHO DOMU**

DESIGN OF HEATING AND VENTILATION DETACHED HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Kocourek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Tomáš Kocourek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Energetika, procesy a životní prostředí
Vedoucí práce: **doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh vytápění a větrání samostatně stojícího rodinného domu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jednou ze základních lidských potřeb je tepelný komfort v prostředí, kde se člověk pohybuje. Hledání vhodného způsobu zajištění tohoto tepelného komfortu tak, aby splňoval požadavky na ekonomickou nenáročnost, ekologickou nezávadnost, bezproblémový provoz, nenáročnou obsluhu a další, je velmi problematické.

Náplní práce je určení optimální technologie vytápění a větrání. Budou porovnány dostupné technologie a na základě základních vlastností bude proveden základní návrh. Na závěr práce bude provedeno ekonomické zhodnocení.

Cíle bakalářské práce:

- přehled dostupných technologií vhodných pro domovní vytápění
- přehled vhodných systémů větrání
- porovnání jednotlivých technologií a výběr vhodných pro konkrétní dům
- návrhy pro konkrétní dům
- ekonomické posouzení návrhů

Seznam doporučené literatury:

BALÁŠ, Marek. Kotle a výměníky tepla. Vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2019. ISBN 978-80-214-5769-0.

JANDAČKA, Jozef. Technologie pre zvyšovanie energetickeho potencialu biomasy. 1. Žilina: BALPO, 2007. ISBN 978-80-969595-4-9.

QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-2-7-3250-3.

BROŽ, Karel. Vytápění. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2006, ISBN 80-01-02536-5.

BAŠTA, Jiří. Topenářská příručka: 120 let topenářství v Čechách a na Moravě. 1. vyd. Praha: GAS, 2001, 2417 s. ISBN 80-861-7682-7.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá volbou ideálního způsobu vytápění a větrání pro konkrétní rodinný dům. V první části práce je uveden přehled dostupných technologií. Následující část se zabývá popisem vlastností rodinného domu, na základě kterých jsou vybrány nejvíce vyhovující zdroje tepla a způsoby větrání. V závěrečné části práce jsou tyto technologie porovnány jak z hlediska počátečních a provozních nákladů, tak doby návratnosti investice.

Klíčová slova

Vytápění, větrání, zdroj tepla, rodinný dům

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with the choice of the ideal method of heating and ventilation for a specific detached house. The first part of the thesis provides an overview of available technologies. The following part deals with the description of the properties of a detached house, on the basis of which the most suitable heat sources and methods of ventilation are selected. In the final part of the thesis, these technologies are compared both in terms of initial and operating costs, as well as payback period of the investment.

Key words

Heating, ventilation, heat source, detached house

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOCOUREK, Tomáš. *Návrh vytápění a větrání samostatně stojícího rodinného domu*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124544>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Marek Baláš.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Návrh vytápění a větrání samostatně stojícího rodinného domu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Markovi Balášovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 Možnosti vytápění	12
1.1 Kotle.....	12
1.1.1 Kotle na tuhá paliva.....	12
1.1.2 Kotle na kapalná paliva	13
1.1.3 Kotle na plynná paliva.....	14
1.1.4 Elektrokotle	15
1.2 Krby a kamna	16
1.3 Tepelná čerpadla	17
1.3.1 Typy tepelných čerpadel	17
1.4 Solární vytápění	18
1.4.1 Solární kolektory	18
1.4.2 Fotovoltaické panely	19
1.5 Teplovzdušné vytápění	20
1.6 Kombinace více zdrojů	21
2 Možnosti větrání	22
2.1 Větrání přirozené	22
2.2 Větrání nucené	23
2.2.1 Větrání pomocí ventilátoru.....	23
2.2.2 Větrací jednotka s rekuperací.....	23
3 Charakteristika rodinného domu	25
3.1 Popis stavby	25
3.2 Výpočet tepelných ztrát a roční potřeby tepla pro vytápění	25
3.2.1 Roční potřeba tepla dle denostupňové metody	26
3.2.2 Roční potřeba tepla dle množství spotřebovaného paliva.....	27
3.3 Výpočet celkových ročních nákladů na vytápění	28
4 Výběr technologií k porovnání	29
5 Porovnání technologií.....	30
5.1 Varianty s jedním zdrojem tepla	31
5.1.1 Kotel na dřevo	31
5.1.2 Plynový kondenzační kotel	32
5.2 Varianty kombinovaných zdrojů tepla.....	33
5.2.1 Plynový kondenzační kotel a kotel na dřevo.....	33
5.2.2 Tepelné čerpadlo a plynový kondenzační kotel	34
5.2.3 Tepelné čerpadlo a elektrokotel	35
6 Ekonomické posouzení.....	37
DISKUSE	41
ZÁVĚR.....	42
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	43

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	49
SEZNAM OBRÁZKŮ	50
SEZNAM TABULEK.....	51
SEZNAM PŘÍLOH.....	52

ÚVOD

Zajištění tepelné pohody a dostatku čerstvého vzduchu v prostředí, ve kterém se člověk pohybuje jsou jedny ze základní lidských potřeb. V dnešní době existuje spousta technologií umožňující tyto potřeby řešit. Vybrat si tu správnou pro konkrétní dům, tak aby vyhovovala jak z hlediska ekonomického, tak komfortního však může být obtížné. V posledních letech je navíc kladen vyšší důraz na účinnost a ekologický provoz zdrojů tepla, což nutí majitele rodinných domů vybavených starší technologií k výběru nového vyhovujícího zdroje. To vše bylo motivací pro vytvoření této bakalářské práce.

Cílem práce je vytvořit přehled dostupných technologií určených k vytápění a větrání rodinných domů. Na základě tohoto přehledu pak dle výpočtu tepelných ztrát a dalších specifikací konkrétního rodinného domu vybrat ty nejvíce vyhovující varianty. Vybrané varianty mezi sebou porovnat jak z hlediska počátečních a provozních nákladů, tak z hlediska komfortu jejich provozu a usnadnit tak majitelům řešeného rodinného domu výběr nového zdroje tepla a způsobu větrání.

1 Možnosti vytápění

1.1 Kotle

Kotlem se rozumí zařízení, sloužící k ohřevu teplotnosného média. K tomu dochází přeměnou chemické energie obsažené v palivu, na tepelnou energii spalin a následnému přenosu tepla ze spalin do média (v objektech jako jsou rodinné domy se nejčastěji jedná o vodu). U některých typů kotlů se tepelná energie nezískává z paliva, ale z jiných zdrojů. Jedná se o kotle spalinové a elektrokotle. [1]

Podle používaného paliva je rozlišujeme na:

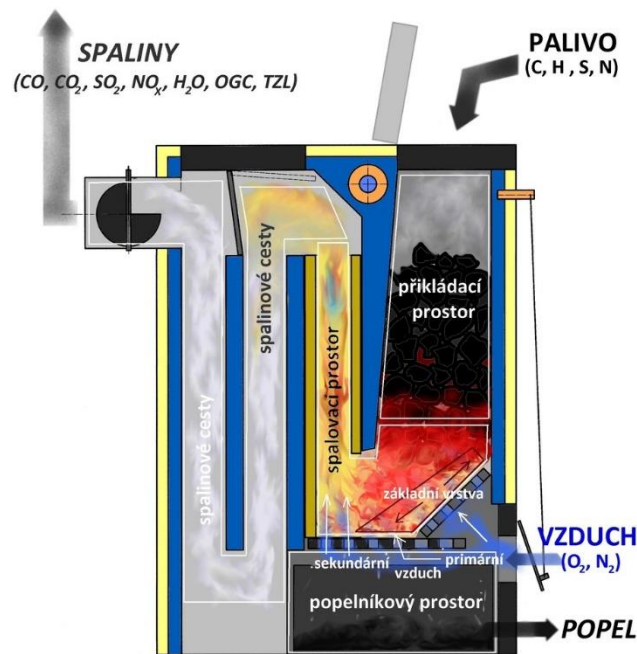
- kotle na tuhá paliva,
- kotle na kapalná paliva,
- kotle na plynná paliva.

1.1.1 Kotle na tuhá paliva

Kotle na tuhá paliva patří mezi jedny z nejstarších zdrojů tepla, používaných pro ústřední vytápění, které byly uvedeny na trh. Přesto i v dnešní době stále patří mezi nejrozšířenější zdroje tepla používané v rodinných domech.

Jako palivo se u těchto kotlů nejčastěji používá biomasa (kusové dřevo, brikety, pelety), nebo fosilní paliva (uhlí, brikety, koks) a do kotle bývá dodáváno ručně obsluhou, nebo v případě automatického kotle automaticky pomocí podavače. [1]

Zjednodušeně se kotel skládá z příkladacího prostoru, do kterého se vkládá palivo, spalovacího prostoru, ve kterém dochází ke spalování, spalinových cest, kde dochází ke sdílení tepla prostupem přes konstrukci kotle ze spalin do otopné vody a popelníkovým prostorem, který slouží k zachytávání pevných zbytků spalování (popel/škvára). [2]



Obr. 1-1 Princip kotle na tuhá paliva [2]

Dle normy ČSN EN 303-5 jsou kotle na tuhá paliva podle emisí CO a TZL děleny do emisních tříd. Kde první dvě třídy jsou nejhorší, v dnešní době se již nevyrábí a od roku 2022 bude zakázáno jejich používání. Nejvyšší je v současnosti 5. emisní třída. Kotle jsou podobně

rozděleny také do tříd dle účinnosti, kde kotle nejvyšší páté třídy musí dosahovat účinnosti minimálně 88 %. Účinnost je však velmi závislá na kvalitě dodávaného paliva. Mezi sledované parametry tuhých paliv patří výhřevnost¹ a vlhkost. S rostoucí vlhkostí paliva klesá jeho výhřevnost. [1]

Tab. 1-1 Vlastnosti vybraných druhů paliv [1] [3] [4] [5]

Druh paliva	Vlhkost [%]	Výhřevnost [MJ·kg ⁻¹]
černé uhlí	5,2	24,0
hnědé uhlí	23,4	9,6
koks (otopová směs)	11	26,3
kusové dřevo – smrk	25	13,1
kusové dřevo – buk	25	12,5
Pelety (smrkové A1)	10	17

Výhodou těchto kotlů jsou nízké pořizovací náklady a v současné době i nízká cena palivového dřeva. Nevýhodou je nutnost skladování paliva, obtížná regulace výkonu, vyšší emise nežádoucích plynů a nutnost přítomnosti obsluhy z důvodu potřeby přikládání paliva. [1]

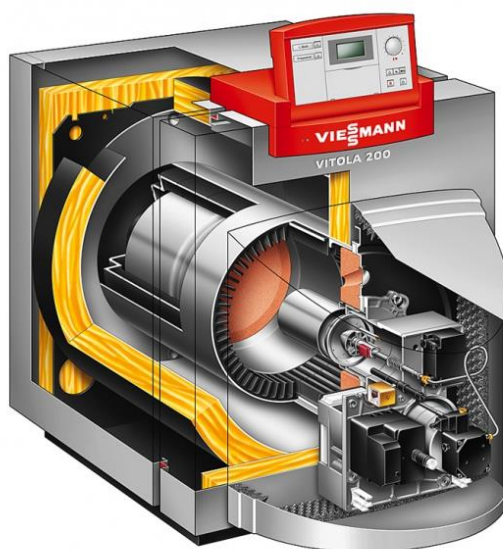
1.1.2 Kotle na kapalná paliva

Tyto kotle své uplatnění naleznou tam, kde nevedou inženýrské sítě a doprava tuhých paliv by byla náročná. Nebo v místech, kde se to z ekonomických důvodů ceny paliv vyplatí. Právě z důvodu vysoké ceny paliva jsou v ČR používány minimálně. [7]

Jako palivo se u těchto kotlů používá lehký topný olej (LTO) a nafta. Obě tyto látky jsou získávány destilací ropy a vyznačují se vysokou výhřevností u LTO 42,3 MJ·kg⁻¹ a u nafty 42,6 MJ·kg⁻¹. [1]

Konstrukčně se tento kotel podobá těm na paliva tuhá s tím rozdílem, že palivo není do kotle vkládáno, ale rozprašováno pomocí k tomu uzpůsobenému hořáku.

Tyto kotle dosahují účinností 93–95 %. [1]



Obr. 1-2 Kotel na kapalná paliva [6]

¹ „Výhřevnost Q_i^r (kJ·kg⁻¹) je teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva při ochlazení spalin na 20 °C, přičemž voda ve spalinách zůstane v plynné fázi.“ [1]

Mezi výhody těchto kotlů patří možnost automatizace a dobrá schopnost regulace výkonu bez nutnosti zásahu obsluhy a s tím spojený vysoký uživatelský komfort, vysoká výhřevnost na jednotku objemu paliva. Nevýhodou jsou pak vyšší pořizovací náklady z důvodu potřeby speciálního zásobníku paliva a s tím spojené nebezpečí skladování těchto paliv, jako může být například kontaminace spodních vod při úniku. [1] [7]

1.1.3 Kotle na plynná paliva

Kotle na plynná paliva se v českých domácnostech začaly používat spolu s rozmachem plynofikace, která proběhla v 90. letech 20. století. V dnešní době patří tyto kotle mezi jeden z nejvíce používaných zdrojů tepla. [8]

Palivem je nejčastěji zemní plyn s výhřevností $33,5 \text{ MJ} \cdot \text{m}_n^{-3}$, případně propan-butan u kterého se výhřevnost pohybuje v rozmezí $80\text{--}110 \text{ MJ} \cdot \text{m}_n^{-3}$ v závislosti na jeho složení. [1]

Z konstrukčního hlediska rozeznáváme dva typy kotlů. Prvním typem jsou kotle navržené pro provoz se suchými spaliny, které dosahují průměrné účinnosti 93 %. Druhým typem jsou kotle uzpůsobené pro kondenzační provoz tzv. kondenzační kotle. Rozdílem mezi jednotlivými typy je v teplotě spalin, která se u prvního typu pohybuje v rozsahu $90\text{--}180^\circ\text{C}$ a u druhého typu v rozsahu $40\text{--}70^\circ\text{C}$. Teplota dosahuje nižších hodnot z toho důvodu, že kondenzační kotle využívají navíc teplo uvolňující se při kondenzaci spalin. Proto dosahují účinnosti 96 až 104 %. [1] [9] „Účinnosti nad 100 % se dosahuje díky tomu, že účinnost se počítá z výhřevnosti a nikoli ze spalného tepla.“ [1]



Obr. 1-3 Plynový kondenzační kotel [10] [11]

1–zásobník TV, 2–tepelný výměník, 3–hořák, 4–expanzní nádoba, 5–ventilátor spalovacího vzduchu, 6–oběhové čerpadlo, 7–tepelný výměník, 8–digitální regulace

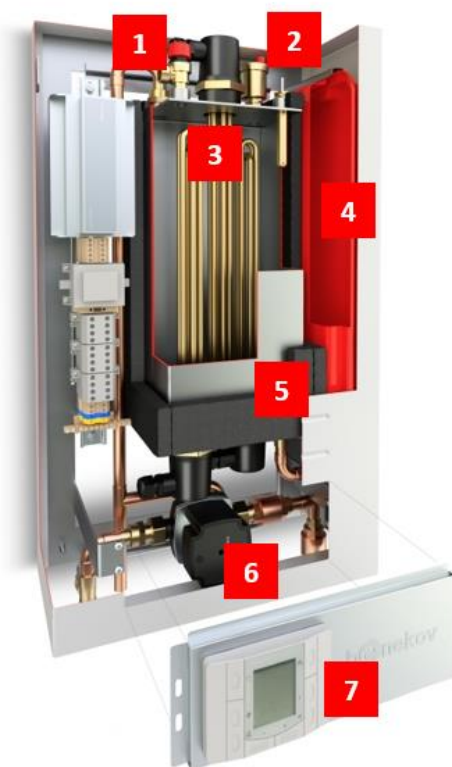
² „Spalné teplo Q_s ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) je teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva při ochlazení spalin na teplotu 20°C , přičemž voda ve spalinách zkondenzuje, tj. je v kapalně fázi.“ [1]

Výhodou těchto kotlů je dostupnost paliva a nízké dopady na životní prostředí vznikající spalováním těchto paliv. Mezi další výhody patří plynulá regulace výkonu a snadná obsluha spojená s možností plné automatizace. U kondenzačních kotlů, z důvodu nízké teploty spalin, navíc odpadá nutnost zděného komínu. Mezi nevýhody patří, v případě nahrazování starého stávajícího zdroje, nutnost zajistit odvod kondenzátu. [9]

1.1.4 Elektrokotle

U starších objektů se elektrokotle většinou nevolí jako hlavní zdroj tepla pro vytápění z ekonomických důvodů, kdy vytápění elektřinou vychází draž než využívání jiného zdroje, proto zde nachází uplatnění především jako doplňkový zdroj. Obecně však platí, že čím nižší je potřeba tepla, tím výhodnější je používání elektrokotle. Proto tyto kotle nacházejí uplatnění ve vytápění nízkoenergetických a pasivních domů, nebo bytů a malých prostor. Další uplatnění mohou nalézt tam, kde je potřeba temperovat nepravidelně obývaný objekt. [12] [13]

Konstrukce elektrokotlů se oproti jiným kotlům značně liší. Je tvořena výměníkem, ve kterém jsou instalována odporová topná tělesa spolu s příslušenstvím (viz. Obr. 1-4). Účinnost přeměny energie je nejvyšší mezi kotly a pohybuje se nad hranicí 99 %. [13]



Obr. 1-4 Elektrokotel [14] [15]

1–pojistný ventil, 2–odvzdušňovací ventil, 3–topná spirála, 4–expanzní nádoba,
5–výměník, 6–oběhové čerpadlo, 7–ovládací panel

Mezi výhody těchto kotlů patří jejich velká účinnost, tichý a bezobslužný chod, odpadá potřeba jakéhokoliv odvodu spalin a s tím spojený ekologický provoz v místě vytápění. Další výhodou jsou minimální nároky na údržbu. Mezi hlavní nevýhodu patří cena elektřiny. [16]

1.2 Krby a kamna

Krby se používaly už ve starověku. Přesto se i v dnešní době těší velké obliby hlavně z estetických důvodů. Slouží především k vytápění místnosti, ve které jsou umístěny. Pomocí rozvodu teplého vzduchu nimi však lze vytápět i přilehlé místnosti. Jako palivo je používáno nejčastěji kusové dřevo, které se do krbu přikládá ručně. [1] [17]

Konstrukčně se jedná o vestavné spalovací zařízení, které mají obestavěný spalovací prostor, který je tak součástí stavby s odvodem spalin do komína. Podle způsobu obestavění ohniště krby dělíme:

- Otevřené krby – stěny ohniště jsou tvořeny cihlami, nebo kamenem, kde přední část je otevřená. Účinnost této konstrukce se pohybuje okolo 10 %,
- Krbové vložky – spalovací prostor je tvořen ocelovými, nebo litinovými stěnami s keramickou vyzdívkou, kde přední část je uzavřena prosklenými dvířky. Účinnost je oproti otevřeným krbům vysoká a to až 80 %. [1]

Výhodou krbů je schopnost akumulace tepla do jejich stavební konstrukce, která pak předává teplo do místnosti i nějakou dobu po vyhasnutí. Další výhodou je jejich estetická stránka. Nevýhodou je pak nutnost manuální obsluhy a potřeba skladování paliva uvnitř budovy a s tím spojená zvýšená prašnost. [1]

Kamna se od krbů liší především tím, že jejich konstrukce není součástí stavby. Jedná se o samostatně stojící zařízení s uzavřeným ohništěm, které může mít v případě krbových kamen prosklené dvířka. Spaliny jsou zde taktéž odváděny do komína. Palivem je stejně jako u krbů kusové dřevo, které je přikládáno ručně. V dnešní době už však existují i plně automatická kamna na pelety. Kamna se vyrábí ocelová, nebo litinová se spalovacím prostorem obloženým vyzdívkou. Popel bývá ručně odváděn z popelníku, který se nachází pod roštem. [1]

Výhody a nevýhody kamen jsou podobné jako u krbů s tím rozdílem, že u kamen odpadá výhoda schopnosti akumulace tepla. [1]

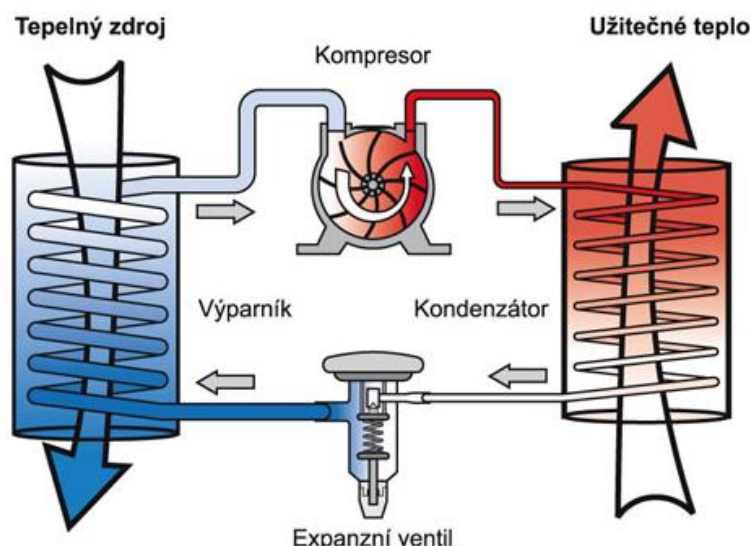


Obr. 1-5 Krbová vložka a litinová krbová kamna [18] [19]

1.3 Tepelná čerpadla

Tepelných čerpadel, jako zdroje tepla, se využívá poměrně krátkou dobu. K jejich rozmachu v Evropě došlo až po roce 2000. Jedná se o zařízení umožňující převést teplo o nízké teplotě, čerpané z okolí (vzduch, voda, země), na teplo o vyšší teplotě, která je vhodná k vytápění, nebo přípravě teplé vody. Principiálně se TČ dělí na tepelná čerpadla s kompresorovým chladicím okruhem a absorpčním chladicím okruhem. V malých instalacích, mezi které patří rodinné domy, se nejčastěji používají kompresorová TČ. [12] [20]

Chladicí okruh kompresorového tepelného čerpadla (obr. 1–6) se skládá z kompresoru, dvou tepelných výměníků (výparníku a kondenzátoru) a expanzního ventilu. Pracovním médiem TČ je chladivo s nízkou teplotou varu. Ve výparníku dochází k odeběrání tepla z okolí a odpařování chladiva, které je následně kompresorem stlačováno a tím zároveň i ohříváno. Takto ohřáté a stlačené chladivo následně v kondenzátoru předává teplo do otopného systému. Tím se páry chladiva ochladí a zkondenzují. Přes škrticí ventil, který odděluje vysokotlakou a nízkotlakou část, se chladivo vrací zpět do výparníku a celý cyklus se opakuje. [21] [22]



Obr. 1-6 Princip tepelného čerpadla [23]

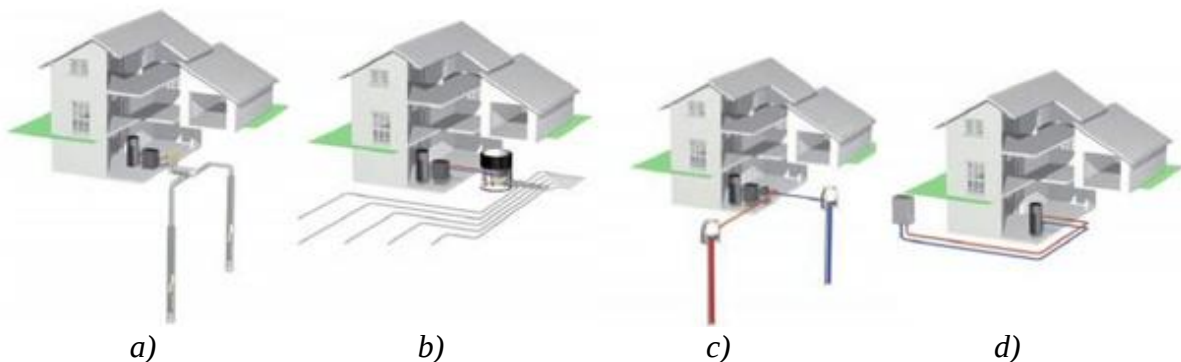
Hlavní ukazatel, podle kterého se hodnotí tepelná čerpadla pro dané použití není jejich účinnost, ale topný faktor COP. Topný faktor je číslo získané poměrem mezi vyrobeným teplem a spotřebovanou elektrickou energií. Čím vyšší COP tím levnější je provoz tepelného čerpadla. Dnešní tepelná čerpadla dosahují hodnot COP od 2,5 do 5. [22] [24]

1.3.1 Typy tepelných čerpadel

V označení tepelných čerpadel se setkáváme s výrazy vzduch, voda, země oddělenými lomítkem. Slovo před lomítkem (vzduch, voda, země) značí odkud TČ čerpá energii, slovo za lomítkem značí, jakým způsobem je teplo předáváno do objektu (vzduch, voda). [24]

- Tepelné čerpadlo vzduch/voda – jedná se o nejpoužívanější typ. Nejčastěji je tvořeno venkovní a vnitřní jednotkou tzv. „split“, kde venkovní jednotka nasává venkovní vzduch a vnitřní zajišťuje ohřev topné vody. Výhodou tohoto typu je snadná instalace a oproti jiným typům nižší pořizovací náklady. Nevýhodou je hluk způsobený venkovní jednotkou a proměnlivý výkon závislý na teplotě, kdy s klesající teplotou klesá i výkon. Hraniční teplota, při které je čerpadlo možné provozovat je $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, [24]

- Tepelné čerpadlo voda/voda – u tohoto typu lze tepelnou energii odebírat z vody povrchové, nebo podzemní. V případě využívání tepla podzemní vody jsou zapotřebí dvě studny (jímací a vsakovací). Tento systém tepelných čerpadel dosahuje nejvyšších topných faktorů. Další výhodou je stabilní teplota vody v průběhu roku (10 °C), tudíž i stabilní výkon. Oproti systémům vzduch/voda je pak výhodou i bezhlučný chod. Mezi nevýhody patří vyšší pořizovací náklady a náročná administrativa spojená s jejich používáním, [24]
- Tepelné čerpadlo země/voda – tepelná energie je u tohoto typu získávána ze země pomocí hlubinných vrtů hlubokých 80 až 250 m, nebo plošných kolektorů umístěných cca 1,5 m pod povrchem. Výhodou je vysoký topný faktor a celoročně stálá teplota horniny, tedy i stabilní výkon, dlouhá životnost a bezhlučný chod. Nevýhodou jsou pořizovací náklady spojené s vrtů a v případě systému plošných kolektorů potřeba velkého nezastavěného prostoru. [26] [27]



Obr. 1-7 Typy tepelných čerpadel [27]

a) země/voda – hlubinné vrtů, b) země/voda – plošné kolektory, c) voda/voda, d) vzduch/voda

Mezi výhody tepelných čerpadel patří jejich ekologický provoz, nízké provozní náklady, odpadá potřeba skladování paliva a vysoký komfort spojený s možností plné automatizace. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady. [28]

1.4 Solární vytápění

Slunce je vydatným zdrojem energie, která na Zemi dopadá ve formě slunečního záření. Zařízení sloužící k využívání této energie se nazývají solární kolektory a fotovoltaické panely. [29]

1.4.1 Solární kolektory

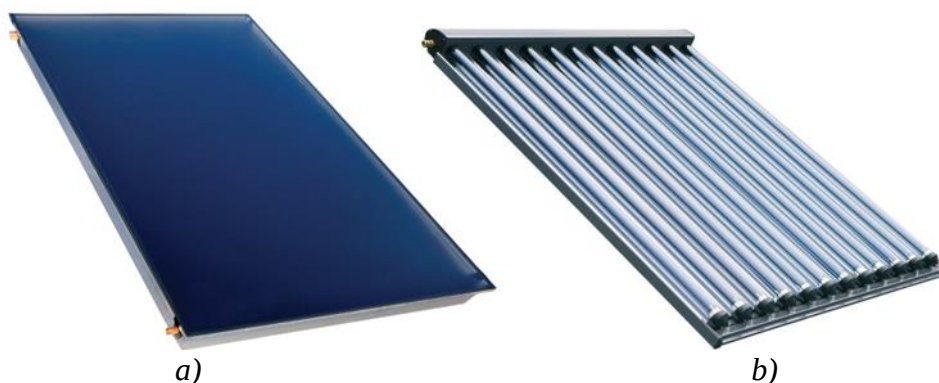
Zařízení, které převádí sluneční záření na teplo se nazývá solární kolektor. Plochý kolektor poprvé patentoval pan Clarence M. Kemp již v roce 1891. Ve vyspělejších západoevropských státech se však začaly používat až v 70. letech 19. století s příchodem světové ropné krize, a to především v zemědělství a průmyslu. [30]

Z konstrukčního hlediska se kolektory dělí na:

- Ploché sluneční kolektory – skládají se z absorpční plochy, z jedné strany obtékané teplotonosnou látkou (nemrznoucí kapalina, voda, vzduch), vsazené do kovového rámu. Aby docházelo k co nejmenším ztrátám prostupem tepla je kolektor ze zadní strany opatřen izolací, ze strany dopadajícího záření je pak jednoduše, nebo dvojitě zasklen. Izolaci přední stěny kolektoru tvoří vzniklá vzduchová (vakuová) vrstva, [12]

- Kolektory s vakuovými trubicemi – absorpční plocha je u tohoto typu tvořena jednotlivými vakuovými trubicemi. Vakuová trubice určená pro solární kolektor je v podstatě trubka v trubce. Vnější trubice je skleněná, vnitřní trubice je měděná. Prostor mezi trubicemi je vyplněn vakuem, které vytváří velmi dobrou tepelnou izolaci. Vnitřní měděná trubice může být buď uzavřená s malým obsahem kapaliny, která se teplem odpařuje a v horní části předává teplo do teplotnosné látky solárního okruhu. Tím se ochladí a zkondenzuje, kondenzát pak stéká do spodní části trubice, kde se znovu odpařuje. Druhý typ je konstruován tak, že vnitřními trubicemi proudí přímo teplotnosná látka solárního okruhu. [12]

Účinnost solárních kolektorů udává poměr mezi hustotou získaného tepelného toku a hustotou globálního záření. Nejvyšší účinnosti kolektor dosahuje, pokud na něj paprsky dopadají kolmo. Úhel jejich dopadu se však neustále mění s denní dobou i ročním obdobím. Proto se pevně umístěné kolektory orientují na jih. Uváděný optimální sklon je pro letní období 30°, pro zimní 70°. U celoročně provozovaných kolektorů se jako vhodný úhel udává 35 až 45°. Její hodnota bývá snižována nepříznivým úhlem dopadu slunečních paprsků, klesající hustotou slunečního záření, s rostoucí teplotou teplotnosné látky a klesající teplotou okolí. V letním období lze počítat s účinností okolo 60 %. [12]



Obr. 1-8 Solární kolektor [31] [32]
a) deskový, b) trubicový

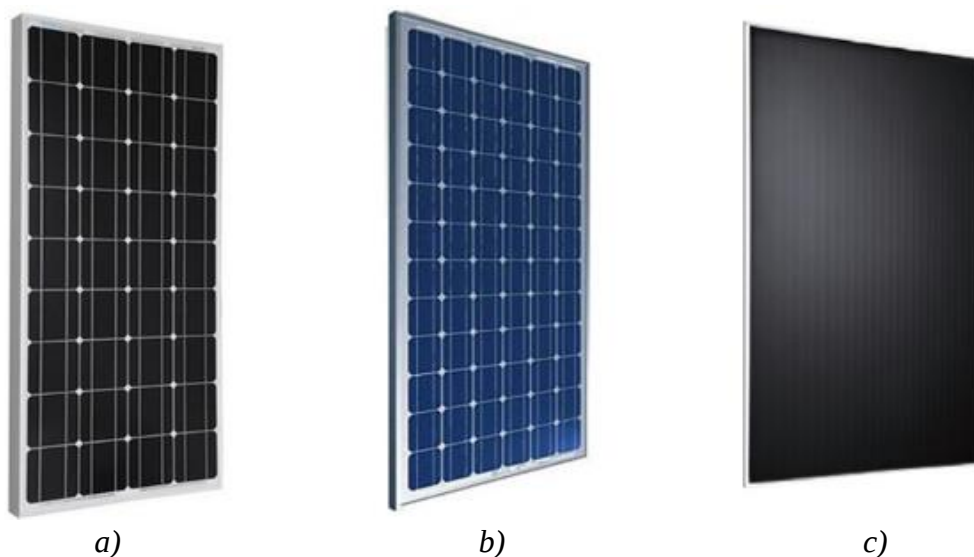
Mezi výhody solárního vytápění patří jeho šetrnost k životnímu prostředí, protože neprodukuje žádné emise, odpadá také potřeba skladování paliva. Další výhodou je dlouhá životnost systémů, která se v dnešní době pohybuje okolo 30 let. Mezi hlavní nevýhodu z hlediska vytápění patří nízká účinnost v zimním období, kdy je potřeba tepla největší. [33]

1.4.2 Fotovoltaické panely

Fotovoltaické panely převádí sluneční energii na energii elektrickou. První fotovoltaický článek byl vyroben v roce 1954. Z počátku se tyto panely používaly především k napájení kosmických družic. V pozemských podmínkách se však začaly používat, podobně jako solární kolektory, až v 70. letech 19. století. [34]

Konstrukčně jsou tyto panely tvořeny z přední strany temperovaným sklem, fotovoltaickými články, z obou stran překrytými plastovou fólií. Zadní stěna je zpravidla tvořena laminátovou kompozicí. Celá sendvičová konstrukce je pak umístěna v hliníkovém rámu. Fotovoltaické články se vyrábí řezáním ingotů křemíku a podle způsobu výroby ingotu se dělí na: [35]

- Monokrystalické – tvořeny jedním krystalem,
- Polyrystalické – tvořeny více krystaly,
- Amorfni – vyráběny napařováním vrstvy křemíku na podkladový materiál.



Obr. 1-9 Fotovoltaický panel [36] [37] [38]
a) monokrystalický b) polykrystalický c) amorfni

Účinnost dnešních fotovoltaických panelů se pohybuje okolo 15 %

Výhody fotovoltaických panelů jsou podobné jako u solárních kolektorů. Mezi další výhody patří univerzální využitelnost elektřiny a také možnost její akumulace, případně prodej přebytků. Mezi nevýhody patří vyšší pořizovací náklady a malá účinnost přeměny energie. [39]

1.5 Teplovzdušné vytápění

Teplovzdušné vytápění se oproti tradičnímu teplovodnímu vytápění s otopnými tělesy liší především v tom, že teplonosnou látkou není voda, ale vzduch, který je do vytápěných místností přiváděn pomocí vzduchotechnického potrubí. [40]

Teplovzdušné vytápění lze realizovat dvěma způsoby:

- Rekuperační jednotka – jedná se o vzduchotechnickou jednotku, která zajišťuje přívod čerstvého vzduchu do objektu a odvod odpadního vzduchu pryč z objektu. Uvnitř rekuperační jednotky se nachází výměník zpětného získávání tepla, který umožňuje ohřívání proudu čerstvého vzduchu proudem odpadního vzduchu, a to s účinností až do 90 %. Ohřátý vzduch je v jednotce dále přehříván, nejčastěji elektrickým ohříváčem, na požadovanou teplotu potřebnou k vytápění. Mezi výhody tohoto systému patří zajištění předepsané kontinuální výměny vzduchu v místnostech, rychlé vytopení objektu spolu s pohotovou regulací výkonu. Mezi další výhody patří neustálá filtrace vzduchu a s tím spojená snížená prašnost. Pro tento systém vytápění jsou typické větší dimenze potrubí, proto je potřeba s tím počítat již v době návrhu objektu, [41]
- Krby a kamna s teplovzdušným výměníkem – vzduch je v tomto případě ohříván ve výměníku krbové vložky, nebo v komorách kamen a následně přes systém teplovzdušných rozvodů přiváděn do jednotlivých místností, kde je ochlazován a následně opět nasáván výměníkem. Nedochází tedy k přivádění čerstvého vzduchu jako v případě rekuperační jednotky. Výhodou tohoto systému je relativně levný provoz, rychlé vytopení objektu a sálavé teplo v místnosti s topidlem. Mezi nevýhody patří vysoká prašnost, nutnost přítomnosti obsluhy z důvodu přikládání paliva, špatná možnost regulace teploty a nerovnoměrné vytápění, kdy v místnosti s topidlem bude vždy tepleji. Podobně jako v případě systému s rekuperační jednotkou je potřeba počítat s rozvody potrubí již při návrhu objektu. [42]

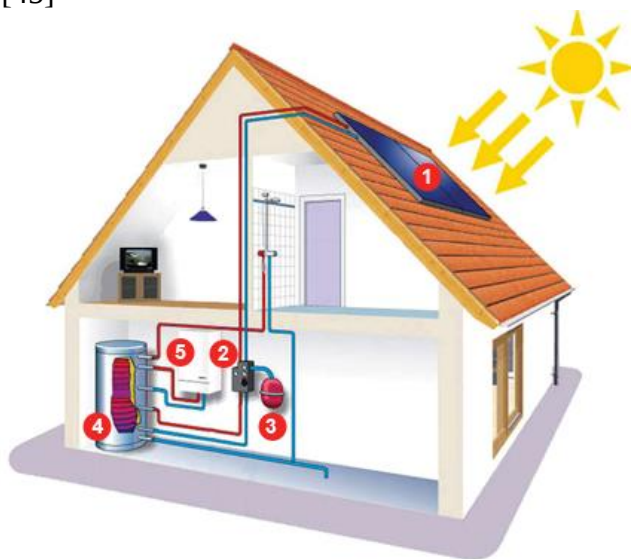
1.6 Kombinace více zdrojů

Při návrhu vytápění rodinných domů se jako výhodná varianta jeví kombinace dvou (bivalentní), případně i více zdrojů tepla. Kombinace zdrojů umožňuje maximální využití výhod jednotlivých systémů spolu s eliminací jejich nevýhod. Zpravidla bývá kombinován provozně levný zdroj (tepelné čerpadlo, solární energie), který však není schopen pokrýt energetickou potřebu v době špiček, a provozně dražší zdroj (elektrokotel, kotel na tuhá paliva).

Jako problém těchto systémů se jeví rozdílná provozní teplota jednotlivých zdrojů tepla, při které pracují s vysokou účinností. Solární kolektory a tepelná čerpadla dosahují vysokých účinností při nižších teplotách. U kotlů je tomu přesně naopak. Z tohoto důvodu bývají tyto systémy vybaveny akumulací nádrží. Topný okruh tepelného čerpadla/solárních kolektorů bývá připojen do spodní chladnější části nádrže tak, aby byla dodržena teplotní stratifikace. Do horní teplejší části nádrže bývá připojen topný okruh kotle. [43] [44] [45]

Mezi nejčastěji používané kombinace patří:

- Kotel a tepelné čerpadlo – primárním zdrojem energie bývá v tomto případě tepelné čerpadlo. Kotel (plynový, na tuhá paliva, elektrokotel) slouží jako špičkový zdroj tepla, který zapíná pouze v době nízkých venkovních teplot tak, aby doplňoval výkon tepelného čerpadla, [44]
- Kotel a solární kolektory – solární soustava je provozně nejlevnější zdroj energie. Dostatečný výkon k vytápění a ohřevu TV však poskytuje pouze v letním a přechodném období. V zimních měsících je hlavním zdrojem tepla kotel (plynový, na tuhá paliva). [45]



Obr. 1-10 Kombinace solárních kolektorů a kotle [46]

1–kolektory, 2–oběhové čerpadlo, 3–expanzní nádoba, 4–akumulační nádrž, 5–kotel

Výhodou otopných systémů vybavených akumulací nádrží je právě schopnost akumulace tepla kdy zdroj tepla „natopí“ akumulací nádrž a ta je následně schopna, po omezenou dobu, dodávat teplo do otopného systému i když zdroj tepla již není aktivní. Díky této schopnosti mohou být zdroje tepla provozovány na maximální výkon, a tedy i maximální účinnosti což má za následek úsporu paliva, vyšší životnost zdroje a také ekologičtější vytápění. Nevýhodou je pak navýšení pořizovací ceny systému a požadavek na prostor pro akumulací nádrž. [45]

2 Možnosti větrání

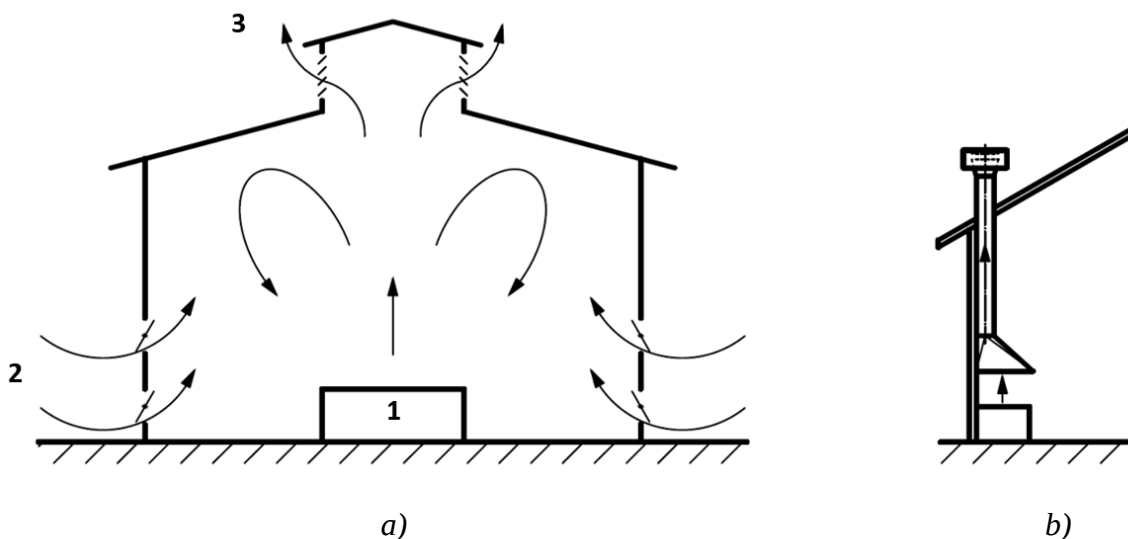
Cílem větrání je nahradit vnitřní vzduch, obsahující škodliviny (nadbytek CO₂, vodní páry, oděry), čistým venkovním vzduchem. Požadavky na větrání obytných budov se zabývá norma ČSN EN 15 665/Z1. [47]

2.1 Větrání přirozené

K výměně vzduchu mezi vnitřním a venkovním prostředím v případě přirozeného větrání dochází působením rozdílných tlaků vzduchu o různých teplotách a účinkem větru proudícího kolem objektu. [48]

Druhy přirozeného větrání:

- Provzdušnění (infiltrace) – trvalé celkové větrání, ke kterému dochází netěsnostmi spár oken, dveří a jiných otvorů. Výměna vzduchu je malá, nicméně je nutno s ní počítat hlavně v zimním období, kdy způsobuje navýšení tepelných ztrát, [48]
- Provětrání – občasné celkové větrání obytných prostorů za pomoci otevírání oken, nebo dveří, [48]
- Šachtové větrání – trvalé místní větrání pomocí svislé větrací šachty. V obytných budovách se používá k odvodu vzduchu z bytových jader, či odvětrávání kuchyňských koutů. V průmyslu pak k odvětrávání tepla, nebo spalin od lokálních zdrojů. Ke zvýšení účinnosti (tahu) bývá konec šachty osazen deflektorovou (samotahovou) hlavicí, [48]
- Aerace – trvalé celkové větrání používané především v průmyslových halách (provozy s nadměrným zdrojem tepla). Podmínkou pro uplatnění aerace je dostatečný rozdíl teplot mezi vnitřním a venkovním vzduchem. Budovy navrhované pro větrání aerací by měly být, pokud možno co nejužší podélného tvaru, osazené otvory pro přívod vzduchu. Odváděcí otvory (světlíky) jsou ideálně umístěny na střeše. [48]



Obr. 2-1 Přirozené větrání podle [48]

a) aerace 1–zdroj tepla, 2–přívod vzduchu, 3–odvod vzduchu
b) šachtové

Hlavní výhodou přirozeného větrání je minimální pořizovací cena a téměř nulové provozní náklady. Nevýhodou pak může být nedostatečné odvětrávání v případě průmyslových hal. U provětrávání je pak nevýhodou nutnost přítomnosti obsluhy. [47] [49]

2.2 Větrání nucené

V případě nuceného větrání je výměna vzduchu mezi vnitřním a venkovním prostředím zajišťována větracím zařízením (ventilátor, větrací jednotka).

Systémy nuceného větrání umožňují pomocí rozdílných průtoků přiváděného a odváděného vzduchu řídit tlakové poměry v objektu. A podle poměru mezi množstvím vzduchu přiváděného a odváděného se dělí na systémy: [48]

- Přetlakové – u tohoto typu je množství přiváděného vzduchu větší než množství odváděné. Tímto způsobem se větrají místnosti s vyššími nároky na kvalitu prostředí (operační sály, velíny apod.), [48]
- Rovnotlaké – množství přiváděného vzduchu je stejné, jako množství odváděného. Typicky se používá pro větrání kanceláří a obytných domů, [50]
- Podtlakové – množství přiváděného vzduchu je menší než množství odváděného. Tímto způsobem větrání se zabráňuje rozšiřování škodliviny z větraného prostoru do okolí. Jedná se o typické větrání prostor vybavených pouze odsáváním (sklady, garáže, záchody, malé kuchyně apod.). [48]

2.2.1 Větrání pomocí ventilátoru

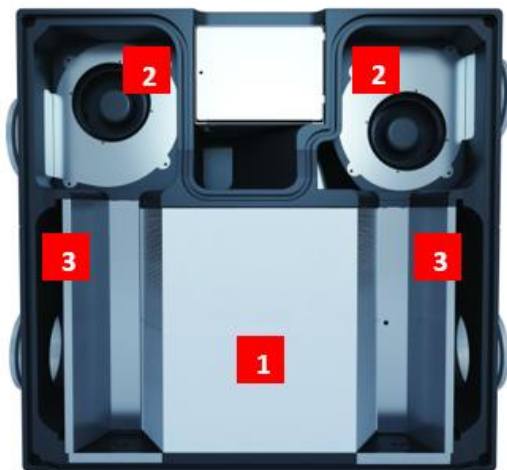
Ventilátory většinou pracují jednosměrně a používají se k nucenému odvodu vzduchu z prostoru. Spadají tak do systému s podtlakovým větráním. V obytných domech se typicky umísťují do místností jako jsou koupelny, kuchyně a záchody.

Mezi výhody větrání pomocí ventilátoru patří nízké pořizovací náklady spolu s nízkou spotřebou elektrické energie. Mezi nevýhody patří vyšší hlučnost. [47]

2.2.2 Větrací jednotka s rekuperací

Větrací systémy vybavené větrací jednotkou, používané v obytných budovách, se nejčastěji navrhují jako rovnotlaké.

Samotná jednotka je zařízení, které zajišťuje přívod a ohřev venkovního vzduchu spolu s odvodem vzduchu odpadního (viz 1.5 Teplovzdušné vytápění). Zjednodušeně se toto zařízení skládá z filtrů a ventilátorů pro přívodní a odpadní vzduch a výměníku zpětného získávání tepla (rekuperační výměník). [51]

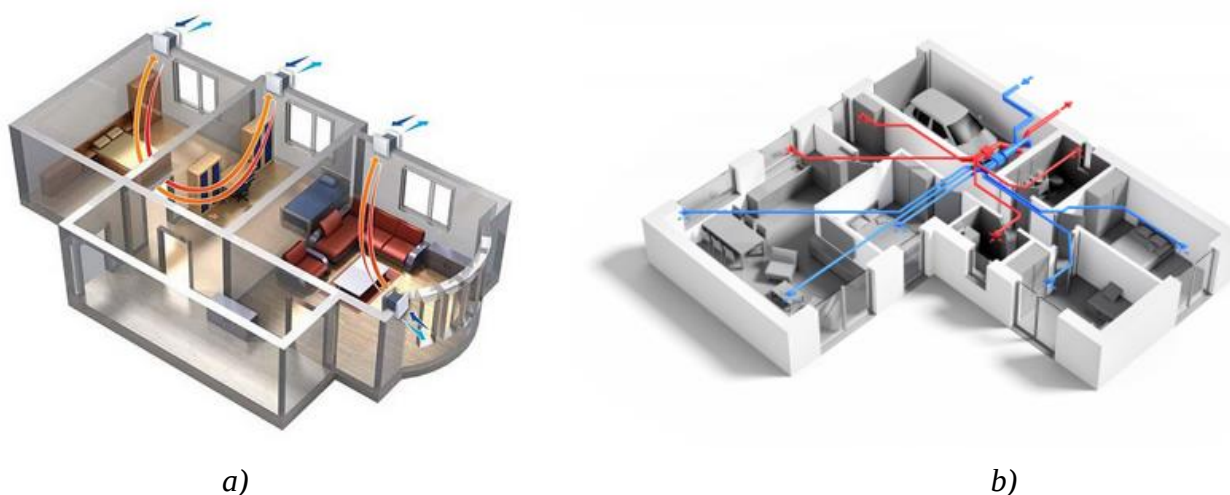


Obr. 2-2 Rekuperační jednotka [51] [52]

1–rekuperační výměník, 2–ventilátory odpadního a čerstvého vzduchu, 3–filtry

Větrací jednotky se podle počtu větraných místností dají rozdělit na:

- Lokální – tato jednotka slouží k větrání místnosti ve které je umístěna. Typicky se umísťuje na obvodovou zeď větrané místnosti, [47]
- Centrální – systém s jednou „centrální“ jednotkou, kde je přívod čerstvého a odvod odpadního vzduchu z jednotlivých místností realizován pomocí vzduchotechnického potrubí. [47]



Obr. 2-3 Větrací systémy [53] [54]
a) lokální, b) centrální

Hlavní výhodou větracích rekuperačních jednotek je schopnost zpětného získávání tepla (ZZT) z odpadního vzduchu, tím pádem i snížení tepelných ztrát větráním, a to až o 80 % v závislosti na provozních podmínkách. Mezi další výhody patří kontinuální přívod čerstvého filtrovaného vzduchu zbaveného prachu a pylu – vhodné pro alergiky, kontinuální odvod vlhkosti – ochrana proti plísním a vysoký komfort spojený s bezobslužným provozem. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady. V případě centrálního systému je z důvodu vyšší dimenze potrubí potřeba s potrubními rozvody počítat již v době návrhu objektu. [48] [50] [55]

3 Charakteristika rodinného domu

3.1 Popis stavby

Rodinný dům se nachází v obci Lužná, v okrese Vsetín. Jedná se o samostatně stojící dvoupatrový dům obývaný čtyřčlennou rodinou. Vstup do obytné části domu je přes zádveří propojené s chodbou, ze které je přístup do spíže, technické místnosti, schodišťového prostoru, koupelny a kuchyně, která je propojená s obývacím pokojem. Z obývacího pokoje je dále přístup do ložnice. Ve druhém patře domu se nachází dva dětské pokoje a jedna nevytápěná místnost.

Obvodové stěny jsou zhotoveny ze škvárobetonových tvárnic. Vnitřní zdivo z pálených cihel. Stropní konstrukce je tvořena betonovými pažnicemi zalitými škvárobetonem. Střecha domu je šikmá sedlová se sklonem 45°. Dům je osazen plastovými okny s izolačním dvojsklem.

- Užitná plocha: 173 m²
- Zastavěná plocha: 125 m²
- Obestavěný prostor: 528 m³
- Maximální výška hřebene nad upraveným terénem: 9,6 m

Vytápění objektu je řešeno kombinací plynového kotle Thermona Therm 20 LX o jmenovitém výkonu 20 kW s účinností 90 % a kotle na dřevo H 51 o jmenovitém výkonu 29 kW s účinností 74,3 %. Ohřev teplé vody je řešen elektrickým ohřívacem Dražice OKC 160 s příkonem 2,2 kW. [56] [57] [58]

Dům není vybaven žádným větracím systémem a výměny vzduchu je dosahováno otevíráním oken. Výjimku tvoří pouze koupelna, která je navíc nuceně větrána za pomoci ventilátoru a spíž, která je přirozeně větrána větracím otvorem umístěným v obvodové zdi.

3.2 Výpočet tepelných ztrát a roční potřeby tepla pro vytápění

Tepelná ztráta byla počítána obálkovou metodou pomocí online kalkulačky na portále TZB-info. Bylo počítáno s vnitřní výpočtovou teplotou 20 °C a intenzitou výměny vzduchu 0,4 h⁻¹. Následující hodnoty byly stanoveny vzhledem k lokalitě objektu: [59]

- Výpočtová venkovní teplota: -15 °C
- Průměrná teplota v otopném období: 3,2 °C
- Počet dnů otopného období: 225 d

Tab. 3-1 Tepelné vlastnosti konstrukcí³

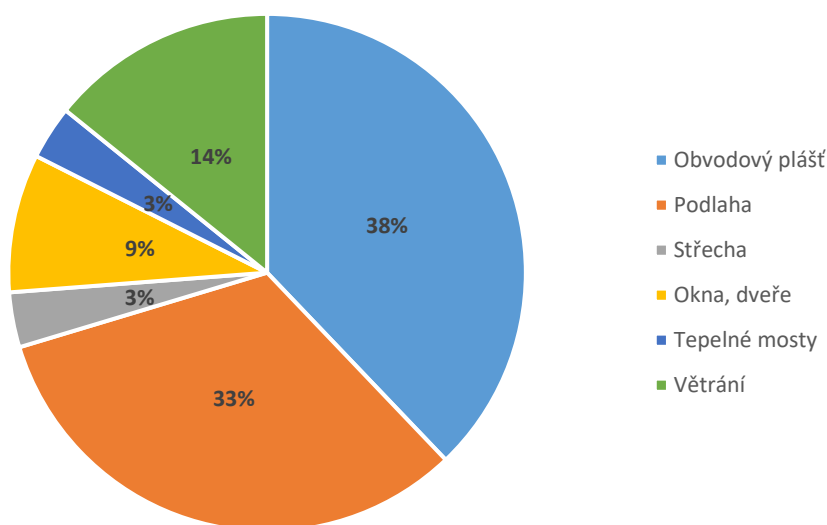
Konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Plocha [m ²]
Stěna ochlazovaná 1	1,30	131,96
Stěna ochlazovaná 2	1,59	19,98
Podlaha na zemině	2,24	77,85
Strop	0,17	48,48
Střecha	0,17	60,10
Okno zdvojené	2,35	17,73
Okno střešní	1,10	1,61
Dveře ochlazované	1,20	2,53

³ Vlastnosti konstrukcí byly získány z výkresové dokumentace stavby uvedené v příloze

Výsledná tepelná ztráta a ztráty jednotlivými konstrukcemi jsou uvedeny v Tab. 3–2.

Tab. 3-2 Tepelné ztráty rodinného domu [60]

Typ konstrukce	Tepelná ztráta [W]
Obvodový plášť	7 116
Podlaha	6 103
Střecha	646
Okna, dveře	1 627
Tepelné mosty	630
Větrání	2669
celkem	18 791



Obr. 3-1 Graf tepelných ztrát rodinného domu

3.2.1 Roční potřeba tepla dle denostupňové metody

Denostupňová metoda se používá pro teoretické určení roční potřeby tepla pro přerušované vytápění. Výpočet se provádí dle vztahu: [59]

$$E_d = \varepsilon \times Q_c \times 24 \times d \times \frac{t_{is} - t_{es}}{t_{is} - t_e} \quad [kWh] \quad (3.1)$$

kde ε – umenšující součinitel zachycující zkrácení denního provozu [–]
 Q_c – celková tepelná ztráta objektu [kW]
 d – počet dnů otopného období [dny]
 t_{is} – průměrná teplota vnitřního vzduchu v budově [°C]
 t_{es} – průměrná teplota v otopném období [°C]
 t_e – výpočtová venkovní teplota [°C]

$$E_d = 0,80 \times 18,791 \times 24 \times 225 \times \frac{20 - 3,2}{20 - (-15)} = 38\,965 \text{ kWh}$$

3.2.2 Roční potřeba tepla dle množství spotřebovaného paliva

Rodinný dům je během chladnějších dnů vytápěn kotlem na dřevo. Zbytek dnů otopného období je využíván kotel na zemní plyn.

Tímto způsobem se za otopné období spotřebuje přibližně 9 PRMr tvrdého dřeva. Průměrné množství energie dodané ve formě zemního plynu bylo za poslední 3 otopná období, dle vyúčtování dodávky plynu, 15 604 kWh.

Při výpočtu dodané tepelné energie ve formě dřeva bude počítáno se spalováním bukového dřeva s výhřevností $12,5 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ a účinností kotle 74,3 %. [57]

Výpočet hmotnosti spotřebovaného dřeva:

$$m_d = V \times a \times \rho \quad [\text{kg}] \quad (3.2)$$

kde V – objemové množství dřeva [PRMr]

a – přepočet do plného metru [–]

ρ – hustota bukového dřeva [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

$$m_d = 9 \times 0,66 \times 670 \doteq 3980 \text{ kg}$$

Výpočet tepelné energie dodané ve formě dřeva:

$$Q_d = m_d \times Q_i^r \times \eta \quad [\text{MJ}] \quad (3.3)$$

kde Q_i^r – výhřevnost paliva [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]

η – účinnost zdroje tepla [–]

$$Q_d = 3980 \times 12,5 \times 0,743 \doteq 36\,964 \text{ MJ} \doteq 10\,268 \text{ kWh}$$

Roční potřeba tepla na vytápění se pak vypočte jako součet energií dodaných v jednotlivých typech paliv. Výsledná hodnota je pak:

$$E = 10268 + 15604 = \mathbf{25\,872 \text{ kWh}}$$

Výsledné hodnoty roční potřeby tepla se mezi počítanými metodami liší přibližně o 13 000 kWh. Z důvodu, že druhá hodnota, získaná výpočtem dle množství spotřebovaného paliva, vychází z reálných dat za poslední 3 otopná období, bude dále počítáno s roční potřebou tepla 25 872 kWh.

3.3 Výpočet celkových ročních nákladů na vytápění

K výpočtu ročních nákladů na vytápění je zapotřebí znát roční potřebu tepla, účinnost zdroje, výhřevnost a cenu paliva.

Tab. 3-3 Popis zdrojů tepla a používaného paliva [1] [4]

Zdroj	Účinnost	Palivo	Výhřevnost	Cena paliva
Kotel H 51	74,3 %	Dřevo – buk	12,5 MJ·kg ⁻¹	3,17 Kč·kg ⁻¹
Kotel Thermona Therm 20 LX	90 %	Zemní plyn	33,5 MJ·m ⁻³	1,44 Kč·kWh ⁻¹ ⁴

Roční náklady na vytápění se vypočtou dle vztahu:

$$N_r = n_{pal} \times \frac{Q_{dod}}{Q_i^r \times \eta} \quad [Kč] \quad (3.4)$$

kde n_{pal} – jednotková cena paliva [Kč·kg⁻¹], [Kč·m⁻³]
 Q_{dod} – energie dodaná v palivu [kWh], [MJ]
 η – účinnost zařízení [–]

$$N_r = 3,17 \times \frac{36964}{12,5 \times 0,743} + 1,44 \times \frac{15604}{0,9} + 12 \times 308,85 \doteq \mathbf{41\,289\,Kč}$$

⁴ Cena platná od 1.1.2019 dle tarifu Plyn TIP 12 společnosti innogi Energie, s.r.o. K ceně za 1 kWh odebraného plynu nutno dále připočíst stálý měsíční poplatek 308,85 Kč [61]

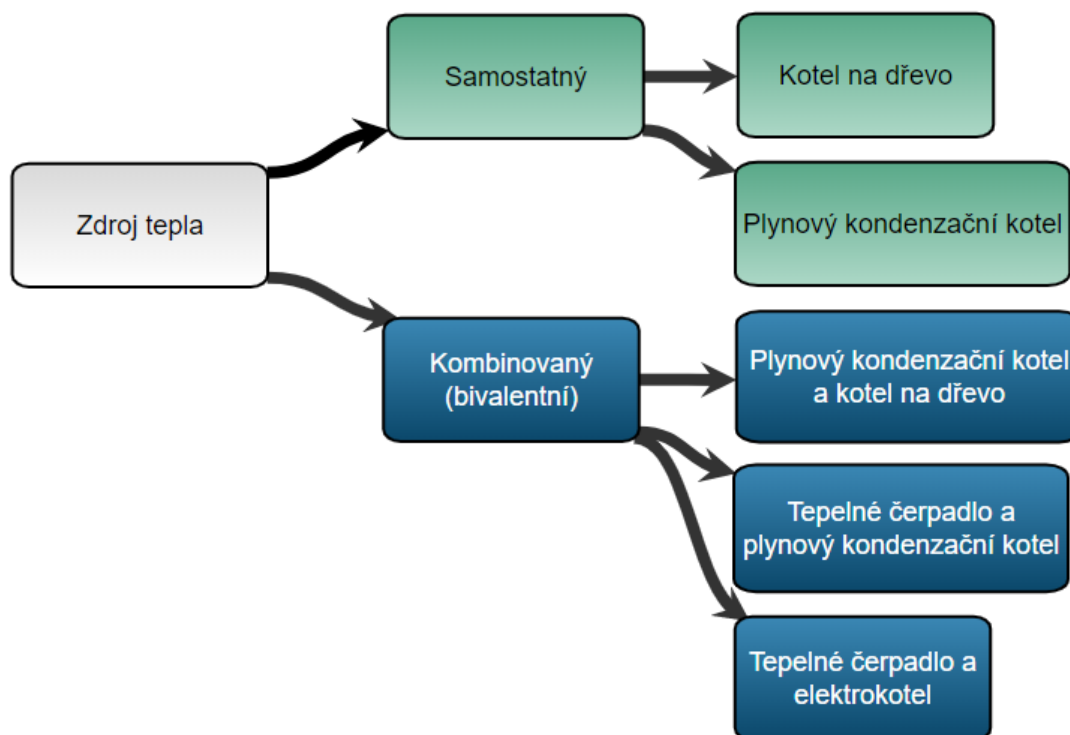
4 Výběr technologií k porovnání

Výběr technologií vytápění je u řešeného objektu poměrně omezen z důvodu, že objekt je již vybaven otopnou soustavou, která je navržena na vyšší teplotní spád. To znemožňuje efektivní provoz kondenzačního plynového kotle a tepelného čerpadla jako samostatného zdroje, obě technologie totiž dosahují nejvyšších účinností při nižších teplotních spádech. Dalším omezujícím faktorem je umístění domu. Ten se nachází nedaleko lesního porostu, který na dům po většinu roku vrhá stín. To znemožňuje efektivní využití jakékoliv solární techniky. Případná náhrada stávajících zdrojů tepla za krb nebo kamna byla zavrhnuta majiteli z důvodu prašnosti spojené s jejich provozem.

Vzhledem k tepelně technickým vlastnostem objektu a výše zmíněných omezení byly pro potřebu vytápění rodinného domu vybrány následující technologie:

- Kotel na tuhá paliva (dřevo) – výhodou je jeho náhrada za stávající kotel taktéž na tuhá paliva. Majitelé jsou tedy zvyklí jak na skladování paliva, tak obsluhu kotle,
- Plynový kondenzační kotel – tato možnost má podobnou výhodu jako výše zmíněná varianta, kdy by došlo k náhradě stávajícího plynového kotle,
- Tepelné čerpadlo – byl vybrán typ vzduch/voda z důvodu relativně jednoduché instalace. Majitelé mají okrasnou zahradu, a proto vyloučili typ země/voda.

Varianty jsou pro přehlednost zobrazeny na obrázku:



Obr. 4-1 Vybrané technologie

U všech vybraných technologií s výjimkou plynového kondenzačního kotle a kombinace plynového kondenzačního kotle s kotlem na dřevo bude počítáno s pořízením akumulární nádrže o objemu přibližně 50 l na 1 kW výkonu zdroje. [62]

Jako nejjednodušší způsob větrání se jeví stávající přirozené větrání otevíráním oken. Pro porovnání byla zvolena také varianta s rekuperační jednotkou. Její výhodou je zajištění kontinuálního přívodu čerstvého filtrovaného vzduchu a snížení tepelných ztrát domu díky zpětnému získávání tepla (viz 2.2.2 Větrací jednotka s rekuperací).

5 Porovnání technologií

Roční náklady na vytápění budou u všech variant zdrojů tepla vypočteny jak v kombinaci s větrací jednotkou, tak bez ní. A to z toho důvodu, že rekuperační větrací jednotka umožňuje snížit tepelnou ztrátu větráním.

Pro tento účel byla vybrána jednotka Duplex 370 EC5 od firmy Atrea s parametry uvedenými v tabulce:

Tab. 5-1 Parametry rekuperační jednotky Duplex 370 EC5 [63]

Příkon [W]	Účinnost [%]	Pořizovací cena s DPH [Kč]
65	85–95	45 750 ⁵



Obr. 5-1 Rekuperační jednotka Duplex 370 EC5 [64]

Výpočet roční potřeby tepla s rekuperační jednotkou:

$$E_{rj} = E - (E \times q_v \times \eta) \quad [kWh] \quad (5.1)$$

Kde η – účinnost zařízení [–]

q_v – procentuální zastoupení tepelných ztrát větráním [–]

$$E_{rj} = 25872 - (25872 \times 0,14 \times 0,85) = \mathbf{22\,793\,kWh}$$

Výpočet ročních provozních nákladů rekuperační jednotky:

$$N_{rrj} = n_{el} \times P \times d \times 24 \quad [Kč] \quad (5.2)$$

Kde n_{el} – cena elektřiny [Kč·kWh⁻¹]

P – příkon zařízení [W]

d – počet dnů otopného období [dny]

Při výpočtu bylo počítáno s cenou elektřiny⁶ 3,829 Kč·kWh⁻¹

$$N_{rrj} = 3,829 \times 0,065 \times 225 \times 24 = \mathbf{1\,344\,Kč}$$

Celkové roční náklady s rekuperační jednotkou se pak vypočtou:

$$N_{cr} = N_r + N_{rrj} \quad [Kč] \quad (5.3)$$

⁵ Pořizovací cena samostatné jednotky. V ceně nejsou započteny náklady na stavební práce, příslušenství a montáž, které by bylo obtížné určit. [65]

⁶ Cena platná dle ceníku z roku 2020 pro tarif D25d od společnosti ČEZ Prodej, a.s. [66]

5.1 Varianty s jedním zdrojem tepla

5.1.1 Kotel na dřevo

Byl vybrán kotel na kusové dřevo S1 Turbo od výrobce Fröling. Ke kotli byla vybrána akumulární nádrž Ökocell o objemu 1000 l také od výrobce Fröling.

Tab. 5-2 Parametry kotle Fröling S1 Turbo [67]

Výkon [kW]	Účinnost [%]	Pořizovací cena s DPH [Kč]
20	92,5 ⁷	189 900 ⁸



Obr. 5-2 Kotel Fröling S1 Turbo s akumulární nádrží Ökocell [67] [68]

Při výpočtu ročních nákladů na vytápění dle rovnice 3.4 je počítáno se spalováním bukového dřeva s výhřevností $12,5 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ a cenou $3,17 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$. Výsledné náklady pak jsou:

$$N_r = 3,17 \times \frac{25872 \times 3,6}{12,5 \times 0,925} \doteq \mathbf{25\,535 \text{ Kč}}$$

Roční náklady na vytápění při využívání rekuperační jednotky jsou dle rovnice 5.3:

$$N_{cr} = 3,17 \times \frac{22793 \times 3,6}{12,5 \times 0,925} + 1344 \doteq \mathbf{22\,496 \text{ Kč}}$$

⁷ Hodnota účinnosti byla pro konkrétní kotel nedohledatelná. Proto byla převzata od kotle ze stejné modelové řady, ale nižší výkonnostní třídy. A to kotle Fröling S1 Turbo o výkonu 15 kW. [69]

⁸ Jedná se o cenovou nabídku od firmy S WHG s.r.o. V ceně je zahrnut kotel, akumulární nádoba a regulace otopného systému [70]

5.1.2 Plynový kondenzační kotel

Byl vybrán kotel na zemní plyn Logamax plus GB122i–24 T H od výrobce Buderus. Kotel je schopen rozsáhlé modulace výkonu při zachování vysoké účinnosti. Z tohoto důvodu se napojuje přímo na otopnou soustavu a není zapotřebí pořizovat akumulční nádrž. [71]

Tab. 5-3 Parametry kotle Logamax plus GB122i–24 T H [72]

Výkon [kW]	Účinnost [%]	Pořizovací cena s DPH [Kč]
24	94	44 160 ⁹



Obr. 5-3 Kotel Logamax plus GB122i–24 T H [73]

Při výpočtu ročních nákladů na vytápění dle rovnice 3.4 je počítáno se spalováním zemního plynu s cenou¹⁰ 1,44 Kč·kWh⁻¹. Výsledné náklady pak jsou:

$$N_r = 1,44 \times \frac{25872}{0,94} + 12 \times 308,85 \doteq \mathbf{43\,340\,Kč}$$

Roční náklady na vytápění při využívání rekuperační jednotky jsou dle rovnice 5.3:

$$N_{cr} = 1,44 \times \frac{22793}{0,94} + 12 \times 308,85 + 1344 \doteq \mathbf{39\,967\,Kč}$$

⁹ Cena platná dle zvýhodněných paketů výrobce platných od 1.4.2020. Paket zahrnuje kotel, řídicí jednotku a prostorový regulátor [74]

¹⁰ Cena platná od 1.1.2019 dle tarifu Plyn TIP 12 společnosti innogi Energie, s.r.o. K ceně za 1 kWh odebraného plynu nutno dále připočíst stálý měsíční poplatek 308,85 Kč [61]

5.2 Varianty kombinovaných zdrojů tepla

5.2.1 Plynový kondenzační kotel a kotel na dřevo

Byla vybrána kombinace plynového kondenzačního kotle CGB-2 od výrobce Wolf s kotlem na dřevo LEMUR od výrobce Kovarson. Ke kotli na dřevo byla zvolena akumulční nádoba NAD 1000 v2 od výrobce Dražice

Tab. 5-4 Parametry zařízení CGB-2, LEMUR, NAD 1000 v2 [75] [76]

Zařízení	Výkon [kW]	Účinnost [%]	Pořizovací cena s DPH [Kč]
Kotel CGB-2	24	96	52 000
Kotel LEMUR	20	90,9	73 490
Akumulační nádoba	-	-	16 698
celkem			142 188 ¹¹



Obr. 5-4 Kotel CGB-2, LEMUR a akumulční nádoba NAD 1000 v2 [76] [77] [78]

Při výpočtech bude počítáno se spotřebou 9 PRMr bukového dřeva s výhřevností $12,5 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ a cenou $3,17 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$. Zbylá energie potřebná pro vytápění bude získána spalováním zemního plynu s cenou $1,44 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$.

Energie dodaná ve formě dřeva je dle rovnice 3.3:

$$Q_d = 3980 \times 12,5 \times 0,909 \doteq 45\,223 \text{ MJ} \cdot \text{rok}^{-1} \doteq 12\,562 \text{ kWh}$$

Roční náklady na vytápění jsou dle rovnice 3.4:

$$N_r = 3,17 \times \frac{45223}{12,5 \times 0,909} + 1,44 \times \frac{25872 - 12562}{0,96} + 12 \times 308,85 \doteq \mathbf{36\,289 \text{ Kč}}$$

Roční náklady na vytápění při využívání rekuperační jednotky jsou dle rovnice 5.3:

$$N_{cr} = 3,17 \times \frac{45223}{12,5 \times 0,909} + 1,44 \times \frac{22793 - 12562}{0,96} + 12 \times 308,85 + 1344 \doteq \mathbf{33\,015 \text{ Kč}}$$

¹¹ Ceny platné dle ceníků výrobců. Součástí kotlů je i jejich regulace. V ceně akumulční nádoby je již zahrnuta cena za tepelnou izolaci, kterou je nutno pořídit zvlášť [79] [80] [81] [82]

5.2.2 Tepelné čerpadlo a plynový kondenzační kotel

Bylo vybráno TČ WPLS 15.2 Light od výrobce Buderus v kombinaci s plynovým kondenzačním kotlem GB122i–24 T H popsaným v kapitole 5.1.2.

Tab. 5-5 Parametry kotle GB 122i–24 T H a TČ WPLS 15.2 Light [72] [83]

Zařízení	Výkon [kW]	Topný faktor [-] / účinnost [%]	Pořizovací cena s DPH [Kč]
Kotel	24	- / 94	51 969
TČ	11	3,31 ¹² / -	281 267
Celkem			333 236 ¹³



Obr. 5-5 Kotel GB 122i–24 T H a TČ WPLS 15.2 Light [73] [84]

TČ je schopno krýt tepelné ztráty domu do $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při nižších teplotách bude počítáno, že TČ bude krýt 50 % tepelných ztrát. Zbylé tepelné ztráty bude vytápět plynový kotel. Počet dnů, kdy teplota klesla pod $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ bylo 9¹⁴.

Výpočet průměrného množství tepla nutného dodat plynovým kotlem za 9 dnů:

$$Q_9 = \left(\frac{E}{d} \times 9 \right) \times (1 - 0,53) \text{ [kWh]} \quad (5.4)$$

Kde E – roční potřeba tepla [kWh]
 d – počet dnů otopného období [dny]

Pro variantu bez rekuperační jednotky dle rovnice 5.4 platí:

$$Q_9 = \left(\frac{25872}{225} \times 9 \right) \times (1 - 0,50) \doteq 517 \text{ kWh}$$

Pro variantu s rekuperační jednotkou dle rovnice 5.4 platí:

$$Q_9 = \left(\frac{22793}{225} \times 9 \right) \times (1 - 0,50) \doteq 456 \text{ kWh}$$

¹² Deklarovaný topný faktor pro částečné zatížení při venkovní teplotě $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ [83]

¹³ Cenová nabídka výrobce Buderus. V ceně je zahrnut kotel, TČ, regulaci a potřebné příslušenství. [85]

¹⁴ Jedná o průměrný počet dnů za posledních 10 otopných období, data byla získána z hydrometeorologické stanice v Holešově [86]

Při výpočtu ročních nákladů na vytápění dle rovnice 3.4 bude počítáno s cenou plynu¹⁵ 1,46 Kč·kWh⁻¹ a cenou elektřiny¹⁶ 2,350 Kč·kWh⁻¹. Výsledné náklady pak jsou:

$$N_r = 2,35 \times \frac{25872 - 517}{3,31} + 1,46 \times \frac{517}{0,94} + 12 \times 282,95 \doteq \mathbf{22\,200\,Kč}$$

Z důvodu rozdílné ceny elektřiny při topení s pomocí TČ je nutno dle rovnice 5.2 přepočítat roční náklady na provoz rekuperační jednotky:

$$N_{rrj} = 2,35 \times 0,065 \times 225 \times 24 = \mathbf{825\,Kč}$$

Roční náklady na vytápění při využívání rekuperační jednotky jsou dle rovnice 5.3:

$$N_{cr} = 2,35 \times \frac{22793 - 456}{3,31} + 1,46 \times \frac{456}{0,94} + 12 \times 282,95 + 825 \doteq \mathbf{20\,787\,Kč}$$

5.2.3 Tepelné čerpadlo a elektrokotel

Bylo vybráno TČ AIR X s vnitřní jednotkou AirBox E od výrobce IVT. U tohoto typu je vnitřní jednotka je vybavena zabudovaným elektrokotlem.

Tab. 5-6 Parametry TČ AIR X s vnitřní jednotkou AirBox E [87]

Zařízení	Výkon [kW]	Topný faktor [-] / účinnost [%]	Pořizovací cena s DPH [Kč]
TČ	24	4,03 ¹⁷ / -	278 300 ¹⁸
Kotel	9	/ 99,5	v ceně



Obr. 5-6 TČ AIR X s vnitřní jednotkou AirBox E [88]

¹⁵ Cena platná od 1.1.2019 dle tarifu Plyn TIP 12 společnosti innogi Energie, s.r.o. K ceně za 1 kWh odebraného plynu nutno dále připočíst stálý měsíční poplatek 282,95 Kč [61]

¹⁶ Cena platná dle ceníku z roku 2020 pro tarif D56d od společnosti ČEZ Prodej, a.s. [66]

¹⁷ Topný faktor při 60% zatížení a venkovní teplotě 2 °C

¹⁸ Cenová nabídka výrobce IVT. V ceně je zahrnuto TČ, vnitřní jednotka s elektrokotlem, regulace a potřebné příslušenství [89]

Podobně jako v kapitole 5.2.2 bude počítáno, že TČ zvládne krýt tepelné ztráty domu do $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při nižších teplotách bude uvažováno, že TČ bude krýt 50 % tepelných ztrát. Počet dnů, kdy teplota klesla pod $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ bylo 9. Krytí zbylých 50 % tepelných ztrát bude během těchto dní zajišťovat vestavěný elektrokotel. Elektrokotlem bude potřeba dodat 517 kWh pro variantu bez rekuperační jednotky a 459 kWh pro variantu s rekuperační jednotkou viz kapitola 5.2.2.

Při výpočtu ročních nákladů na vytápění dle rovnice 3.4 bude počítáno s cenou elektřiny $2,350\text{ Kč}\cdot\text{kWh}^{-1}$. Výsledné náklady pak jsou:

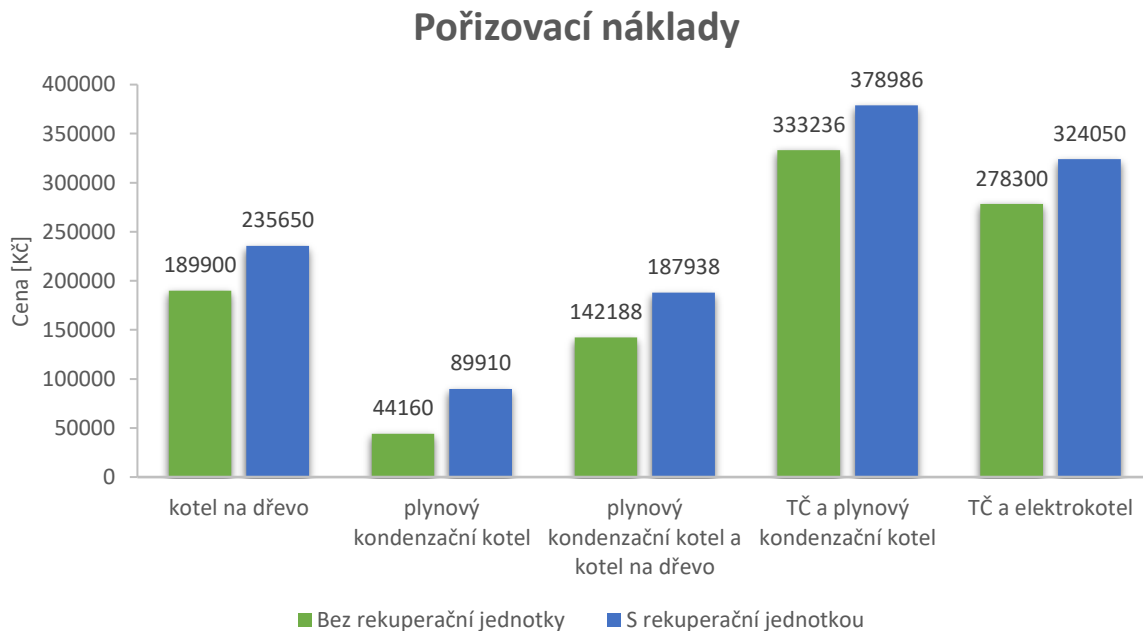
$$N_r = 2,35 \times \frac{25872 - 517}{4,03} + 2,35 \times \frac{517}{0,995} \doteq \mathbf{16\ 006\ Kč}$$

Roční náklady na vytápění při využívání rekuperační jednotky jsou dle rovnice 5.3:

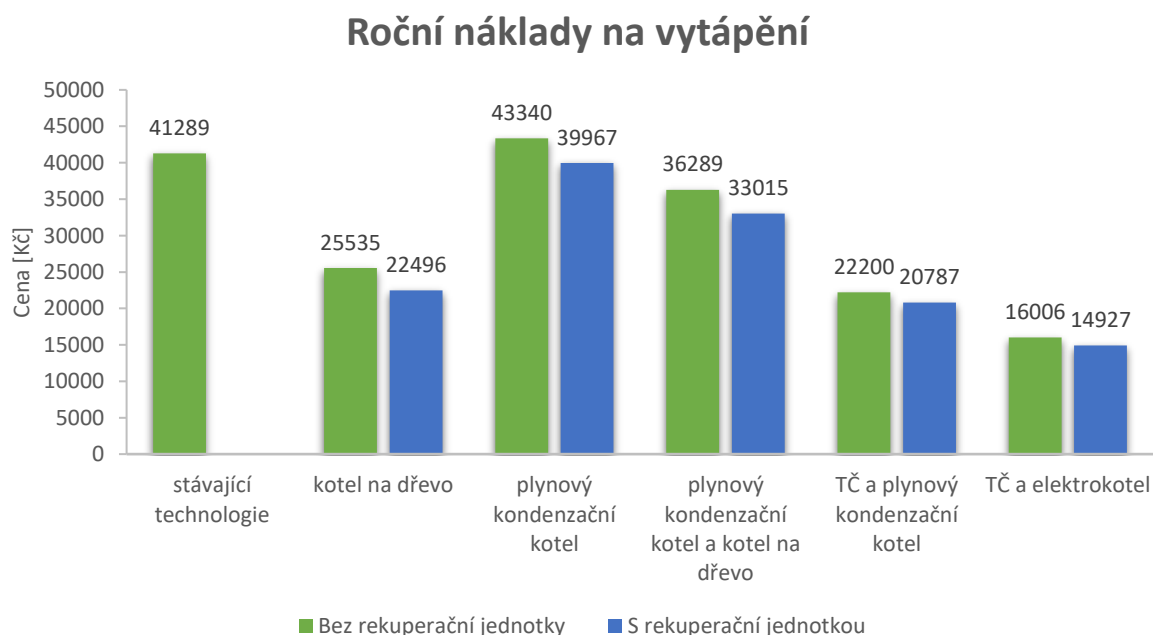
$$N_{cr} = 2,35 \times \frac{22932 - 456}{4,03} + 2,35 \times \frac{456}{0,995} + 825 \doteq \mathbf{14\ 927\ Kč}$$

6 Ekonomické posouzení

Jedním z kritérií, které je nutné zvážit při výběru zdroje tepla jsou jeho pořizovací a provozní náklady, ale také návratnost investice. Tato kritéria jsou u vybraných technologií pro přehlednost znázorněny v následujících grafech.



Obr. 6-1 Graf pořizovacích nákladů



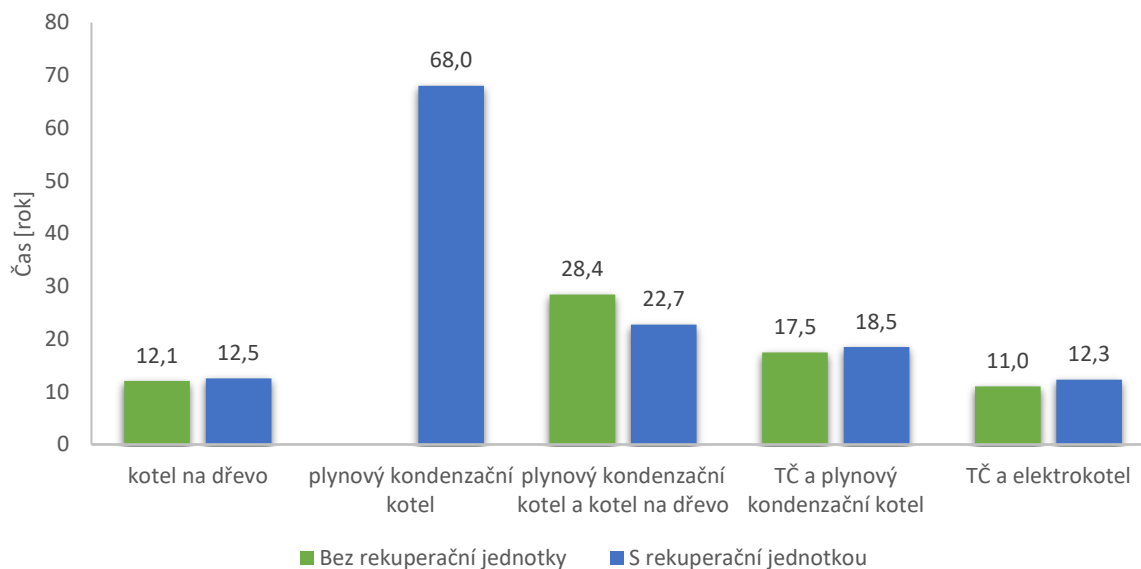
Obr. 6-2 Graf ročních nákladů na vytápění

Návratnost investice je počítána dle vztahu:

$$ROI = \frac{IN}{N_{rst} - N_{rn}} [rok] \quad (5.5)$$

kde IN – pořizovací cena [Kč]
N_{rst} – roční náklady na vytápění stávající technologií [Kč]
N_{rn} – roční náklady na vytápění novou technologií [Kč]

Finanční návratnost technologií



Obr. 6-3 Graf finanční návratnosti technologií

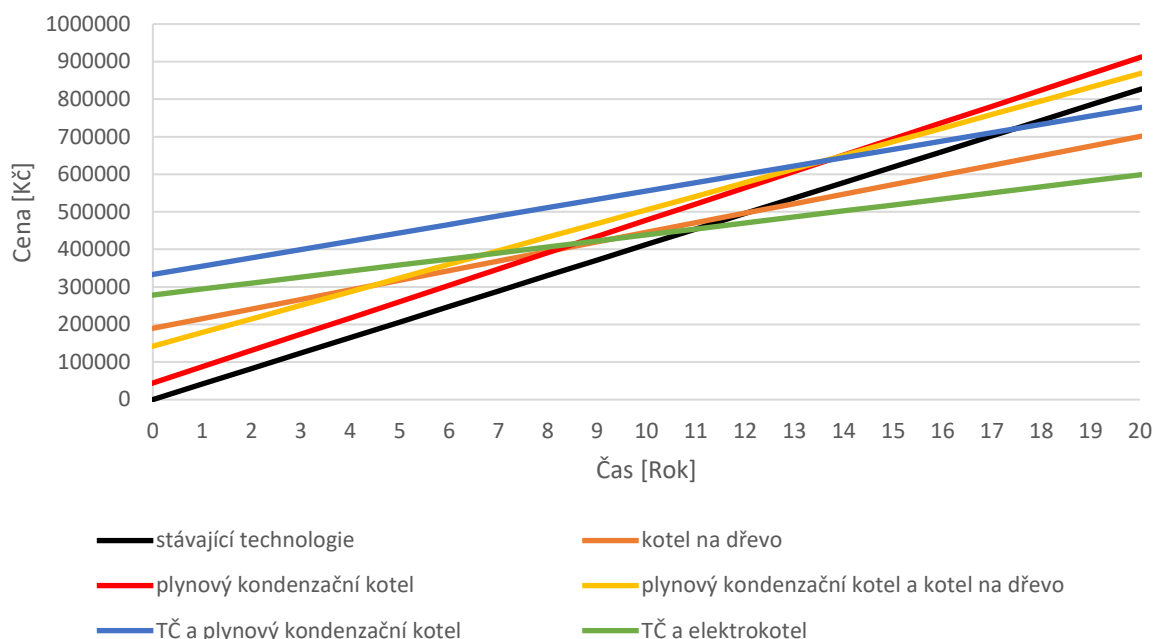
Při porovnání na Obr. 6-1 vychází varianty s TČ draž než varianty, ve kterých je hlavním zdrojem tepla kotel. Naopak je tomu u ročních nákladů na vytápění (Obr. 6-2), kde při volbě variant s TČ jsou úspory až poloviční v porovnání se současnou technologií.

Při uvažované životnosti zdrojů tepla 20 let se jeví jako výhodné investovat do variant: TČ a elektrokotel, kotel na dřevo, plynového kondenzačního kotle a kotle na dřevo. Naopak jako nevýhodná investice se jeví varianta plynového kondenzačního kotle v kombinaci s kotlem na dřevo a varianta plynového kondenzačního kotle jako samostatného zdroje. V případě varianty plynového kondenzačního kotle bez RJ se dokonce investice nikdy nevrátí.

Udávaná životnost rekuperační jednotky je 15 let. Nicméně životnost jednotlivých komponent jednotky se může lišit. Například udávaná životnost ventilátorů jednotek se pohybuje okolo 10 let. Dále je však nutno počítat s údržbou RJ, která zahrnuje výměnu filtrů ideálně co 3 měsíce a čištění potrubí. Z těchto důvodů se investice do RJ pro konkrétní dům jeví jako nevýhodná. [90] [91]

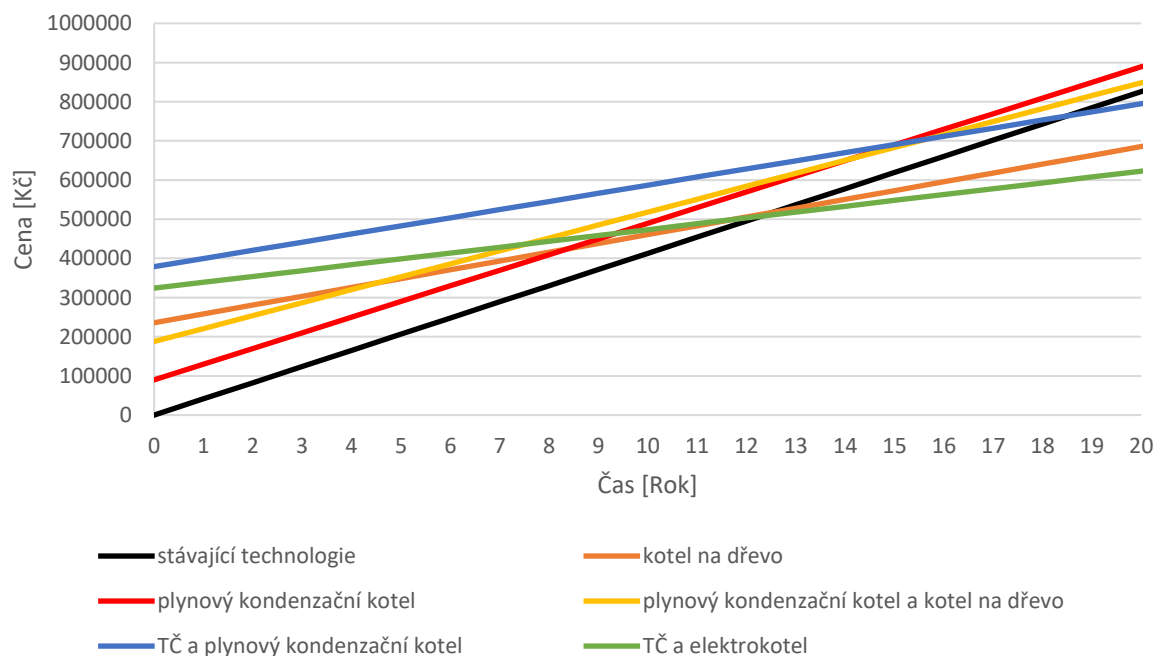
Na grafech níže jsou pro doplnění zobrazeny celkové náklady na provoz při uvažované životnosti zdrojů tepla 20 let.

Ekonomika za 20 let provozu - varianta bez RJ



Obr. 6-4 Ekonomika za 20 let provozu – varianta bez RJ

Ekonomika za 20 let provozu - varianta s RJ



Obr. 6-5 Ekonomika za 20 let provozu – varianta s RJ

Z výše zmiňovaných důvodů se tedy investice do RJ nevyplácí. Z tohoto důvodu budou dále porovnávány varianty technologií bez rekuperace.

Ze zdrojů tepla se dle počátečních investic jeví jako nejvíce výhodný plynový kondenzační kotel, který je oproti ostatním technologiím levnější o více než 100 000 Kč. Nicméně z porovnání ročních nákladů se stávající technologií plyne, že investice do tohoto zdroje se nikdy nevrátí.

Jako další zajímavá možnost se jeví náhrada stávajících zdrojů tepla za nové s vyšší účinností (plynový kondenzační kotel s kotlem na dřevo). Investice do této technologie se však také nevyplatí, neboť finanční návratnost přesahuje 20 let, což je uvažovaná životnost zdrojů tepla.

První variantou, do které se vyplatí investovat, je kombinace TČ s plynovým kondenzačním kotlem s návratností 17,5 let. Roční úspory při porovnání se stávající technologií činí přibližně 19 000 Kč. Za 20 let provozu by pak úspory byly až přibližně 328 000 Kč. Výhodou této varianty je vysoký komfort vytápění bez nutnosti skladování paliva. Nevýhodou jsou pak nejvyšší investice z porovnávaných technologií.

Další výhodnou variantou je kotel na dřevo s finanční návratností 12,1 let. S kotlem na dřevo se dá oproti stávající technologii za rok ušetřit téměř 16 000 Kč. Za 20 let provozu pak 315 000 Kč. Výhodou jsou nižší pořizovací náklady oproti ostatním technologiím. Nevýhodou je nízký komfort zapříčiněný nutností zajistit dovoz a skladování paliva, které je navíc potřeba ručně přikládat do kotle.

Jako nejvýhodnější varianta z hlediska finanční návratnosti se jeví kombinace TČ a elektrokotle, která má finanční návratnost 11 let. Při volbě této technologie by majitelé domu ušetřili na vytápění až 25 000 Kč ročně. Za 20 let provozu by pak úspory činily až přibližně 506 000 Kč. Výhodou této technologie je, podobně jako u varianty TČ s plynovým kotlem, vysoký komfort vytápění. Výhodou elektrokotle je jeho vysoká účinnost a to, že nevytváří spaliny. Odpadají tak výdaje za revizi komínu, který není potřeba. Nevýhodou této technologie jsou vyšší počáteční investice.

DISKUSE

Tepelné ztráty domu byly počítány obálkovou metodou, která nepočítá s rozdílnými teplotami v jednotlivých místnostech. Jedná se tedy pouze o přibližnou hodnotu. Pro stanovení přesné hodnoty by bylo potřeba počítat tepelnou ztrátu jednotlivých místností zvlášť a následně tyto ztráty sečíst.

Roční potřeba tepla byla počítána dvěma metodami, které se ve výsledku značně liší. První z nich (denostupňová metoda) je oproti druhé metodě, která vychází z reálných dat o spotřebě, značně nadhodnocena. Což může být zapříčiněno několika důvody, jedním z nich je, že se ve výpočtu uvažuje s celodenním vytápěním, dalším důvodem je také nárůst průměrné denní teploty otopného období. Nedostatkem druhé metody pak je, že v množství spotřebovaného plynu je zahrnuta i spotřeba plynu k vaření.

Výsledné roční náklady na vytápění se můžou v průběhu let značně lišit změnami v cenách paliva, případně dle volby dodavatele energií (elektrina, plyn).

ZÁVĚR

První část bakalářské práce byla zaměřena na obeznámení se s dostupnými technologiemi určenými k vytápění a větrání rodinných domů. Jednotlivé technologie zde byly popsány a uvedeny jejich výhody a nevýhody.

V další části práce byla vypočítána tepelná ztráta objektu a roční potřeba tepla na vytápění. Výsledné hodnoty spolu s dalšími specifikacemi domu vedly k výběru pěti variant zdrojů tepla a dvou variant způsobů větrání, které byly následně ekonomicky porovnány.

Při porovnávání doby návratnosti investic bylo zjištěno, že do dvou technologií se investovat nevyplatí a to z důvodu příliš dlouhé, nebo dokonce žádné návratnosti. Jednalo se o variantu samostatného plynového kondenzačního kotle a kombinaci plynového kondenzačního kotle s kotlem na dřevo.

Ze zbylých tří variant se jako investičně nejméně náročná jeví varianta samostatného kotle na dřevo. Tato varianta je vhodná, požadují-li majitelé domu investičně přijatelnější volbu a nebude jim vadit nízký komfort vytápění způsobený nutností obstarávat, skladovat a ručně přikládat palivo. Při volbě kotle na dřevo by se roční náklady na vytápění snížily přibližně o 40 %.

Investičně dražší jsou pak dvě zbývající varianty s tepelným čerpadlem. Jedná se o varianty TČ + plynový kondenzační kotel a TČ + elektrokotel. Kde druhá ze zmíněných variant vychází lépe jak investičně, tak z hlediska doby návratnosti. Je tedy ideální volbou pokud si majitelé rodinného domu mohou dovolit vyšší investiční náklady. Ty se jim však vrátí v podobě vysoce komfortního provozu. Roční náklady při zvolení této možnosti klesnou přibližně o 60 % oproti současné technologii.

Ze způsobů větrání byly vybrány dvě možnosti. První možností bylo přirozené větrání otevíráním oken, jedná se o způsob, kterým je v domě aktuálně používán. Nejednalo by se tedy o žádnou změnu. Jako druhá možnost byla zvolena rekuperační jednotka, která by zajišťovala neustálý přísun čerstvého filtrovaného vzduchu spolu s omezením tepelných ztrát způsobených větráním. Nicméně z hlediska životnosti rekuperační jednotky a doby návratnosti se její pořízení nevyplácí a jako ideální způsob větrání se jeví větrání okny.

Cílem bakalářské práce bylo najít nejvhodnější způsoby jak vytápět a větrat vybraný rodinný dům. Jako nejvýhodnější varianta pro vytápění se jeví kotel na dřevo, nebo kombinace TČ a elektrokotle. Ze způsobů větrání pak větrání okny.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7.
- [2] LYČKA, Zdeněk. Základní pojmy a definice k tématu teplovodní kotle na pevná paliva. *Tzb-info* [online]. 2013 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9767-zakladni-pojmy-a-definice-k-tematu-teplovodni-kotle-na-pevna-paliva>
- [3] Koks. *Ridera* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://ridera.cz/sluzby/prodej-uhli-a-koksu/velkodoberatele/koks/>
- [4] Výhřevnost dřeva. *Dřevorubec* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <http://drevorubec.cz/prodej-dreva/vyhrevnost-dreva>
- [5] Pelety smrkové A1. *Ekopaliva Krabica* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.ekopaliva-valassko.cz/pelety/pelety-smrkove-a1>
- [6] STRAŇÁK, Vít. Čím si zatopíme zítra? *Můj dům* [online]. 14.12.2015 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: https://www.mujdum.cz/rubriky/stavba/cim-si-zatopime-zitra_905.html
- [7] Kotle na kapalná paliva. *Topenáři* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-klasicka/kotle-na-kapalna-paliva/>
- [8] Česká energetika slaví 100 let. Jak se za tu dobu změnila? *OEnergetice* [online]. 2018 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/energetika-v-cr/ceska-energetika-slavi-100-let-se-za-tu-dobu-zmenila>
- [9] Kondenzační plynové kotle. *Topenáři* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-klasicka/kotle-plynove/kondenzacni/>
- [10] Kotel Vitodens 222-W. *Reacon* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://reacon.cz/produkty/kotel-vitodens-222-w/>
- [11] Prospekt kotle Vitodens 222-W [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: https://www.viessmann.cz/content/dam/vi-brands/CZ/Pdf/Prospekty/Vitodens%20222-W%20B2LE.pdf/_jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/Vitodens%20222-W%20B2LE.pdf
- [12] ŠTĚCHOVSKÝ, Jaroslav. *Vytápění: pro střední školy se studijním oborem TZB nebo obdobným*. Vyd. 3., přeprac., (V Sobotáles vyd. 1.). Praha: Sobotáles, 2005. ISBN 80-86817-11-3.
- [13] Kdy se vyplatí vytápět elektrokotlem. *Tzb-info* [online]. 2018 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-elektrinou/16772-kdy-se-vyplati-vytapet-elektrokotlem>
- [14] Elektrokotel Benekov E15. *BENEKOV eshop | Venta s.r.o.* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.benekov-venta-eshop.cz/48901,elektrokotel-benekov-e15-siemens-climatix-15-kw.html>
- [15] Navod k obsluze kotle Benekov E15 [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.benekov-venta-eshop.cz/datafm/65?s>
- [16] Čím se dnes vyplatí topit? *Biom* [online]. 2016 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/zpravy-z-tisku/cim-se-dnes-vyplati-topit>
- [17] Historie krbů. *Vše o krbu* [online]. 2016 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <http://vseokrby.cz/2016/11/20/historie-krbu/>
- [18] Designové krby CARA CS 02. *Romotop* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.romotop.cz/designove-krby/cara-cs-02>
- [19] Krbová kamna Nordica. *Karelnovák* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://karelnovak.cz/krbova-kamna-nordica>

- [20] Z historie tepelných čerpadel. Czechklima [online]. České Budějovice, 2016 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.czechklima.cz/novinky/z-historie-tepelnych-cerpadel>
- [21] ŠMÍDA, Igor. Tepelná čerpadla a jejich použití v otopných soustavách (I). Tzb-info [online]. 2002 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/1271-tepelna-cerpadla-a-jejich-pouziti-v-otopnych-soustavach-i>
- [22] Princip tepelných čerpadel. Čerpadla-IVT [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.cerpada-ivt.cz/cz/princip-tepelnych-cerpadel>
- [23] Tepelná čerpadla. Veoliawater2energy [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <http://www.veoliawater2energy.com/cz/reference/tepelna-cerpada/>
- [24] KARLÍK, Robert. Tepelné čerpadlo pro váš dům [online]. Praha: Grada, 2009 [cit. 2020-04-21]. ISBN 978-80-247-6803-8.
- [25] Typy tepelných čerpadel: Země/voda-plocha. Čerpadla-IVT [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.cerpada-ivt.cz/cz/tepelna-cerpada-zeme-voda-plocha>
- [26] Typy tepelných čerpadel: Země/voda-vrt. Čerpadla-IVT [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: https://www.cerpada-ivt.cz/cz/tepelna-cerpada-zeme-voda-vrt?gclid=EAIaIQobChMI99L27bSL5wIVyuR3Ch0ZVQMaEAAAYASAAEgIDNvD_BwE
- [27] Co jsou tepelná čerpadla? Etriumf [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <http://www.etriumf.cz/co-jsou-tepelna-cerpada/>
- [28] BAREŠ, Petr. Výhody a nevýhody vytápění tepelným čerpadlem [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: https://www.alpha-innotec.cz/clanky/vyhody-a-nevyhody-vytapeni-tepelnym-cerpadem/?gclid=EAIaIQobChMIImruJ-KaS5wIViLTtCh3qOgvLEAAAYASAAEgLG_vD_BwE
- [29] Energie ze slunce. Pozorování slunce [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://pozorovanislunce.eu/slunce/energie-ze-slunce.html>
- [30] PETERKA, Jaroslav. Historie solárních termických kolektorů a soustav - 1. část. Topenářství instalace [online]. 2016 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <http://www.topin.cz/clanky/historie-solarnich-termickych-kolektoru-a-soustav-1-cast-detail-1038>
- [31] Solární kolektor deskový KPG 1. Wienerberger [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.wienerberger.cz/produkty/strecha/nekeramicke-doplňky-tondach/solarni-kolektor-deskovy-kpg-1--nadstěni-instalace.html>
- [32] IVARCS TRUBICOVÝ VAKUOVÝ SOLÁRNÍ KOLEKTOR. Intoma [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.intoma.cz/obnovitelne-zdroje/solarni-systemy/solarni-kolektory-3/ivarcs-solarni-kolektory/ivarcs-trubicovy-vakuovy-solarni-kolektor-ivar-solar-vacuum-vtn/>
- [33] BECHNÍK, Bronislav. Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti. Tzb-info [online]. 2011 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaickych-panelu-na-konci-zivotnosti>
- [34] BECHNÍK, Bronislav. Stručná historie fotovoltaiky. Tzb-info [online]. 2014 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>
- [35] POULEK, Vladislav a Martin LIBRA. Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. Odborné časopisy [online]. 2010 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/konstrukce-a-vyroba-fotovoltaickych-clanku-a-panelu--10310>
- [36] Monokrystalický panel [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.abctech.cz/img.asp?stiid=36881>

- [37] Polykrystalický panel [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.vpcentrum.eu/image/cache/data/prods/prod7/308734-fotovoltaicky-solarni-panel-12v-150w-polykrystalicky-1-500x500.jpg>
- [38] Amorfní panel [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.edb.cz/grmat/nabidky/50764x2.jpg>
- [39] Solární vytápění: Fotovoltaiické. *Topenáři* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/solarni-vytapeni/fotovoltaiicke/>
- [40] KABELE, Karel. Teplovzdušné vytápění obytných budov. *Tzb-info* [online]. 2001 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teplvzduzne-vytapani/620-teplvzduzne-vytapani-obytnych-budov>
- [41] Co je to rekuperace? *Atrea* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/co-je-to-rekuperace>
- [42] Možnosti vytápění krbovými kamny a vložkami - první část. *Tzb-info* [online]. 2010 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/6940-moznosti-vytapani-krbovymi-kamny-a-vlozkami-prvni-cast>
- [43] DUFKA, Jaroslav. *Vytápění domů a bytů*. 2., zcela přeprac. vyd. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0642-3.
- [44] STUPAVSKÝ, Vladimír a Tomáš HOLÝ. Kombinace kotle na biomasu s dalšími obnovitelnými zdroji energie. *Biom* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/kombinace-kotle-na-biomasu-s-dalsimi-obnovitelnymi-zdroji-energie>
- [45] NĚMEC, Stanislav a Jiří KALINA. *Problematika kombinace solárních soustav s kotli na spalování biomasy* [online]. 2011 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/7209-problematika-kombinace-solarnich-soustav-s-kotli-na-spalovani-biomasy>
- [46] *Solární ohřev TUV schéma* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: https://www.svp-solar.cz/solarni-ohrev/ohrev_tuv_schema1/
- [47] HEJHÁLEK, Jiří. Způsoby větrání bytů a rodinných domů. *Stavebnictví3000* [online]. 2016 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/zpusoby-vetrani-bytu-a-rodinnych-domu>
- [48] MAURER, Karel. *Vzduchotechnická zařízení: pro 3. a 4. ročník SPŠ stavební[sic] studijního oboru TZB*. Vyd. 3., přeprac., (V Sobotáles vyd. 1.). Praha: Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86817-21-0.
- [49] Vzduchotechnika – přirozené větrání. *TRIGAS* [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <http://www.trigas.cz/vzduchotechnika-prirozene-vetrani.htm>
- [50] ZMRHAL, Vladimír a Jiří PETLACH. Systémy větrání obytných budov. *Tzb-info* [online]. 2011 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu/7937-systemy-vetrani-obytnych-budov>
- [51] Technický list Duplex Easy. *Atrea* [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: https://www.atrea.cz/?download=cz/obytneduplex_easy_cz_2016_01.pdf
- [52] *Duplex 300 Easy* [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://www.emag.ro/recuperator-de-caldura-atrea-duplex-300-easy-panou-de-comanda-cpa-debit-maxim-de-300-m3-h-la-100-pa-duplex-easy-300-cpa/pd/DQWS77BBM/>
- [53] ŠVEC, Martin. Lokální rekuperace a kde ji použít? *Ventilatory* [online]. 2018 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://www.ventilatory.cz/lokalni-rekuperace-a-kde-ji-pouzit-x31233>

- [54] Centrální rekuperační jednotky. *Vzduchotechnika-ventilace* [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://www.vzduchotechnika-ventilace.cz/vetraci-a-rekuperacni-jednotky/rekuperacni-jednotky/>
- [55] Čerstvý vzduch a příjemně teplo. *Pasivnidomy* [online]. 2009 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://www.pasivnidomy.cz/vetrani-a-vytapeni/t379>
- [56] Návod k obsluze a údržbě kotlů Therm. *Thermona* [online]. Zastávka [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: [https://www.thermona.cz/getattachment/ae9b94c0-54ae-43ae-9de3-8742661e1ff6/THERM-20,-28-LX\(Z\).aspx](https://www.thermona.cz/getattachment/ae9b94c0-54ae-43ae-9de3-8742661e1ff6/THERM-20,-28-LX(Z).aspx)
- [57] Kotel H51. *Opop* [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: https://www.opop.cz/downloader.php?file=h-51_1460704142.pdf&code=32b0b9caa85d2f0fcabc899b9d70141e
- [58] Kombinovaný ohřívač OKC. *Dražice* [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://www.dzd.cz/ohrivace-a-zasobniky-teple-vody/kombinovane/zavesne/okc#technicke-parametry>
- [59] CIHLÁŘ, Jiří, Marcela POČINKOVÁ a Günter GEBAUER. *Technická zařízení budov: Ústřední vytápění I : cvičení, ateliérová tvorba*. Brno: CERM, 1998. ISBN 80-214-1142-2.
- [60] REINBERK, Zdeněk, Roman ŠUBRT a Lucie ZELENÁ. On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám. *Tzb-info* [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
- [61] Ceník produktové řady plyn Tip 12. *Innogy* [online]. 2019 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: https://www.innogy.cz/-/media/Files/ceniky/02/2020/ZP_CEN_T12_200101_EON.pdf
- [62] Akumulační nádrže na vodu. *Quantumas* [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://www.quantumas.cz/akumulacni-nadrze/>
- [63] Jednotky pro rodinné domy. *Atrea* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/jednotky-pro-rodinne-domy>
- [64] Rekuperační jednotka Atrea Duplex 370 EC5.CP. *Klimania* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.klimania.sk/p/586/rekuperacna-jednotka-atrea-duplex-370-ec5cp>
- [65] Atrea Rekuperační jednotka Duplex 370 EC5-CP. *Atrea eshop* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.atreaeshop.cz/42599,atrea-rekuperacni-jednotka-duplex-370-ec5-cp.html>
- [66] Ceník elektrina na 2 roky. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2020/moo/web-cenik_elektrina_na-2-roky_moo_202001_cezdi.pdf
- [67] Kotel na dřevo S1 Turbo. *Froling* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <http://www.froling.cz/products/kotel-na-drevo-s1-turbo/>
- [68] Akumulační nádrž Ökocell. *Froling* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <http://www.froling.cz/products/akumulacni-nadrz-okocell/>
- [69] Základní výpis z listu výrobku. *Nová zelená úsporám* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <http://registre.novazelenausporam.cz/vyhledavani/vyrobek/SVT1676/kotel-na-biomasu-fr-ling-s1-turbo-15/>
- [70] E-mailová korespondence s Robertem Kalinou [online], 3.4.2020, info@froling.cz
- [71] E-mailová korespondence s Ing. Václavem Švorčíkem [online], 7.4.2020, Svorcik@buderus.cz

- [72] Logamax plus GB122i. Buderus [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.buderus.com/cz/cs/ocs/rodinne-domy-a-byty/logamax-plus-gb122i-924438-p/>
- [73] LOGAMAX PLUS GB122I. Ledňáček [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.lednacek.com/e-shop/kotle-plynove/250/logamax-plus-gb122i.html#popis>
- [74] Cenově zvýhodněné pakety nástěnných a stacionárních kondenzačních kotlů. Buderus [online]. 2020 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: https://www.buderus.com/cz/media/country_pool/service/dokumenty/2020/brochures_1/bud_family_komplety_26_3_2020_nahled_web.pdf
- [75] Plynový nástěnný kondenzační kotel CGB-2: Specifikace. Wolf [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://czech.wolf.eu/koncovi-zakaznici/vyroby/plynove-kondenzacni-kotle/plynovy-nastenny-kondenzacni-kotel-cgb-2/>
- [76] Zplyňovací kotel Lemur. Kovarson [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.kovarson.cz/cs/lemur-14-25-kw-c40/zplynovaci-kotel-lemur-14-25-kw-p78>
- [77] Wolf CGB-2. Unidomo [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: https://www.unidomo.de/heizung/gasheizung/gastherme/wolf-cgb-2-14-gas-brennwert-therme-comfortline-optional-mit-regelung-anschluss-set-und-luft-abgas-system_103599_86760/
- [78] AKUMULAČNÍ NÁDRŽE NAD, NADS A UKV. Dražice [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.dzd.cz/akumulacni-nadrze/bez-pripravy-tuv>
- [79] Wolf plynové kondenzační kotle-ceník. Wolf [online]. 2019 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: https://czech.wolf.eu/fileadmin/Wolf_Internationalisierung/Tschechien/Produkt/Ceniky/Ceniky_podle_druhu_vyroby/09-2019_cenik_kotle-CZ.pdf
- [80] Dražice NAD 1000 v2. Topenílevně [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/drazice-nad-1000-v2-p8948/#gallery>
- [81] Dražice NAD 1000 v2 Izolace NEODUL LB PP 80mm. Topenílevně [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/drazice-nad-1000-v2-izolace-neodul-lb-pp-80mm-p43893/>
- [82] E-mailová korespondence s Tomášem Krácalou [online], 14.4.2020, info@kovarson.cz
- [83] Informační list výrobku WPLS 15.2 Comfort. Buderus [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: https://www.buderus.com/ocsmedia/optimized/full/o309473v288_6720859601.pdf
- [84] Tepelná čerpadla vzduch/voda. Buderus [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.buderus.com/cz/cs/ocs/rodinne-domy-a-byty/tepelna-cerpadla-vzduch-voda-757235-c/>
- [85] E-mailová korespondence s Ing. Václavem Švorčíkem [online], 15.4.2020, Svorcik@buderus.cz
- [86] REINBERK, Zdeněk a Ladislav TINTĚRA. Výpočet denostupňů. Tzb-info [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: https://vytapieni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/103-vypocet-denostupnu?stanice=10&otopne_obdobi=2009_2010&start_year=2009&end_year=2010&ti=20.0&tem=13.0&btn_submit=Vypo%EDtat+a+zobrazit&hbox_sumtbl=1
- [87] Technický list IVT AIR X. Čerpadla-IVT [online]. [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: https://www.cerpadla-ivt.cz/?download=technicky_list_ivt_air_x-q.pdf

- [88] IVT AIR X. Čerpadla-IVT [online]. [cit. 2020-04-24]. Dostupné z:
https://www.cerpadla-ivt.cz/img/_/air-x/tepelne-cerpadlo-vzduch-voda-air-x.jpg
- [89] E-mailová korespondence s Tomášem Kropáčem [online], 23.4.2020,
kropac@ivtcentrum.cz
- [90] Rekuperace vzduchu: Odpovědi na nejčastější otázky. *Nalezeno* [online]. 2010 [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/stavba/rekuperace/rekuperace-vzduchu-odpovedi-na-nejcastejsi-otazky.aspx>
- [91] BAŽANT, Martin. Údržba systémů ATREA pro větrání bytů a domů. *Atrea* [online]. 2017 [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/599.udrzba-systemu-atrea-pro-vetrani-bytu-a-domu>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
a	Přepočet do plného metru	–
d	Počet dnů otopného období	<i>dny</i>
E	Roční potřeba tepla	<i>kWh</i>
E_d	Roční potřeba tepla – denostupňová metoda	<i>kWh</i>
E_{rj}	Roční potřeba tepla s rekuperační jednotkou	<i>kWh</i>
IN	Pořizovací cena	<i>Kč</i>
m_d	Hmotnost dřeva	<i>Kg</i>
N_{cr}	Celkové roční náklady s rekuperační jednotkou	<i>Kč</i>
n_{el}	Cena elektřiny	<i>Kč·kWh⁻¹</i>
n_{pal}	Jednotková cena paliva	<i>Kč·kg⁻¹; Kč·m⁻³</i>
N_r	Roční náklady na vytápění	<i>Kč</i>
N_{rn}	Roční náklady na vytápění novou technologií	<i>Kč</i>
N_{rrj}	Ročních provozních náklady rekuperační jednotky	<i>Kč</i>
N_{rst}	Roční náklady na vytápění stávající technologií	<i>Kč</i>
P	Příkon zařízení	<i>W</i>
Q_9	Potřeba tepla za 9 dnů	<i>kWh</i>
Q_c	Celková tepelná ztráta objektu	<i>kW</i>
Q_d	Dodaná tepelná energie	<i>kWh</i>
Q_{dod}	Energie dodaná v palivu	<i>kWh; MJ</i>
Q_r^i	Výhřevnost	<i>kJ·kg⁻¹</i>
Q_s	Spalné teplo	<i>kJ·kg⁻¹</i>
q_v	Procentuální zastoupení tepelných ztrát větráním	–
ROI	Návratnost investice	<i>rok</i>
t_e	Výpočtová venkovní teplota	<i>°C</i>
t_{es}	Průměrná teplota v otopném období	<i>°C</i>
t_{is}	Průměrná teplota vnitřního vzduchu v budově	<i>°C</i>
V	Objemové množství dřeva	<i>PRMr</i>
ε	Umenšující součinitel	–
η	Účinnost zařízení	–
ρ	Hustota bukového dřeva	<i>kg·m⁻³</i>
COP	Topný faktor	
ČR	Česká republika	
LTO	Lehký topný olej	
TČ	Tepelné čerpadlo	
TV	Teplá voda	
TZL	Tuhé znečišťující látky	
ZZT	Zpětné získávání tepla	

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1-1 Princip kotle na tuhá paliva [2]
- Obr. 1-2 Kotel na kapalná paliva [6]
- Obr. 1-3 Plynový kondenzační kotel [10] [11]
- Obr. 1-4 Elektrokotel [14] [15]
- Obr. 1-5 Krbová vložka a litinová krbová kamna [18] [19]
- Obr. 1-6 Princip tepelného čerpadla [23]
- Obr. 1-7 Typy tepelných čerpadel [27]
- Obr. 1-8 Solární kolektor [31] [32]
- Obr. 1-9 Fotovoltaický panel [36] [37] [38]
- Obr. 1-10 Kombinace solárních kolektorů a kotle [46]
- Obr. 2-1 Přirozené větrání podle [48]
- Obr. 2-2 Rekuperační jednotka [51] [52]
- Obr. 2-3 Větrací systémy [53] [54]
- Obr. 3-1 Graf tepelných ztrát rodinného domu
- Obr. 4-1 Vybrané technologie
- Obr. 5-1 Rekuperační jednotka Duplex 370 EC5 [64]
- Obr. 5-2 Kotel Fröling S1 Turbo s akumulací nádrží Ökocell [67] [68]
- Obr. 5-3 Kotel Logamax plus GB122i–24 T H [73]
- Obr. 5-4 Kotel CGB-2, LEMUR a akumulací nádoba NAD 1000 v2 [76] [77] [78]
- Obr. 5-5 Kotel GB 122i–24 T H a TČ WPLS 15.2 Light [73] [84]
- Obr. 5-6 TČ AIR X s vnitřní jednotkou AirBox E [88]
- Obr. 6-1 Graf pořizovacích nákladů
- Obr. 6-2 Graf ročních nákladů na vytápění
- Obr. 6-3 Graf finanční návratnosti technologií
- Obr. 6-4 Ekonomika za 20 let provozu – varianta bez RJ
- Obr. 6-5 Ekonomika za 20 let provozu – varianta s RJ

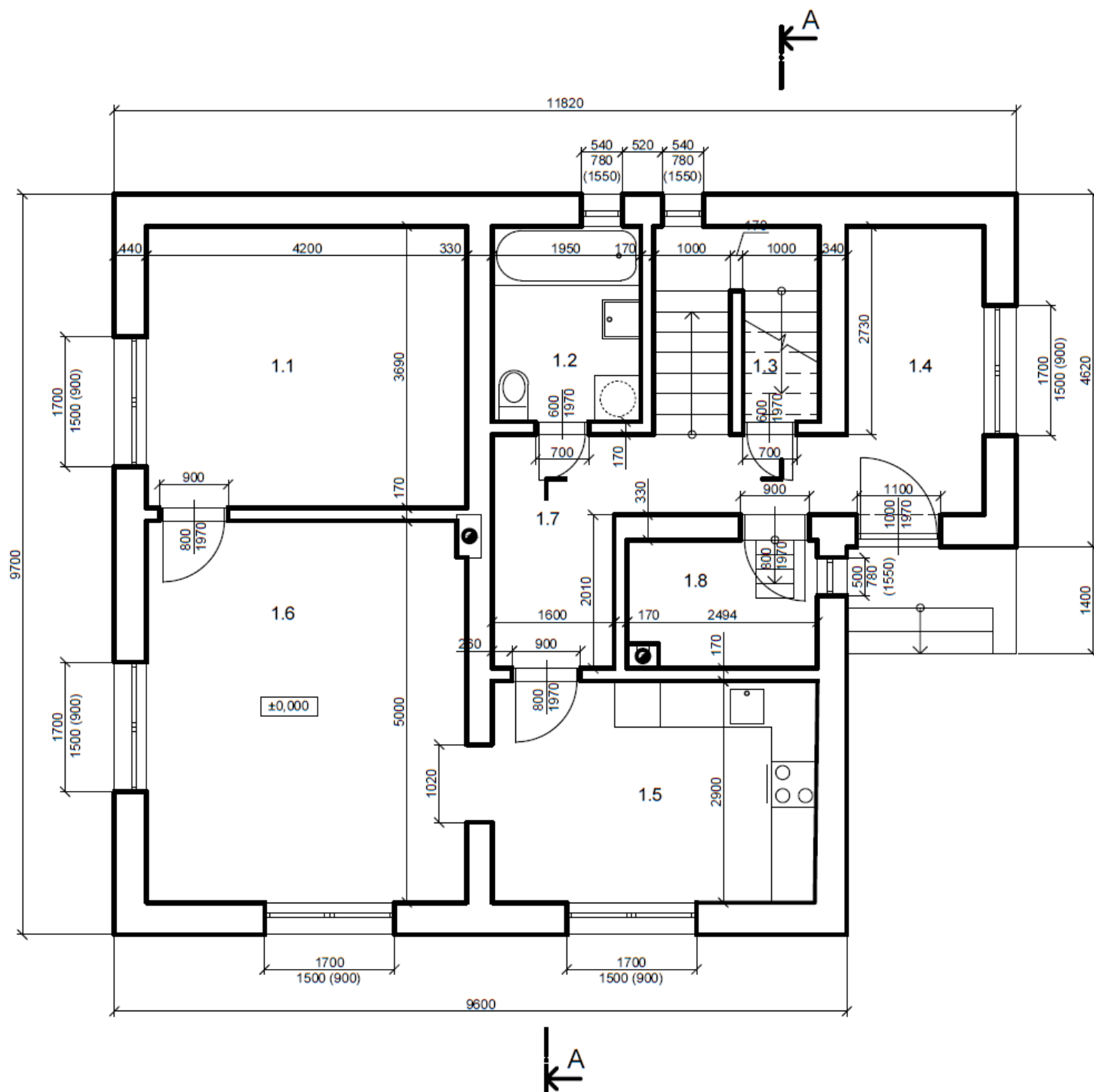
SEZNAM TABULEK

- Tab. 0-1 Vlastnosti vybraných druhů paliv [1] [3] [4] [5]
- Tab. 0-2 Tepelné vlastnosti konstrukcí
- Tab. 0-3 Tepelné ztráty rodinného domu [60]
- Tab. 0-4 Popis zdrojů tepla a používaného paliva [1] [4]
- Tab. 0-5 Parametry rekuperační jednotky Duplex 370 EC5 [63]
- Tab. 0-6 Parametry kotle Fröling S1 Turbo [67]
- Tab. 0-7 Parametry kotle Logamax plus GB122i–24 T H [72]
- Tab. 0-8 Parametry zařízení CGB-2, LEMUR, NAD 1000 v2 [75] [76]
- Tab. 0-9 Parametry kotle GB 122i–24 T H a TČ WPLS 15.2 Light [72] [83]
- Tab. 0-10 Parametry TČ AIR X s vnitřní jednotkou AirBox E [87]

SEZNAM PŘÍLOH

- 1 Půdorys 1. NP rodinného domu
- 2 Půdorys 2. NP rodinného domu
- 3 Řez A-A rodinného domu
- 4 Skladby stěn a výpočty ke grafům

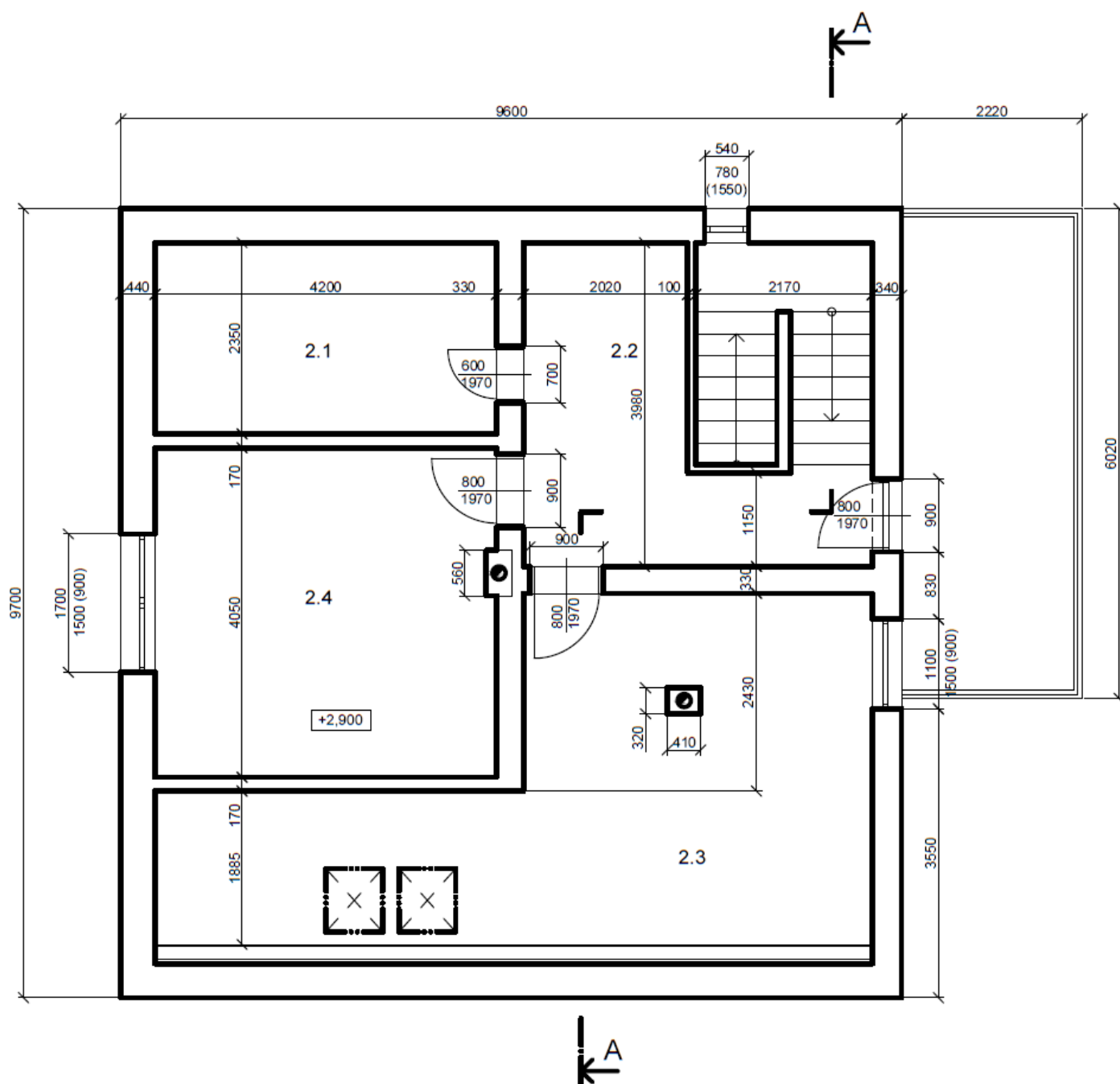
PŘÍLOHA 1 – PŮDORYS 1.NP RODINNÉHO DOMU



LEGENDA MÍSTNOSTÍ

OZN.	ÚČEL MÍSTNOSTI	PLOCHA m ²
1.1	LOŽNICE	15,50
1.2	KOUPELNA	5,13
1.3	SPÍŽ	4,86
1.4	VERANDA	6,80
1.5	KUCHYŇ	12,27
1.6	OBÝVACÍ POKOJ	21,00
1.7	CHODBA	24,79
1.8	KOTELNA	4,19

PŘÍLOHA 2 – PŮDORYS 2.NP RODINNÉHO DOMU



LEGENDA MÍSTNOSTÍ

OZN.	ÚČEL MÍSTNOSTI	PLOCHA m²
2.1	PODKROVÍ	9,87
2.2	CHODBA	24,79
2.3	POKOJ	27,05
2.4	POKOJ	17,01

PŘÍLOHA 3 – ŘEZ A-A RODINNÉHO DOMU

