



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

NÁVRH VHODNÉHO ZDROJE PRO VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU

DESIGN OF A SUITABLE SOURCE FOR HEATING A FAMILY HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Kallus

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Filip Toman, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Petr Kallus**
Studijní program: Energetika
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **Ing. Filip Toman, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh vhodného zdroje pro vytápění rodinného domu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výběr způsobu topení a zdroje energie k vytápění patří mezi klíčová rozhodnutí, před která je majitel při výstavbě nebo rekonstrukci postaven. Je třeba nalézt správný kompromis mezi náklady spojenými s pořízením a provozem systému vytápění, časovou náročností instalace a nároky obyvatel na komfort a pohodu vytápěných prostor. Práce se bude zabývat výpočtem tepelných ztrát vybraného objektu a následným ekonomickým porovnáním dostupných tepelných zdrojů určených pro vytápění objektu.

Cíle bakalářské práce:

- Zpracovat stručný přehled tepelných zdrojů pro rodinné domy.
- Výpočet tepelné ztráty vybraného domu pro různé stupně zateplení.
- Ekonomické zhodnocení zdrojů vytápění na základě tepelných ztrát.

Seznam doporučené literatury:

PETRÁŠ, Dušan, Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie. Bratislava: Jaga. 2008. Vytápění. ISBN 9788080760694

PAVELEK, Milan, Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2011. ISBN 9788021443006

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

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

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem tepelného zdroje pro rodinný dům a jaký vliv má na zdroj zateplení. První část práce je teoretická, kde jsou rozebrány jednotlivé tepelné zdroje. Jsou rozebrány výhody, nevýhody a principy fungování. V druhé praktické části jsou provedeny výpočty tepelných ztrát pro zateplenou a nezateplenou variantu. Následně jsou zvoleny tepelné zdroje, které jsou porovnány z ekonomického hlediska. Závěrem práce je zvolen vhodný tepelný zdroj pro variantu se zateplením nebo bez.

Klíčová slova

Tepelný zdroj, kotel, tepelné čerpadlo, tepelná izolace, vytápění, rodinný dům

ABSTRACT

This Bachelor's thesis deals with the design of a heat source for the family house and what effect the insulation has. The first part of the work is theoretical, where the individual heat sources are dismantled. Advantages, disadvantages and operating principles are dismantled. In the second practical part, heat loss calculations are carried out for an insulated and uninsulated variant. Subsequently, heat sources are selected which are compared from an economic point of view. To sum up, a suitable heat source is selected for the variant with or without an insulation.

Key words

Heat source, boiler, heat pump, heat insulation, heating, family house

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KALLUS, Petr. *Návrh vhodného zdroje pro vytápění rodinného domu* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-14]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/156853>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Filip Toman.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Návrh vhodného zdroje pro vytápění 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 Ing. Filipovi Tomanovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.

OBSAH

| | |
|--|----|
| ÚVOD..... | 11 |
| 1 Rozbor tepelných zdrojů | 12 |
| 1.1 Kotle | 12 |
| 1.1.1 Zdroje tepla | 12 |
| 1.1.2 Elektrický kotel | 14 |
| 1.1.3 Kotel na tuhá paliva | 14 |
| 1.1.4 Kotle na plynná paliva..... | 16 |
| 1.2 Tepelná čerpadla | 19 |
| 1.2.1 Rozdělení tepelných čerpadel | 20 |
| 2 Tepelná izolace..... | 24 |
| 2.1 Minerální vata | 24 |
| 2.2 Expandovaný polystyren..... | 24 |
| 2.3 Celulózová vlákna | 25 |
| 2.4 PIR desky..... | 25 |
| 3 Charakterizace objektu | 26 |
| 3.1 Popis objektu | 26 |
| 3.1.1 Použité stavební materiály..... | 26 |
| 3.1.2 Popis skladby jednotlivých stavebních částí..... | 27 |
| 3.1.3 Popis jednotlivých prvků objektu..... | 28 |
| 3.1.4 Popis způsobu vytápění..... | 29 |
| 3.2 Poloha | 29 |
| 3.2.1 Popis oblasti | 29 |
| 4 Návrh tepelného zdroje | 31 |
| 4.1 Vstupní údaje..... | 31 |
| 4.2 Návrhový tepelný výkon budovy | 31 |
| 4.2.1 Vzorový výpočet | 31 |
| 4.3 Roční potřeba tepla | 37 |
| 5 Porovnání jednotlivých zdrojů | 39 |
| 5.1 Zplyňovací kotel..... | 40 |
| 5.2 Kondenzační kotel | 41 |
| 5.3 Tepelné čerpadlo s bivalentním zdrojem | 42 |
| 5.4 Ekonomické posouzení | 44 |
| ZÁVĚR | 48 |

| | |
|--|----|
| SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 49 |
| SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK | 52 |
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 55 |
| SEZNAM TABULEK | 56 |

ÚVOD

Staré domy mají často zastaralou otopnou soustavu, kde dochází k neefektivnímu využívání paliv. Kvůli malé účinnosti spotřebují více paliva než moderní tepelné zdroje. Pro přípravu tepla se často využívají fosilní paliva. Snaha šetřit fosilní paliva nepřináší pouze finanční úsporu, ale také to vede k redukci produkce skleníkových plynů.

V této práci bude navržen optimální zdroj tepla s vhodnou izolací pro mladý pár, jenž zdědil starou nemovitost.

Snížení provozních nákladů lze docílit pomocí přesného navrhnutí primárního zdroje tepla. Návrh tepelného zdroje pro přesné tepelné ztráty povede k optimálnímu provozu s maximální účinností. Je však velký rozdíl, zda proběhne návrh pro budovu s vysokými tepelnými ztrátami nebo s malými. Je žádoucí rozmyslet si, zda se vyplatí investovat nejen do tepelného zdroje, ale také do zateplení. Zateplení dokáže výrazně snížit tepelné ztráty prostupem, avšak investice nutná pro realizaci není malá.

V první části práce se uvede problematika tepelných zdrojů, kdy se čtenář seznámí s možnými variantami výroby tepla pro rodinný dům. Zároveň budou představeny jednotlivé druhy izolace, jejich charakteristické vlastnosti, výhody, nevýhody a optimální využití.

Druhá část je samotný výpočet a návrh tepelného zdroje. Bude určena návrhová tepelná ztráta, pro kterou bude zvolen vhodný zdroj. Součástí této práce je ekonomické posouzení. To slouží k porovnání jednotlivých provedení z hlediska investiční náročnosti a návratnosti investic.

1 Rozbor tepelných zdrojů

Tepelné zdroje jsou rozdělovány podle druhu energie, kterou využívají pro tvorbu tepla.

Spalování jako zdroje tepla je využito u plynových kotlů a kotlů na tuhá paliva. Pro odběr tepelné energie ze svého okolí slouží tepelné čerpadlo. Jako dobrý zdroj energie slouží slunce. Sluneční záření lze využívat k výrobě el. energie anebo přímo využít tepelnou energii k ohřevu. Solární energie se využívá pouze jako doplňkový zdroj energie. Proto již dále v této práci nebude rozebírána. [1]

1.1 Kotle

Otopná soustava budovy je složena z mnoha různých komponent jako jsou otopná tělesa, oběhové čerpadlo, potrubí a v neposlední řadě kotel. Kotel je zařízení, jenž má za úkol vytvořit teplo a následně jej předat teplotonosné látce.

Kotle jsou děleny z mnoha různých hledisek. Mohou být rozlišovány dle způsobu přestupu tepla, materiálu výměníku, způsobu spalování paliva, použitého paliva, tlaku ve spalovacím prostoru a konstrukce roštu. Při volbě vhodného kotle je nutné brát v potaz parametry jako je jmenovitý tepelný výkon, účinnost spalování, regulovatelný výkon a palivo potřebné pro provoz. [1]

1.1.1 Zdroje tepla

Rozhodujícím kritériem při volbě zdroje tepla jsou paliva. Paliva dělíme do tří kategorií.

Pevná – uhlí, koks, lignit, brikety, dřevo, dřevní hmota, dřevěné brikety.

Kapalná – lehké topné oleje, nafta, hnědouhelný dehet.

Plynná – zemní plyn, propan butan, bioplyn.

Každé palivo má své klady a zápory. Paliva lze hodnotit z hlediska ekologie, dostupnosti, ceny a výhřevnosti. [1]

1.1.1.1 Spalování kapalných paliv

Lehké topné oleje mají uplatnění v místech, kde nejsou rozvody plynu, nebo elektřiny. Však z důvodu jejich vysoké ceny se v České republice téměř nevyskytují. Využití lehkých topných olejů poroste, jako možná náhrada za uhlí. Výhodou topných olejů je vyšší hustota energie, jak lze vidět v tab. 1 a tab. 2. Zároveň by měla cena topných olejů klesat z důvodu rozvoje obnovitelných zdrojů energie. [1]

Tab. 1 Fyzikální vlastnosti kapalných paliv [4] [5] [1]

| | Výhřevnost (Mj/kg) | Hustota (kg/m ³) | Zápalná teplota (°C) |
|--------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Topná nafta | 42,0–46,0 | 810–859 | 330–350 |
| Lehký topný olej | 42,3 | do 900 | 340 |
| Hnědouchelný dehet | 36 | 994 | 320–450 |

1.1.1.2 Spalování pevných paliv

Relativně levným zdrojem tepla jsou pevná paliva. Pro běžného odběratele i snadno dostupná. Tyto paliva jsou domácím produktem a zároveň je možné se předzásobit. To může odběratelům dodat pocit energetické bezpečnosti. Toto jsou jedny z mála důvodů, proč čím dál tím víc rodin volí jako zdroj tepla pevná paliva. Kotle na pevná paliva mají však vyšší emise než ostatní zdroje tepla. Na rozdíl od plyných paliv nemají tak velkou výhřevnost. [2]

Tab. 2 Fyzikální vlastnosti tuhých paliv [4] [5] [1]

| | Výhřevnost (Mj/kg) | Hustota (kg/m ³) | Zápalná teplota (°C) |
|------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Dřevo | 10,8–19,3 | 320–550 | 250–300 |
| Černé uhlí | 22,6–30,1 | 650–850 | 350–500 |
| Hnědé uhlí | 10,0–19,0 | 600–800 | 250–450 |

1.1.1.3 Spalování plyných paliv

Plynná paliva mají vyšší výhřevnost a mnohem čistší spalování než pevná paliva. Na rozdíl od pevných paliv nemají tuhé škodliviny. Celková hustota je však nižší, jak je patrné v tab. 3. To způsobuje problémy při dopravě a skladování. Plynná paliva se uchovávají a přepravují ve stlačené formě. Spalovací zařízení na plyné palivo jsou automatická a jednoduše regulovatelná. V 90. letech minulého století proběhla na území České republiky plynofikace, kdy byly vystavěny napříč Českou republikou plynovody. Díky této infrastruktuře je pro běžného spotřebitele plyn relativně dostupný. V posledních letech ceny plynu narůstaly, ale stále se jedná o relativně levný zdroj tepla. [3]

Tab. 3 Fyzikální vlastnosti plyných paliv [4] [5] [1]

| | Výhřevnost (Mj/kg) | Hustota (kg/m ³) | Zápalná teplota (°C) |
|--------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Zemní plyn | 33,5–40,5 | 0,7 | 650 |
| Svítiplyn | 14,0–15,0 | 0,5 | 570 |
| Propan–butan | 44,0–110,0 | 2,0 | 450 |

1.1.2 Elektrický kotel

Kotle s indukčním nebo odporový ohřevem vody mají nízké pořizovací náklady a jednoduchou instalaci. Není potřeba řešit odvod spalin či přístup čerstvého vzduchu. Nejvíce se hodí do malých domů či bytů. Mohou udržovat stálou teplotu nad bodem mrazu a vyhnout se tak zamrznání třeba u rekreačních budov. Jsou vhodné jako doplněk k primárnímu zdroji tepla, jakou jsou třeba kamna. Jejich nízká pořizovací cena je však kompenzována vysokými provozními náklady. Z tohoto důvodu se často používají v kombinaci s fotovoltaikou.

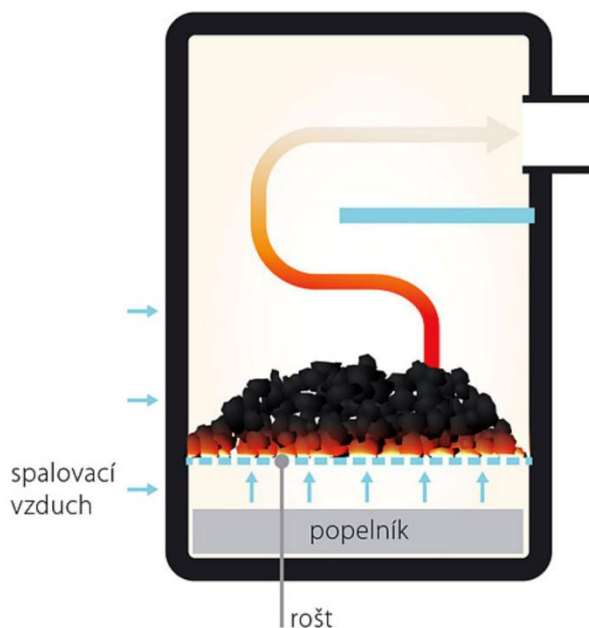
Elektrické kotle s ohřevem vody za pomoci elektrod jsou využívány hlavně ve velkých kotelnách. Voda musí být destilovaná, aby nedocházelo k zanášení potrubí. Destilovaná voda však hůře vede střídavý proud. Aby se zlepšili vodivé vlastnosti musí být zasolována a následně odsolována. Střídavý proud se používá, aby nedocházelo k rozkladu vody na vodík a kyslík (výbušnou směs). Toto jsou příčiny vyšších investičních nákladů, které jsou obhajitelné převážně u velkých kotelen. Výkon těchto kotlů je nad 100 kW.

Odporové kotle se vyrábějí do výkonu 20 kW. Jejich uplatnění najdeme v rodinných domech a bytech. K ohřevu vody se používají odporové vložky, což je odporová spirála. Spirála je vzduchotěsně uzavřena v otopné soustavě. Odporová spirála není v kontaktu s vodou, a proto tento systém neklade žádné nároky na úpravu vody. [1]

1.1.3 Kotel na tuhá paliva

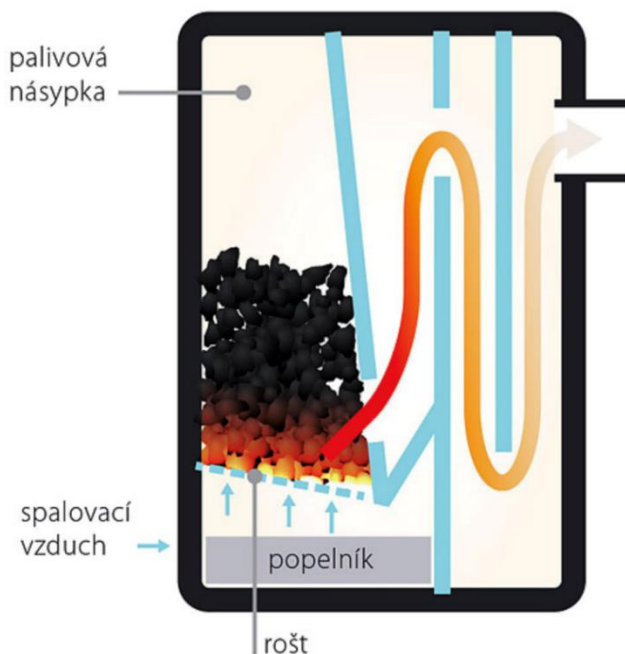
Vzhledem k nárůstu cen za plyn a elektřinu jsou kotle na tuhá paliva čím dál lákavější. Dokáží zpracovávat široký rozsah pevných paliv jako je dřevo, pelety, brikety, štěpka a uhlí. Pokud se bude využívat vhodné palivo, pro které byl kotel navržen, tak ani produkce emisí nebude tak velká. Je mnoho různých konstrukčních řešení, které umožňují hospodárný a bezporuchový provoz.

Kotle můžeme dělit podle použité technologie na prohořivací, odhořivací a zplyňovací. Prohořivací kotle jsou nejjednodušší a nejlevnější. Nevhodným provozem však mohou vznikat vysoké emise a s tím spojená snížená účinnost. Nejsou vhodné pro paliva s vysokým obsahem prchavé hořlaviny. Nejlepším palivem je koks. Nevýhodou kokosu je vysoká cena. Při využití jiných paliv jako je dřevo nebo hnědé uhlí dojde k nárůstu emisí do míry, která je environmentálně nepřijatelná.



Obr. 1 Prohořivací kotel [6]

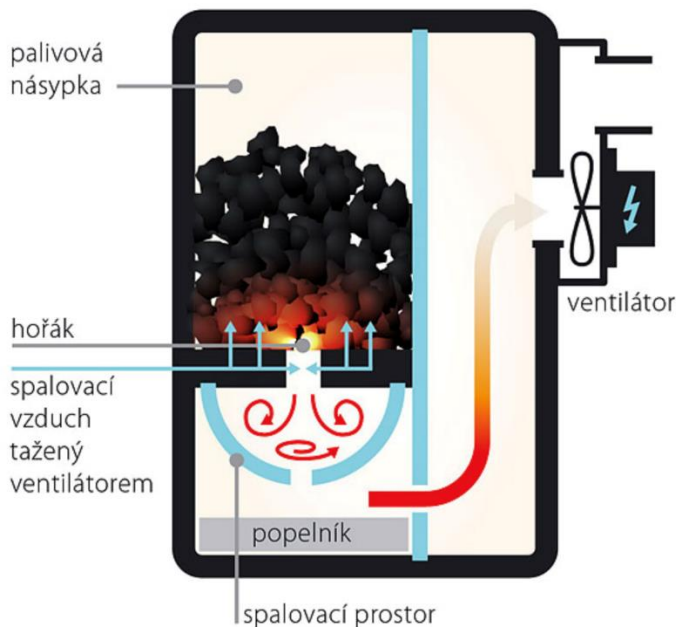
Odhořivací kotel má stabilnější hoření než Prohořivací. Hoří jen malá část paliva, které odhořívá odspoda. Prchavá složka je odváděna do oddělené komory kde následně vyhoří. Vzniklé spaliny ohřívají topnou vodu. Nejvhodnějším palivem pro tento typ kotle je kusové dřevo.



Obr. 2 Odhořivací kotel [6]

Zplyňovací kotle disponují účinností okolo 70 až 90 %. Tato účinnost je nejvyšší ze zmíněných kotlů na tuhá paliva. V první fázi je do zásobníku s palivem přiváděno podstechiometrické množství vzduchu. Za zvýšené teploty dojde k rozkladu pevného uhlíku na hořlavé plyny. Tyto plyny společně se spaliny jsou odvedeny do spalovací

komory. Do spalovací komory je přiveden sekundární vzduch a dochází ke spalování plynů. Spalování plynné složky (neboli dřevoplynu) je jednodušší a rychlejší. Využití energie v palivu je efektivnější což má za následek o 30 % nižší spotřebu paliva. [7]



Obr. 3 Zplyňovací kotel [6]

Od roku 2024 bude platit zákaz provozu a prodeje kotlů s emisní třídou 1 a 2. Kotle s technologií spalování odhořívání a prohořívání dosahují obvykle emisní třídy 2. To za předpokladu spalování kusového dřeva nebo černého uhlí. Zplyňovací kotle díky přesnému dávkování spalovacího vzduchu mohou zajistit dokonalé vyhoření prchavé hořlaviny. To řadí tento typ kotle do emisní třídy 3. Provozování zplyňovacího kotle po roce 2024 by neměl být problém. [8]

1.1.4 Kotle na plynná paliva

1.1.4.1 Plynná paliva

Od doby, kdy se v České republice přestal dodávat svítiplyn, okolo roku 1996, je dominantním palivem zemní plyn. Zemní plyn je zároveň snadno dostupný. V dnešní době jsou plynovody zavedené na celém území České republiky. Kotle na plynná paliva jsou oproti elektrokotlům investičně nákladnější, to však kompenzuje levnější provoz. [9] [10]

Alternativou k zemnímu plynu je bioplyn. Využívat bioplyn lze pouze v případě, že je v okolí nějaký zdroj. Zdrojem je skládka, čistička vod nebo ustájený dobytek. Bioplyn je surový plyn, který je tvořen 40–70 % metanem, zbytek tvoří oxid uhličitý. Po vyčištění získáme biometan s obsahem metanu 95 %. Biometan může nahradit zemní plyn jak v dopravě (bioCNG, bioLNG), tak i v domácnostech. Je plně zaměnitelný se zemním plynem. [11] [9] [10]

Zkapalněný zemní plyn se používá v případě, že není v oblasti zařízená plynová přípojka. Zároveň může být použit jako záložní zdroj energie, například pro

nemocnice. Plyn v kapalně formě zaujímá 600x menší objem než v plynné. Avšak před spalováním musí být znovu odpařen a až pak spálen. To znamená, že po přistavení přípojky může být LNG nahrazeno plynem z plynovodu. [11] [9] [10]

1.1.4.2 Dělení kotlů na plynná paliva podle hořáku

Jedním ze způsobů spalování plynu je atmosférický hořák. Pro optimální spalování musím mít hořák dostatečný přísun čerstvého vzduchu. Primární vzduch je nasáván k ústí hořáku proudícím plynem, kdy se zároveň promísí. Sekundární vzduch je přisáván do spalovací komory pomocí vztaku od spalin. Přisávaný vzduch je dán vztlakem od hořáku a horkých spalin, kdy vztlak je od 3 do 5 Pa. Tyto kotle jsou vybaveny přerušovačem tahu. Ty zajistí, že komínový tah nebude ovlivňovat množství vzduchu, které proudí přes spalovací komoru. Zvýšený průtok vzduchu by mohl způsobit větší ochlazení výměníku a otočit tak tok spalin. Vyústění spalin by poté vedlo do místnosti, a ne do komína.

Kotle s přetlakovým hořákem jsou používány, pokud mají spaliny příliš malou teplotu a nemají dostatečný vztlak. Díky nízké teplotě spalin má kotel větší účinnost. Nucený přívod vzduchu zajistí minimální přebytek vzduchu při spalování. Přívod vzduchu a odvod spalin je zajištěn ventilátorem.

Kotle se sálavý hořákem hoří bezplamenně. Vzduch se plně promíchá s plynem ještě před vstupem do hořáku. Přestup tepla probíhá sáláním, což je mnohem efektivnější způsob přestupu tepla. Následkem je, že při spalování vznikají menší koncentrace oxidů dusíku, na které jsou stanovené emisní limity. Množství oxidů dusíku ve spalinách je souhrnně označováno jako NO_x . Přívod tepla může být realizován jak atmosféricky, tak přetlakově.

Kotle můžeme dále dělit podle teploty spalin na nízkoteplotní, vysokoteplotní a s kondenzací spalin viz tab. 4. [9] [10]

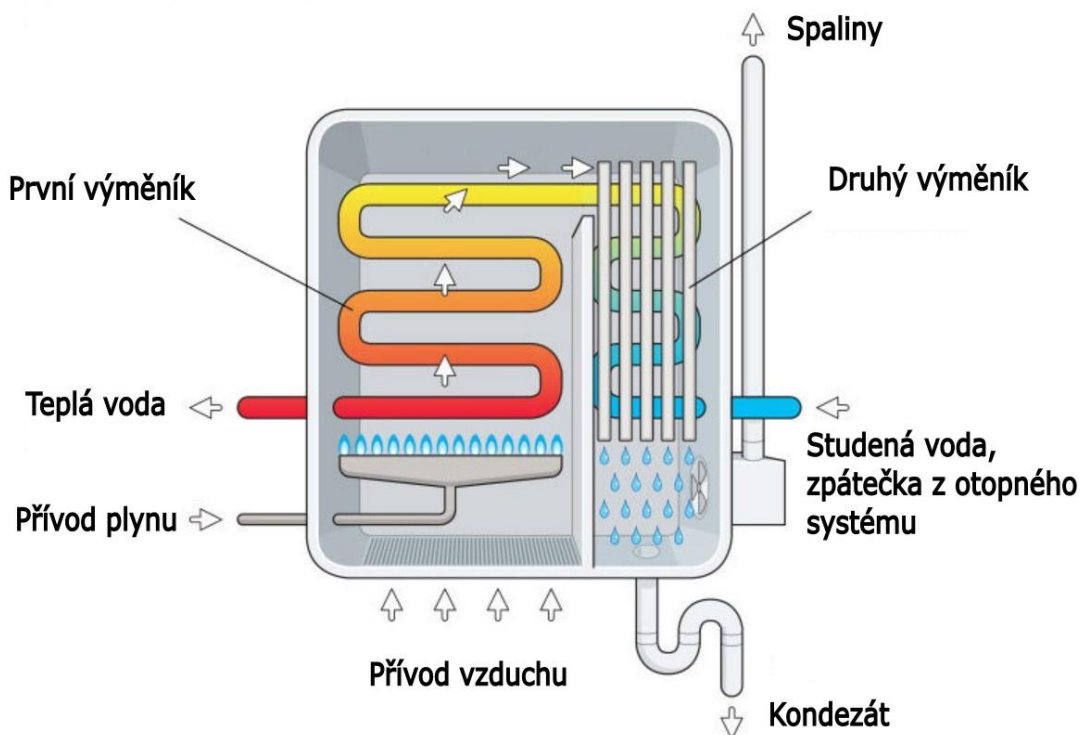
Tab. 4 Rozdělení kotlů podle teploty spalin [9] [10]

| | | |
|---------------------------|---|------------|
| S nízkou teplotou spalin | A | do 80 °C |
| | B | do 120 °C |
| | C | do 160 °C |
| S vysokou teplotou spalin | D | do 200 °C |
| | F | nad 200 °C |
| S kondenzací spalin | | pod 60 °C |

1.1.4.3 Kondenzační kotle

Velké množství tepla uniká komínem společně se spalinami. Pro zvýšení účinnosti se teplo spalinám odebere pomocí výměníku. Teplota klesne pod rosný bod vody ve spalinách a začne kondenzovat. To způsobí kondenzaci vody ve výměníku. Při nízké teplotě spalin nedokáží spaliny překonat tlakové ztráty v komíně. Proto se používají přetlakové hořáky a ventilátory, které zajistí odvod spalin. Pokud je otopná voda provozována o nižší teplotě, než je rosný bod vody, pak přestane docházet ke kondenzaci vody. Dále není potřeba nucený přívod vzduchu.

Kotle, jenž dosahují teploty spalin těsně pod teplotu rosného bodu se nazývají kondenzační. Teplo vázané ve spalinách je tzv. latentní teplo. To se uvolní při změně skupenství. Pokud se nechají spaliny zkondenzovat získá se tak o 10 % tepla navíc. Proto kondenzační kotle mohou dosahovat účinností přesahující 100 %. To je způsobeno tím, že je zvykem počítat účinnost z výhřevnosti paliva. Pro určení přesnější účinnosti by bylo vhodnější počítat se spalným teplem. Nejvíce tepla bude získáno, pokud spaliny ochladí těsně pod teplotu rosného bodu. Tehdy se získá 65 % latentního tepla. Při nižším ochlazení zisky tepla již nejsou tolik významné. Při spalování tvoří nižší koncentrace NO_x . Konstrukce kotle je složitější a skládá se z dražších dílců. Výměník musí být z nerezů, aby zajistil odolnost vůči korozi. Dostatečný tah v komíně zajišťuje ventilátor a nucený přívod vzduchu. Musí být připojen na těsný komín a zajištěn odvod kondenzátu z komína a výměníku. [9] [10]



Obr. 4 Kondenzační kotel [37]

1.1.4.4 Plynová topidla

Plynová topidla se instalují do každé místnosti zvlášť. Každé topidlo má vlastní hořák a ohřívá tak vzduch v místnosti. Většinou se instalují tam, kde se centrální zdroj tepla nevyplatí. Jsou mnohem levnější než klasický plynový kotel, avšak nemají takovou účinnost. Můžeme se s nimi setkat třeba v garážích, na chatách nebo jako sekundární zdroj na stavbách a v technických provozech. Typickým zastupitelem plynových topidel jsou nástěnné vafky. Tento název je odvozen od původní značky WAW.

Odvod spalin je realizován buď odvodem do komína nebo skrz zeď do venkovního prostředí. Stejným způsobem následně nasávají vzduch pro spalování. K hoření dochází přímo v topidlu, zvyšuje se tak riziko úniku plynu, požáru a je snížena účinnost. Při provozování těchto zařízení je nutné pravidelně provádět kontrolu.

V současnosti se mohou tyto topidla provozovat jen v malých výkonech a musejí mít technické opodstatnění. Nedokonalé spalování vede ke zvýšeným emisím, které se mohou při vývodu z fasády dostat skrz netěsnosti zpět do obytného prostoru. Teplé spaliny mohou poškodit fasádu nebo zdivo. [12] [13]

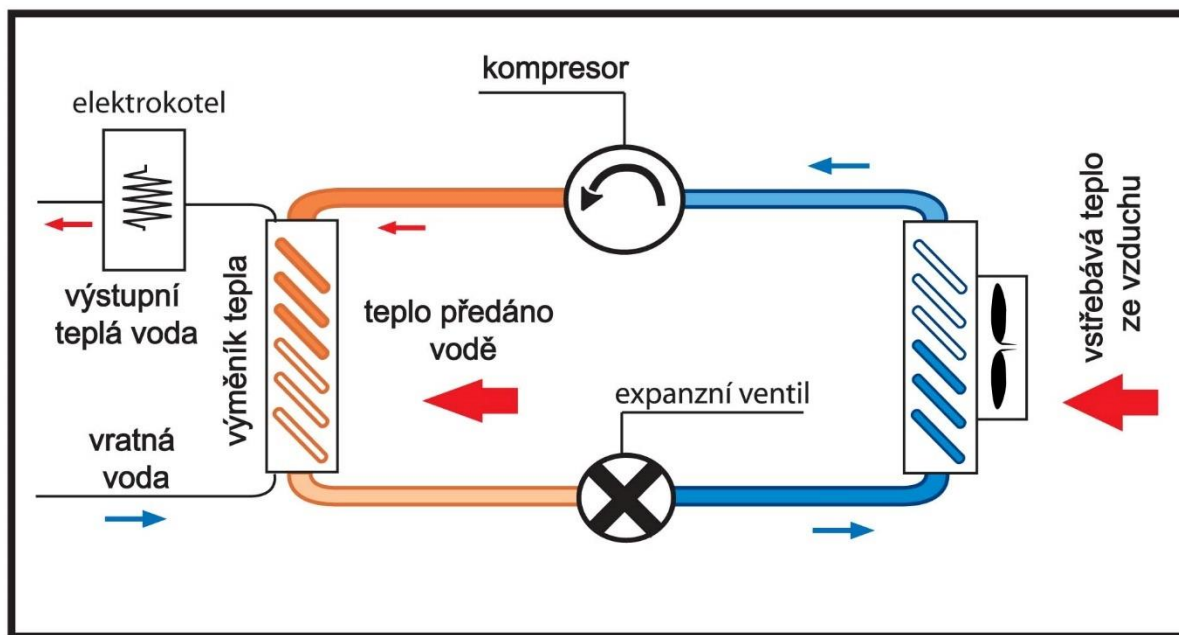


Obr. 5 Plynové topidlo WAW [14]

1.2 Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo pracuje na podobném principu jako lednička. Odebírá teplo ze zvoleného zdroje (země, vzduch nebo voda) a převádí odebrané teplo na vyšší teplotní hladinu. Získané teplo se využije k vytápění. Základními komponenty je kompresor, dva výměníky, chladivo a expanzní ventil. Využívá se principu, kdy za různého tlaku má chladivo různé teploty varu. Ve výparníku dojde za nízkého tlaku k odpaření chladiva. Při odpařování dochází k odebrání tepla ze svého okolí. Chladivo následně

putuje do kompresoru. V kompresoru je chladivo stlačováno, při čemž dochází ke zvýšení teploty a tlaku. Nízkopotenciální teplo je zde převedeno na vyšší teplotní hladinu. V kondenzátoru odevzdá teplo teplotonosné látce, která následně slouží k vytápění. Kondenzát putuje do expanzního ventilu, kde klesne tlak a teplota. Celý oběh se cyklicky opakuje. Okruh tepelného čerpadla dělíme na primární a sekundární. Primární okruh odebírá teplo ze zdroje tepla a předává ho sekundárnímu okruhu. Sekundární okruh slouží k vytápění. Cyklus tepelného čerpadla je zobrazen na obr. 6. [9] [10]



Obr. 6 Princip fungování tepelného čerpadla [17]

1.2.1 Rozdělení tepelných čerpadel

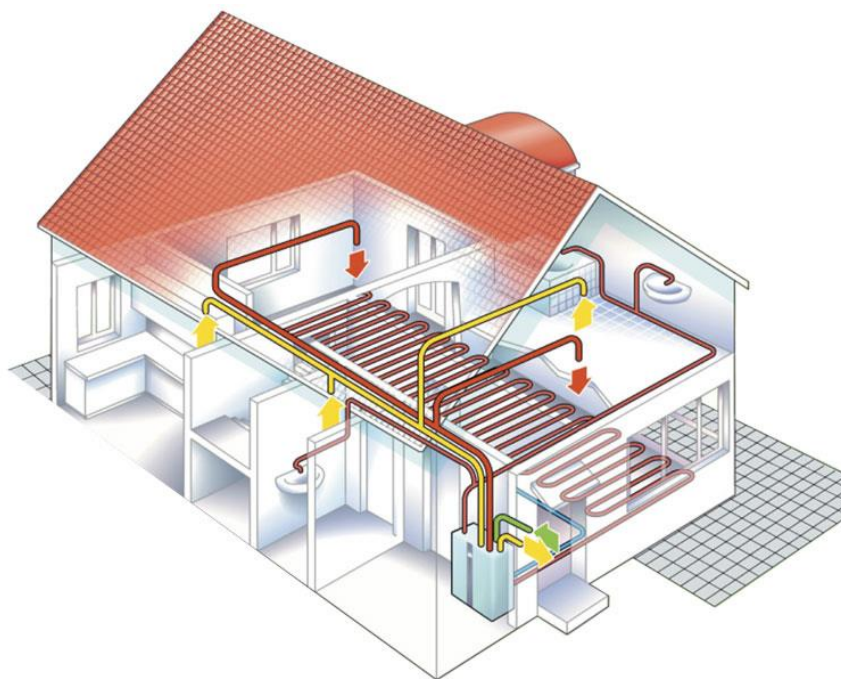
Tepelná čerpadla dělíme podle zdroje nízkopotenciálního tepla teplotonosné látky. Jako je například vzduch/voda (před lomítkem je zdroj tepla a za lomítkem je látka, kterou použijeme k vytápění objektu).

Pro hodnocení tepelných čerpadel se používá topný faktor. Topný faktor je poměr mezi získaným teplem a dodanou energií. Topný faktor je závislý na podmínkách, v kterých je čerpadlo provozováno. Během roku se může pohybovat mezi hodnotami 3 až 7. Pokud dosáhne hodnoty 4 pak přesahuje v poměru získaného tepla ku dodané energii všechny konvenční zdroje tepla. [15] [16]

1.2.1.1 Tepelné čerpadlo vzduch/voda

Tepelné čerpadlo vzduch/voda je nejrozšířenějším typem tepelného čerpadla. Zapojení je jednoduché a může být použito téměř všude. Z toho nám vyplývají i nízké investiční náklady. Teplo odebírá z venkovního vzduchu. Klesající teplotou vzduchu klesá i výkon čerpadla. Proto se zapojuje v kombinaci se sekundárním zdrojem tepla. Nejčastěji to bývá elektrokotel. Pokud venkovní vzduch dosáhne teplot $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, zapne se doplňkový zdroj tepla. Použitím tohoto typu čerpadla

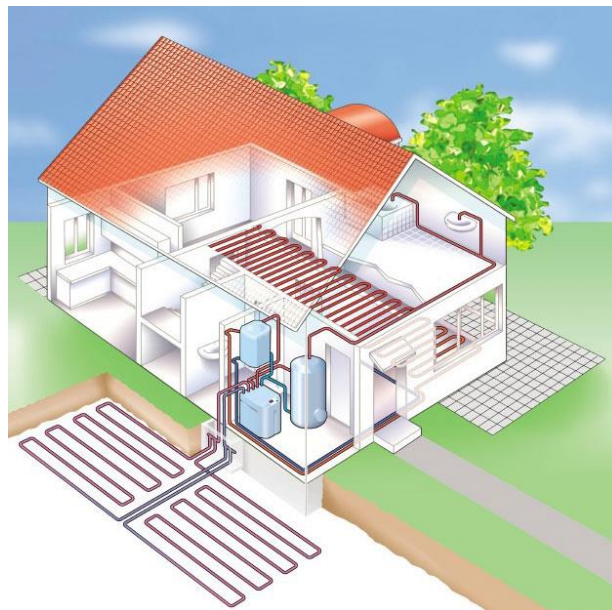
v chladnějších oblastech může vést k častějšímu zapínání sekundárního zdroje, a to povede k vyšším nákladům na provoz. Tepelným čerpadlem proteče tisíce m³/h vzduchu, což může způsobovat hluk. Proto se musí dbát na umístění čerpadla tak, aby nerušilo sousedy nebo investora. [15] [16]



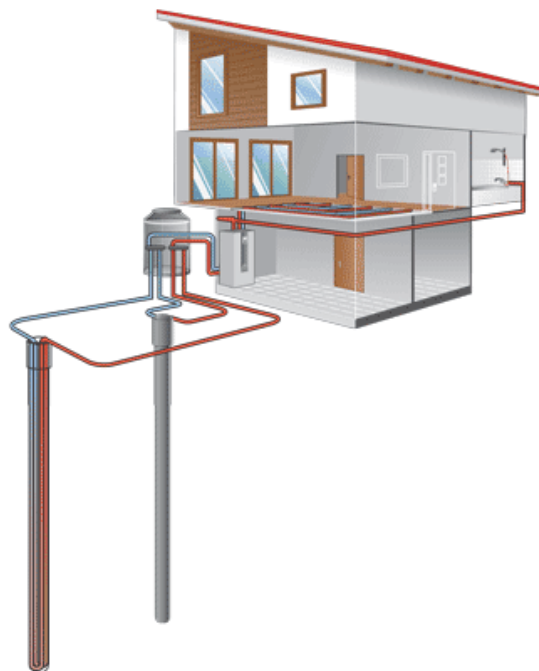
Obr. 7 Tepelné čerpadlo vzduch/voda [18]

1.2.1.2 Tepelné čerpadla země/voda

Jedná se o nejstabilnější zdroj tepla. Teplo z půdy může být získáváno pomocí horizontálního kolektoru, nebo geotermálních vrtů. Horizontální kolektory viz obr. 8 potřebují velkou plochu a rozsáhlé pozemní práce. Většinou se uplatňují u novostaveb, kdy je k dispozici větší plocha. Kolektor se pokládá do nemrznoucí hloubky, která se udává okolo 1,5 m. Teplo, které odebírá, není teplo z půdy, ale naakumulované teplo od slunečního záření a vody. Proto oblast nad kolektory musí zůstat nezastavěná. Pokud není k dispozici dostatečná plocha, může být proveden hloubkový vrt, jak lze vidět na obr. 9. Geotermální vrty jsou však mnohem nákladnější než pozemní práce u horizontálních kolektorů. Často se jedná o nejdražší položku při realizaci tohoto typu čerpadla. Geotermální vrty mohou být použity také ke chlazení. Přes zimu bude teplo odebíráno a následně přes léto bude probíhat regenerace. Teplo odebírá z vytápěného prostoru a ukládat jej do půdy. Uložené teplo se následně použije pro vytápění. Při odebírání tepla z půdy může dojít ke snížení teploty pod bod mrazu. Dojde k namrzání kolektorů a snížení přestupu tepla. Při využívání tepelného čerpadla země/vzduch je žádoucí disponovat doplňkovým zdrojem tepla. [15] [16]



Obr. 8 Tepelné čerpadlo země/voda s horizontálním kolektorem [19]



Obr. 9 Tepelné čerpadlo země/voda s vertikálním kolektorem [20]

1.2.1.3 Tepelné čerpadla voda/voda

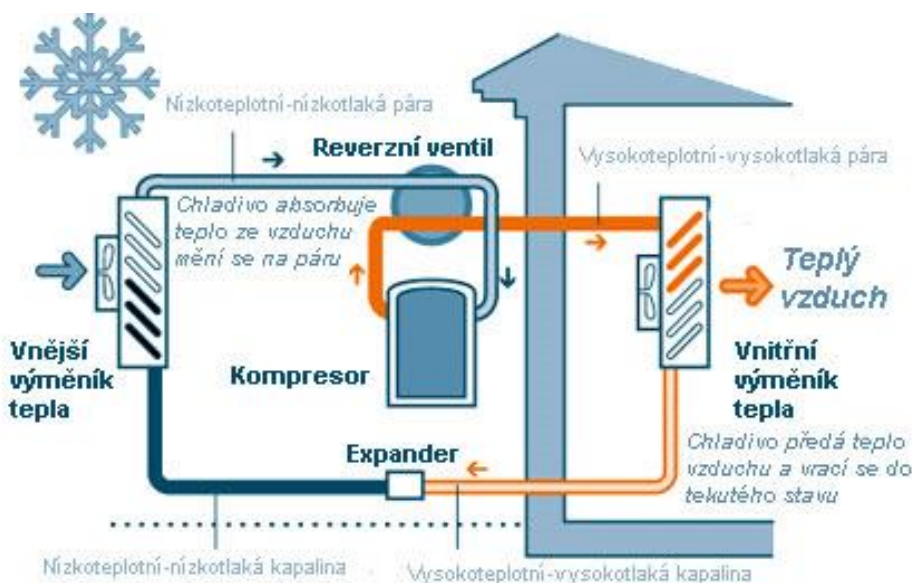
Teplo lze získávat z podzemní vody nebo z povrchové vody. Teplo z povrchové vody je většinou získáváno odběrem vody z rybníku, přehrady nebo jezera. Pro uskutečnění takového odběru je nutné získat souhlas majitele, kde to z pravidla končí. Lepší alternativou je podzemní voda, jenž má konstantních 10 °C. Pro vytápění rodinného domu je nutné mít průtok alespoň 0,5 l/s. Podzemní voda je často kvalitnější než povrchová, proto se často naráží na problém, zda ji využívat k vytápění. Pro určení, zda je proud dostatečný se dělají studie, které vycházejí levněji než geotermální vrty. [15] [16]



Obr. 10 Tepelné čerpadlo voda/voda [21]

1.2.1.4 Tepelné čerpadla vzduch/vzduch

Jedná se o kompaktní systémy, které fungují na podobném principu jako čerpadla voda/voda. V tomto případě nepředávají teplo do topné vody, ale rovnou vzduchu místnosti. Je to vhodné pro malé byty, kdy se musí dbát na to, že bude topit pouze v místnosti kde je namontováno. Teplo se do ostatních místností bude dostávat těžko. Často se používá pro udržování teploty chaty, aby nedošlo k promrznutí. Požívají se také varianty pro rekuperaci tepla při větrání. [15] [16]



Obr. 11 Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch [22]

2 Tepelná izolace

Tepelná izolace se používá ve stavbách ke zlepšení tepelných vlastností budovy. Cílem je snížit tepelné ztráty objektu, což se v zimě projeví jako menší nároky na vytápění a v létě se nebude do objektu dostávat tolik tepla. Izolace je vrstva materiálu s nízkou tepelnou vodivostí (vysokým tepelným odporem). Tepelná vodivost je rychlost šíření tepla látkou z jedné ohřáté plochy na druhou studenější plochu. Tepelná vodivost je charakterizována součinitelem tepelné vodivosti $\lambda \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$. Součinitel tepelné vodivosti je měrná tepelná vodivost, což je definováno jako množství tepla, které musí za jednotku tepla projít tělesem. Předpokládá se, že teplo se šíří pouze jedním směrem, a to kolmým na jednotlivé desky.

Tepelné izolace dělíme podle materiálu, z kterých jsou vyrobeny. Dělíme je na minerální vaty, pěnové a rostlinné. Všechny se vyznačují velmi malou tepelnou vodivostí. [23]

Tab. 5 Fyzikální vlastnosti izolačních materiálů [24]

| | ρ_{dn} (kg/m ³) | c_{dn} (J/(kg · K)) | λ_u (W/(m · K)) |
|------------------------|-------------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Minerální vata | 50 | 880 – 1 150 | 0,041 |
| Expandovaný polystyren | 30 | 1 270 | 0,039 |
| Celulóзовé vlákna | 230 | 1 380 | 0,046 |
| PIR desky | 35 | 1 400 | 0,022 |

2.1 Minerální vata

Minerální vata je materiál vyrobený tavením hornin. Nejčastěji používaný materiál je čedič a křemen. Podle použitého materiálu pak označujeme vatu za kamenitou nebo skelnou. Kamenná vata se vyrábí tavením čediče a následným vstříkáním olejů a dalších látek pro zamezení vzniku plísní. Po vytvrzení a vychladnutí se materiál nařeže na desky nebo smotá do rolí.

Díky svému poměru vlastností a ceny se jedná o jeden z nejpoužívanějších materiálů pro zateplování. Mají nízký difuzní odpor, což znamená, že dovoluje prostup parám a jejich odpařování. Zkondenzovaná voda ve stěně má prostor pro odpařování, avšak vlhkost minerálním vatám nedělá dobře. Jejich dobrá odolnost vůči vzplanutí je dána vysokou teplotou tání. Podobné vlastnosti mají skelné vaty. [23]

2.2 Expandovaný polystyren

Expandovaný polystyren, nebo také EPS, je materiál, který vzniká polymerací styrenu. To je proces, kdy se cíleně ovlivňují některé parametry vznikající makromolekuly. Většinou se upravuje molární hmotnost látky. Materiál se vyznačuje nízkou cenou a dobrým tepelným odporem. Je nutné přidat retardéry hoření. EPS se nehodí použít do míst s vyšší koncentrací vlhkosti, není paropropustný. Upevňuje se pomocí lepidla a chemických hmoždinek. [23]

2.3 Celulózová vlákna

Tento typ izolace je převážně používán v zahraničí. Vyrábí se z recyklovaného papíru, základní surovinou je tedy dřevo. Natrhaný papír se míchá s látkami, které zamezí vzniku plísní a napadení škůdci. Důležitou složkou jsou retardéry hoření. Výsledná směs se namele a nanáší přímo na izolované místo. Touto směsí se mohou izolovat i špatně dostupná místa. Celulózová vlákna dokáží nasát vlhkost ze zdiva a následně ji rovnoměrně rozptýlit po povrchu, což usnadňuje odpařování. [23]

2.4 PIR desky

Jedná se o velmi účinný izolační materiál s nízkým součinitelem tepelné vodivosti. Tyto molitanové desky, nebo také polyisokyanurátu pěna jsou ze směsi polyuretanu a polyisokyanurátu. Mají značně snížený přestup tepla sáláním. To je docíleno vysokou hustotou pórů. Zároveň mají tyto póry jemnou strukturu. Díky jemnosti a vysoké hustotě musí unikající teplo překonat mnohem větší množství přestupů mezi tuhou a plynnou fází. Uzavřená struktura desek zamezuje prostupu vlhkosti. Tyto desky se používají v kombinaci s hliníkovou folií. Je nutné chránit desky před slunečním zářením. Časté využití je při izolaci obvodových zdí. [23]

3 Charakterizace objektu

Rozebíraný objekt je starý rodinný dům, který se dědí v naší rodině po generace. Jeho konstrukce odpovídá domům postaveným v meziválečném období. Použité materiály a technologie jsou již zastaralé a způsobují značné tepelné ztráty. Díky vysokým tepelným ztrátám a neefektivnímu způsobu vytápění je bydlení v takové budově neekonomické a neekologické.



Obr. 12 Zpracovávaný rodinný dům

3.1 Popis objektu

Domy z meziválečného období byly stavěny většinou svépomocí. Pro konstrukci se používali materiály, které byly běžně dostupné. Rozhodujícím parametrem byla cena. Z tohoto důvodu tyto domy nemají dostatečné izolační vlastnosti. Část domu je již rekonstruovaná, ale některé prvky zůstali původní.

3.1.1 Použité stavební materiály

Tento dům byl postaven mezi roky 1930 až 1935. Nejpoužívanějším materiálem té doby byly duté a plné pálené cihly. Z plných pálených cihel jsou postavené obvodové stěny a sklep. Obvodové stěny jsou nahozené vápennou omítkou.

Dům je podsklepený, podlaha sklepu je z udusané hlíny. Samotný sklep je zastropený cihelnou klenbou. Podlaha, jenž je nad sklepem je opatřena hydroizolací

a následně zalita betonovou mazaninou. Stejně složení mají i nepodsklepené podlahy. Betonová mazanina je vrstva betonu o tloušťce 300 mm.

Střecha domu je sedlová, základem jsou dřevěné krovy, na kterých drží pálené tašky. Jedná se o netěsnou a neizolovanou konstrukci. Podkroví tohoto domu je neobývané, slouží pouze jako úložné prostory.

Strop je tvořen dřevěnými deskami, mezi nimiž se nachází dřevěné rámy. Prostor mezi rámy je vysypán hlínou. Hlínu na svém místě udržuje podbití, které je tvořeno dřevěnými deskami. Na podbití je natlučen rákos pro zlepšení přilnavosti omítky. Pro materiály, ze kterých je tvořen strop není dostatečná dokumentace, proto budeme uvažovat strop ze dřeva.

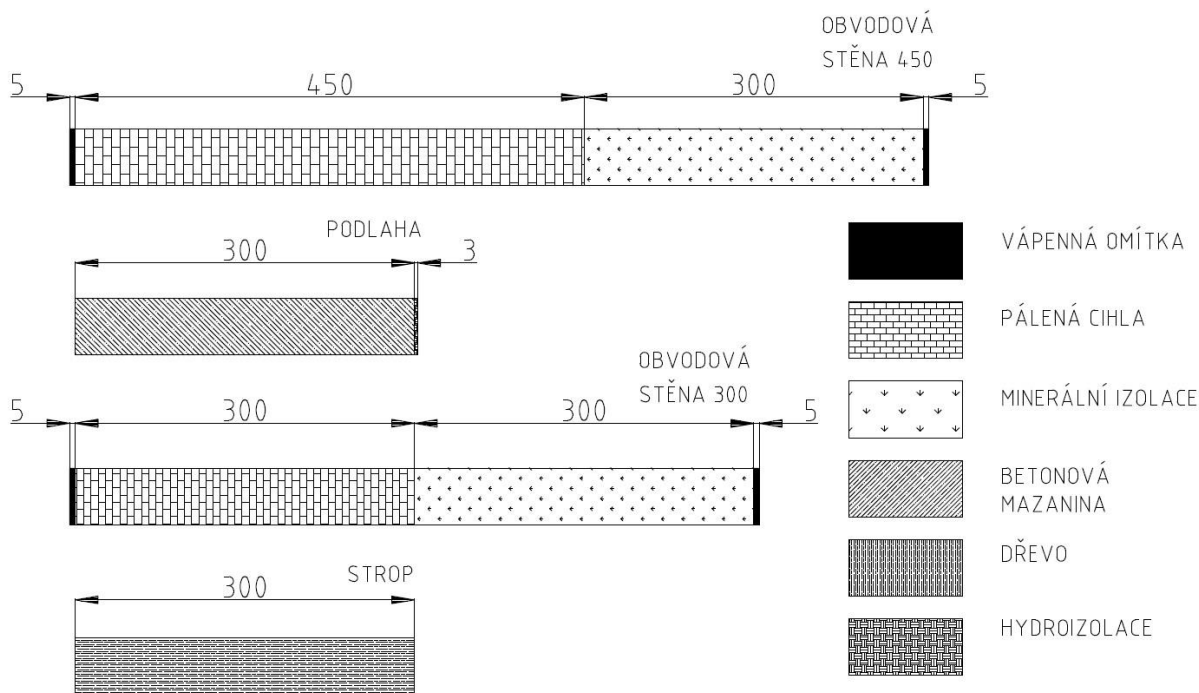


Obr. 13: Rákosová omítka [25]

Původní dřevěná dvojitá okna byla nahrazena plastovými okny s trojsklem. Objekt má dvoje dveře. Jedny vedou z ulice do chody a druhé z chodby do zahrady. Jedná se o plastové vchodové dveře s šestikomorovým profilem. Dveře i okna mají moderní konstrukci, která zajišťuje dostatečnou tepelnou izolaci.

3.1.2 Popis skladby jednotlivých stavebních částí

Skladba jednotlivých stavebních prvků je popsána na obr. 14. Jedná se o původní skladbu s přidanou izolační vrstvou.



Obr. 14 Skladba stavebních částí

3.1.3 Popis jednotlivých prvků objektu

Obytné prostory jsou vytápěny s výjimkou komory na 20 °C. Budou využívány celoročně.

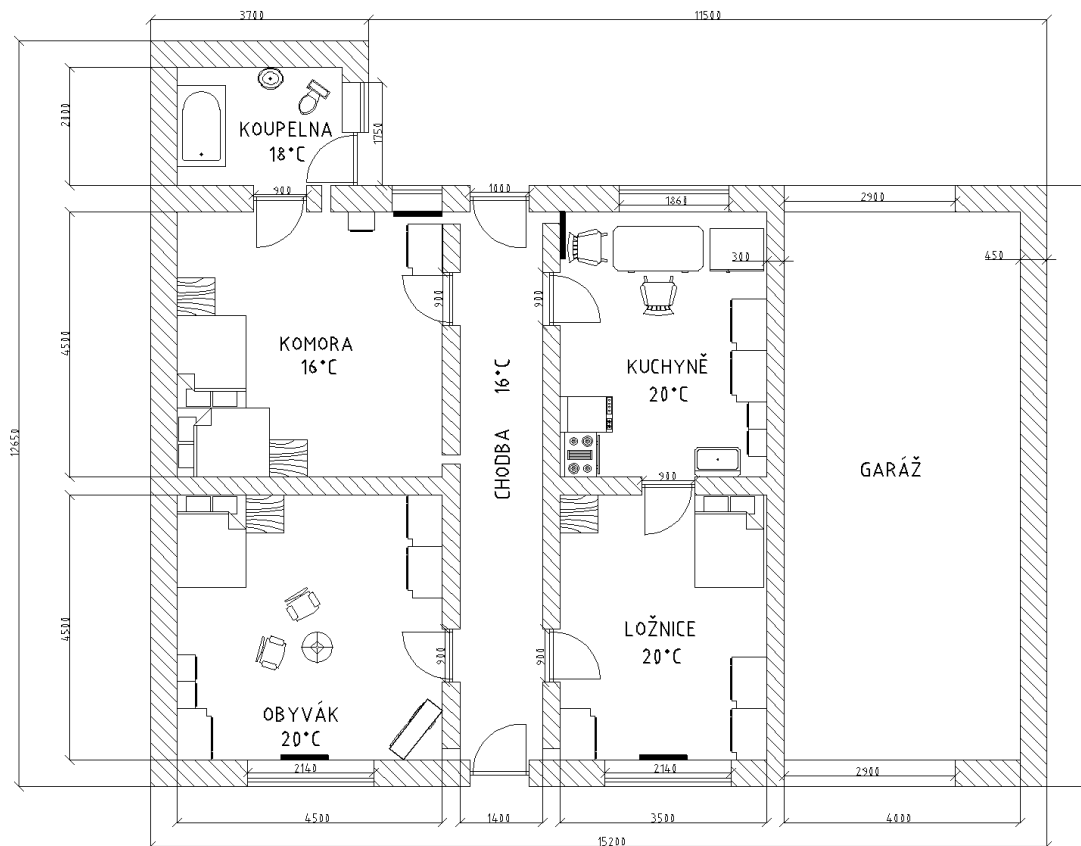
Chodba slouží jako spoj mezi jednotlivými obytnými částmi. Není nutné udržovat stejnou teplotu jako v ostatních místnostech.

Koupelna je využívána jen párkrát za den. Většinu času je neobývaná.

Sklep je využívám pro uskladnění trvanlivých potravin. Teplota ve sklepě je během roku na konstantních 6 °C.

Podkroví je užíváno jako úložný prostor pro náradí. Bude uvažováno jako nevytápěný prostor.

Garáž je nevyužívána, tudíž nevytápěná.



Obr. 15 Půdorys objektu

3.1.4 Popis způsobu vytápění

V každé místnosti je zprostředkováváno teplo pomocí plynových topidel.

3.2 Poloha

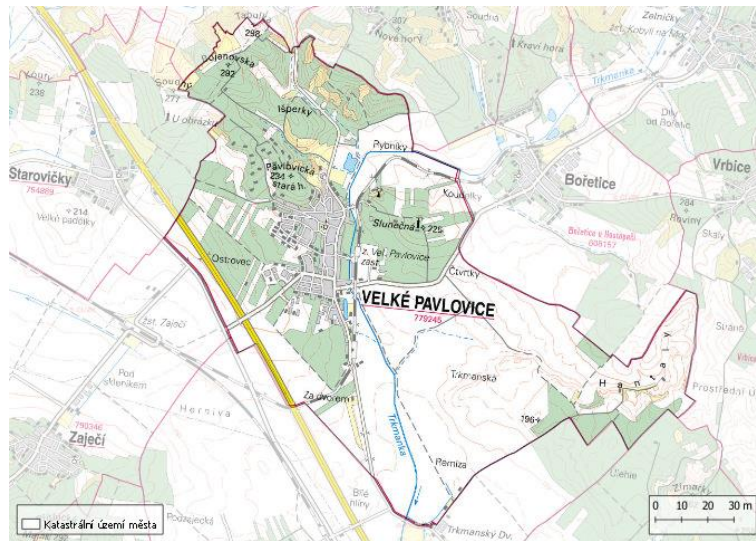
Objekt je lokalizován v Jihomoravském kraji, ve městě Velké Pavlovice.

Pavlovice leží 17 km severozápadně od Břeclavi na řece Trkmance.

3.2.1 Popis oblasti

Město se rozkládá převážně na rovinné oblasti, které je obklopeno vinicemi. Díky rovinnému charakteru a příznivému klimatu je oblast hojně využívána pro hospodářství. Oblast spadá do tepelné klimatické oblasti T4. Pro tuto oblast jsou charakteristická dlouhá léta, krátké přechodové období a krátká mírná zima.

Ve městě dominují nízké stavby a rodinné domky. [26]



Obr. 16 Velké Pavlovice [26]

Tab. 6 Klimatické podmínky [27] [28]

| | Značka | Hodnota | Jednotka |
|-----------------------------------|----------------|---------|----------|
| Délka otopného období | d | 240 | den |
| Venkovní výpočtová teplota | θ_e | -13 | °C |
| Průměrná venkovní teplota vzduchu | $\theta_{e,m}$ | 9,5 | °C |

4 Návrh tepelného zdroje

Pro návrh vhodného tepelného zdroje je nutné určit výkon. Výkon bude navrhnout na venkovní výpočtovou teplotu. Venkovní výpočtová teplota je určena normou. Je to taková teplota, aby tepelný zdroj dokázal pokrýt tepelné ztráty budovy i v krajních podmínkách. Většinu otopného období tento výkon nebude potřeba.

Výpočet návrhového výkonu je ovlivňován spoustou parametrů jako jsou geometrické charakteristiky, fyzikální vlastnosti stavebních částí, vnitřní návrhová teplota a další.

Návrh tepelného zdroje bude proveden pro dvě varianty, kdy jedna bude pro nezateplený dům a druhá pro zateplený.

Pro předvedení principu výpočtu bude sloužit vzorový výpočet v následujících odstavcích. Vzorový výpočet je proveden pro koupelnu s izolací z důvodu nižší komplexnosti výpočtu. Zbylé tepelné ztráty budou vypočteny zvlášť a následně dosazeny do vzorce.

4.1 Vstupní údaje

Hodnoty potřebné pro výpočet tepelných ztrát koupelny (viz tab. 7).

Tab. 7 Vstupní údaje do vzorového výpočtu koupelny

| | d (m) | λ (W/m · K) | U (W/(m ² · K)) | A_{ie} (m ²) | A_{ia} (m ²) |
|----------|------------|------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Okna | 0,048 | – | 1,10 | 1 | – |
| Dveře | 0,052 | – | 0,90 | 2,40 | 1,80 |
| Stěna 45 | 0,45 | 0,78 | 1,73 | 14 | 9,66 |
| Stěna 30 | 0,3 | 0,78 | 2,6 | 2 | – |
| Podlaha | 0,3 | 1,23 | 4,1 | 5,80 | – |
| Strop | 0,3 | 0,22 | 0,73 | 5,80 | – |
| Omítka | 0,02 | 0,88 | 44 | 45,20 | 8,12 |
| Izolace | 0,3 | 0,041 | 0,14 | – | – |

4.2 Návrhový tepelný výkon budovy

Návrhový tepelný výkon lze určit podle normy ČSN EN 12831–1 pomocí dvou metod. Zjednodušená metoda slouží pouze k přibližnému odhadnutí tepelných ztrát. Je to orientační hodnota a pro návrh zdroje nedostatečná. Standartní metoda je již komplexnější výpočet, ve kterém je zahrnuto více proměnných. Tato metoda zajistí přesnější výsledky, které jsou pro návrh zdroje vhodnější.

4.2.1 Vzorový výpočet

Následující rovnice popisuje návrhový tepelný výpočet funkční části budovy. Některé hodnoty jako jsou tepelné mosty a tepelné přírůstky od slunce, nejsou ve výpočtu zahrnuty. Tyto hodnoty nejsou uvažovány, jelikož by komplikovali výpočet a jejich

přírůstek není tolik významný. Objekt je navrhován pro nepřerušované bydlení, proto zátopný tepelný výkon není započten.

$$\begin{aligned} \Phi_{HL,BE} &= \sum_i \langle \Phi_{T,ie} + \Phi_{T,iae} + \Phi_{T,iaBE} + \Phi_{T,ig} \rangle + \Phi_{V,BE} + \sum_i \langle \Phi_{hu,i} \rangle \\ &\quad - \sum_i \langle \Phi_{gain,i} \rangle = \\ &= 876,3 + 447,6 + 301,6 + 5716 + 5029,7 = \mathbf{12371,2\ W} \end{aligned} \quad (4.1)$$

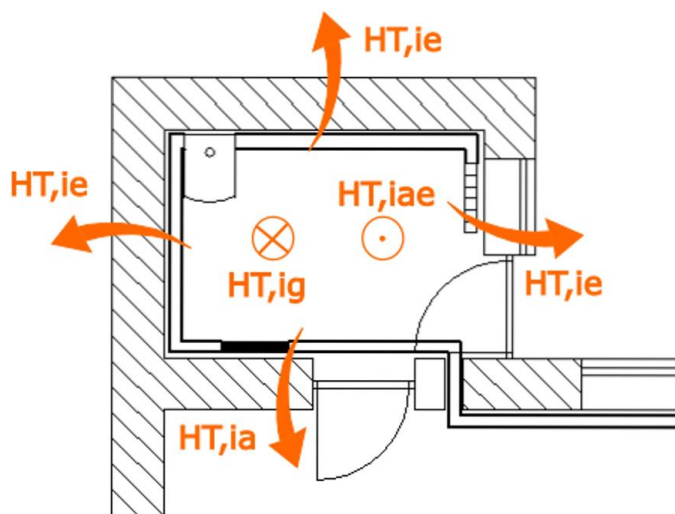
Výsledkem rovnice 4.1 je celková tepelná ztráta varianty se zateplením na kterou bude navržen primární zdroj.

| Symbol | Veličina | Jednotka |
|-----------------|---|----------|
| $\Phi_{HL,BE}$ | Návrhový tepelný výkon funkční části budovy. | W |
| $\Phi_{T,ie}$ | Tepelné ztráty přestupem do venkovního prostoru. | W |
| $\Phi_{T,iae}$ | Tepelné ztráty přestupem do nevytápěného prostoru. | W |
| $\Phi_{T,iaBE}$ | Tepelné ztráty přestupem do vytápěného prostoru. | W |
| $\Phi_{T,ig}$ | Tepelné ztráty přestupem do zeminy. | W |
| $\Phi_{V,BE}$ | Tepelné ztráty větráním. | W |
| $\Phi_{hu,i}$ | Součet zátopných tepelných výkonů. | W |
| $\Phi_{gain,i}$ | Součet trvalých tepelných zisků, které se vyskytují současně při venkovních výpočtových podmínkách. | W |

Rovnice 4.2 určuje návrhové tepelné ztráty prostupem pro koupelnu.

$$\begin{aligned} \Phi_{T,i} &= (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) = \\ &= (5,3 + 1,1 + 0,5 + 10,3) \cdot (20 - (-13)) = \mathbf{570,5\ W} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Způsob pojmenování tepelných toků podle stavební části a sousedního prostoru je zobrazen na obr. 17.



Obr. 17 Zobrazení tepelných toků

| Symbol | Veličina | Jednotka |
|------------------|---|----------|
| $\Phi_{T,i}$ | Návrhový tepelný výkon funkční části budovy. | W |
| $H_{T,ie}$ | Měrný tepelný tok z vytápěného prostoru do venkovního prostředí. | W/K |
| $H_{T,ia}$ | Měrný tepelný tok do sousedních vytápěných prostor. | W/K |
| $H_{T,iae}$ | Měrný tepelný tok do venkovního prostředí přes nevytápěné prostory. | W/K |
| $H_{T,ig}$ | Měrný tepelný tok z vytápěného prostoru do zeminy. | W/K |
| $\theta_{int,i}$ | Vnitřní návrhová teplota. | °C |
| θ_e | Venkovní návrhová teplota. | °C |

Měrný tepelný tok, je počítán pro každou tepelnou diferenci zvlášť.

$$H_{T,ia} = \sum_k \langle A_k \cdot U_k \cdot f_{ia,k} \rangle = \quad (4.3)$$

$$= 9,66 \cdot 1,607 \cdot 0,065 + 1,8 \cdot 0,9 \cdot 0,065 = 1,1 \text{ W/K}$$

$$H_{T,ie} = \sum_k \langle A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k} \rangle = 5,3 \text{ W/K} \quad (4.4)$$

$$H_{T,iae} = \sum_k \langle A_k \cdot U_k \cdot f_{ia,k} \rangle = 0,5 \text{ W/K} \quad (4.5)$$

$$H_{T,ig} = f_{\theta_{ann}} \cdot \sum_k \langle A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k} \rangle \quad (4.6)$$

$$= 10,3 \text{ W/K}$$

| Symbol | Veličina | Jednotka |
|-----------------|---|--|
| A_k | Plocha stavební částí. | m^2 |
| U_k | Součinitel prostupu tepla stavební částí. | $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ |
| ΔU_{TB} | Přirážka na vliv tepelných vazeb (tepelné mosty). | $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ |
| $U_{equiv,k}$ | Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební částí v kontaktu se zemínou. | $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ |
| $f_{U,k}$ | Opravný součinitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování U – hodnot. | – |
| $f_{ie,k}$ | Teplotní opravný činitel. | – |
| $f_{ia,k}$ | Teplotní opravný činitel. | – |
| $f_{ig,k}$ | Teplotní opravný činitel. | – |
| $f_{GW,k}$ | Opravný činitel zohledňující vliv spodní vody. | – |

Tepelná diference je kompenzována pomocí teplotního opravného činitele, jenž je určen pomocí rovnice 4.7.

$$f_{ia,k} = f_1 + f_2 = 0,065 + 0 = 0,065 \text{ (-)} \quad (4.7)$$

$$f_{ie,k} = 1 \text{ (-)} \quad (4.8)$$

$$f_{ig,k} = 0,46 \text{ (-)} \quad (4.9)$$

$$f_1 = \frac{\theta_{int,i} - \theta_x}{\theta_{int,i} - \theta_e} = \frac{18 - 16}{18 - (-13)} = 0,065 \text{ (-)} \quad (4.10)$$

$$f_2 = \frac{\theta_{int,k} - \theta_{int,i}}{\theta_{int,i} - \theta_e} = 0 \quad (4.11)$$

| Symbol | Veličina | Jednotka |
|------------------|---|----------|
| $f_{ix,k}$ | Teplotní opravný čítel. | – |
| f_1 | Opravný čítel zohledňující rozdíl mezi teplotou sousedního prostředí nebo prostoru. | – |
| f_2 | Opravný čítel zohledňující rozdíl mezi vnitřní výpočtovou teplotou. | – |
| $\theta_{int,i}$ | Vnitřní výpočtová teplota. | °C |
| θ_x | Teplota sousedního prostoru nebo prostředí. | °C |
| θ_e | Venkovní výpočtová teplota. | °C |
| $\theta_{int,k}$ | Průměrná vnitřní povrchová teplota stavební části. | °C |

Součinitel prostupu tepla pro stěnu spojující komoru a koupelnu je určen rovnicí 4.12.

$$U_k = \frac{1}{\sum_i R} = \frac{1}{0,577 + 2 * 0,023} = 1,607 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (4.12)$$

Součástí rovnice 4.12 je suma tepelných odporů použitých materiálů. Jednotlivé tepelné odpory řeší rovnice 4.13 až 4.15.

$$R_s = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,45}{0,78} = 0,577 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad (4.13)$$

$$R_o = 0,023 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad (4.14)$$

$$R_i = 7,317 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad (4.15)$$

| Symbol | Veličina | Jednotka |
|-----------|--|--------------------------------------|
| R | Tepelný stavební části. | $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ |
| d | Tloušťka stavební části. | m |
| λ | Součinitel tepelné vodivosti stavební části. | $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ |

Tepelné ztráty větráním budovy budou určeny pomocí zjednodušené metody. Univerzální výpočtový přístup nebude použit z důvodu absence některých důležitých dat nutných pro výpočet.

Jakmile je určený objemový tok a fyzikální vlastnosti vzduchu, lze pomocí rovnice 4.16 určit tepelné ztráty větráním.

$$\Phi_{V,i} = \rho \cdot c_p \cdot q_i \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) = \quad (4.16)$$

$$= 1,189 \cdot 1,008 \cdot 127,17 \cdot (20 - (-13)) = \mathbf{5029,7 \text{ W}} \quad (4.16)$$

Je nutné určit objemový tok vzduchu. Porovnat objemový tok vzduchu infiltrací a větráním. Objemový tok vzduchu infiltrací je popsán rovnicí 4.18 a minimální hygienický tok rovnicí 4.17. Dále se počítá s větším tokem.

$$q_i = \max(q_{v,inf,i} \cdot q_{v,min,i}) = q_{v,min,i} = 127,17 \text{ m}^3/\text{h} \quad (4.17)$$

Objemový tok infiltrací je množství vzduchu, které při tlakovém rozdílu 50 Pa uteče netěsnostmi v obálce budovy.

$$q_{v,inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i = \quad (4.18)$$

$$= 2 \cdot 254,34 \cdot 4,5 \cdot 0,03 \cdot 1 = 68,67 \text{ m}^3/\text{h} \quad (4.18)$$

Podle nové české legislativy je nutné v místnosti zajistit dostatečnou výměnu vzduchu, aby se dosáhlo kvalitního vnitřního prostředí. Pro zajištění menších tepelných ztrát bude uvažováno s minimální hygienickou výměnou vzduchu.

$$q_{v,min,i} = V_i \cdot n_{min} = 254,34 \cdot 0,5 = 127,17 \text{ m}^3/\text{h} \quad (4.19)$$

| Symbol | Veličina | Jednotka |
|-----------------|---|-------------------|
| ρ | Hustota vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě. | kg/m ³ |
| c_p | Měrná tepelná kapacita při vnitřní výpočtové teplotě. | Wh/(kg · K) |
| $q_{v,min,i}$ | Minimální objemový průtok vzduchu místností. | m ³ /h |
| $q_{v,inf,i}$ | Objemový tok vzduchu infiltrací | m ³ /h |
| q_i | Objemový tok vzduchu. | m ³ /h |
| V_i | Objem vytápěného prostoru. | m ³ |
| n_{min} | Minimální intenzita výměny venkovního vzduchu. | h ⁻¹ |
| n_{50} | Intenzita větrání při rozdílu tlaku 50 Pa. | h ⁻¹ |
| e_i | Součinitel ochrany budovy proti větru. | — |
| ε_i | Výškový korekční faktor. | — |

Vypočtené hodnoty jsou pro jednotlivé místnosti a stavební části vypsány v tab. 8 a tab. 9. Uvedené tepelné ztráty jsou pouze ztráty vedením.

Tab. 8 Návrhové tepelné ztráty prostupem bez izolace

| | $H_{T,ie}$ (W/K) | $H_{T,ia}$ (W/K) | $H_{T,iae}$ (W/K) | $H_{T,ig}$ (W/K) | $H_{T,dvere,ie}$ (W/K) | $H_{T,okna,ie}$ (W/K) | $\Phi_{T,i}$ (W) |
|----------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------|
| Kuchyně | 11,6 | 3,0 | 26,7 | 39,3 | – | 2,9 | 2 761,0 |
| Ložnice | 10,9 | 3,0 | 26,7 | 28,1 | – | 3,2 | 2 381,3 |
| Chodba | 5,8 | – | 7,3 | 23,2 | 3,8 | – | 1 321,4 |
| Komora | 25,9 | – | 11,3 | 36,1 | – | 1,1 | 2 417,9 |
| Koupelna | 27,1 | 1,0 | 3,3 | 10,3 | 2,2 | 1,1 | 1 490,7 |
| Obyvák | 35,7 | 6,5 | 11,7 | 36,1 | – | 3,2 | 3 084,7 |
| Celkové | 3 859,7 | 447,6 | 2 869,5 | 5 716,0 | 196,0 | 381,2 | 13 456,9 |

Tab. 9 Návrhové tepelné ztráty prostupem s izolací

| | $H_{T,ie}$ (W/K) | $H_{T,ia}$ (W/K) | $H_{T,iae}$ (W/K) | $H_{T,ig}$ (W/K) | $H_{T,dvere,ie}$ (W/K) | $H_{T,okna,ie}$ (W/K) | $\Phi_{T,i}$ (W) |
|----------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------|
| Kuchyně | 0,9 | 3,0 | 1,9 | 39,3 | – | 2,9 | 1 591,8 |
| Ložnice | 0,9 | 3,0 | 1,9 | 28,1 | – | 3,2 | 1 231,7 |
| Chodba | 0,5 | – | 1,1 | 23,2 | 3,8 | – | 943,6 |
| Komora | 2,0 | – | 1,8 | 36,1 | – | 1,1 | 1 317,2 |
| Koupelna | 2,0 | 1,0 | 0,5 | 10,3 | 2,2 | 1,1 | 570,5 |
| Obyvák | 2,8 | 6,5 | 1,8 | 36,1 | – | 3,2 | 1 673,5 |
| Celkové | 299,1 | 447,6 | 301,6 | 5 716,0 | 196,0 | 381,2 | 7 328,4 |

Určení návrhového výkonu dosáhneme sečtením tepelných ztrát vedením a tepelných ztrát větráním. Tepelné ztráty větráním jsou určeny rovnicí 4.16 a ztráty vedením jsou uvedeny v předchozích tabulkách.

Tab. 10 Celkové návrhové tepelné ztráty

| | Bez izolace (W) | S izolací (W) |
|-------------------------|--------------------|------------------|
| Návrhové tepelné ztráty | 18 486,6 | 12 358,1 |

Varianta bez zateplení má návrhový výkon 19 kW a varianta se zateplením má 13 kW.

4.3 Roční potřeba tepla

Pro co nejpřesnější určení potřeby tepla během roku je nutné znát průběh venkovních teplot. Průměrné hodnoty teploty vzduchu nalezneme na portálu tzb.info. Díky průměrným teplotám budeme moci určit potřebu paliva během roku. [29]

Tab. 11 Průměrná teplota venkovního vzduchu během otopného období [29]

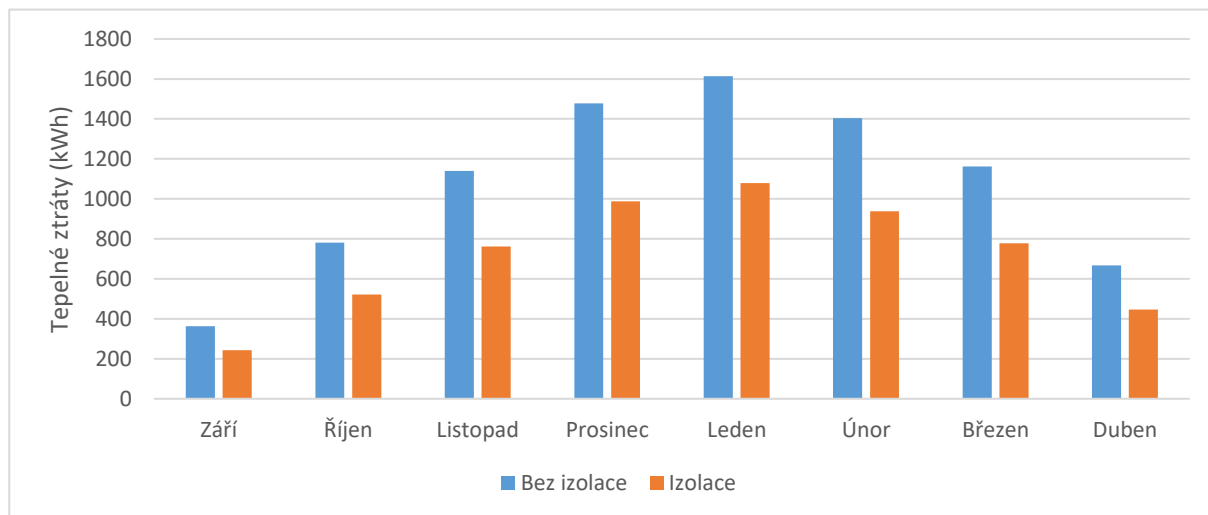
| | Září | Říjen | Listopad | Prosinec | Leden | Únor | Březen | Duben |
|-----|------|-------|----------|----------|-------|------|--------|-------|
| Dny | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 29 | 31 | 27 |
| °C | 15 | 9,6 | 4,3 | 0,3 | -1,5 | 0 | 4,5 | 9,8 |

Nyní lze vypočítat množství potřebného tepla během roku.

Tab. 12 Potřeba tepla pro jednotlivé měsíce v otopném období

| | Tepelné ztráty bez izolace (kWh) | Tepelné ztráty s izolací (kWh) |
|---------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Září | 363 | 242,7 |
| Říjen | 780,2 | 521,6 |
| Listopad | 1 139,9 | 762 |
| Prosinec | 1 477,9 | 988 |
| Leden | 1613 | 1 078,3 |
| Únor | 1 403,6 | 938,3 |
| Březen | 1 162,8 | 777,3 |
| Duben | 666,5 | 445,5 |
| Celkem | 8 606,9 | 5 753,7 |

Tepelná izolace výrazně sníží tepelné ztráty prostupem. To vede k značné úspoře tepla, jak lze vidět na obr. 18. Během roku lze uspořit 2 853,2 kWh tepla.



Obr. 18 Porovnání potřeby tepla pro variantu se zateplením a bez zateplení

5 Porovnání jednotlivých zdrojů

Původní zdroj tepla v objektu zastávají lokální plynová topidla. Tento zdroj není vhodný pro dům, jenž má být obýván po celý rok. Nebezpečnost a nízká účinnost vede k nutnosti navrhnout nový primární zdroj tepla. Při volbě nového zdroje je důležité brát v potaz provozní a investiční náklady, dostupnost paliva a v neposlední řadě dopad na životní prostředí. Jedním z možných kandidátů se jeví zplyňovací kotel. Ostatní druhy kotlů na pevná paliva po roce 2024 nebudou splňovat emisní limity, a proto jedinou volbou bude zplyňovací kotel. Tento zdroj tepla má nízké pořizovací náklady a levný zdroj tepelné energie. Jeho provoz není tak jednoduchý jako u ostatních zdrojů tepla, z důvodu zajištění logistiky zásobování palivem.

Díky již existujícím rozvodům plynu v objektu se nabízí zvolit jako primární zdroj tepla plynový kotel. Pro maximální využití tepelné energie z paliva je žádoucí zvolit řešení s maximální účinností. Zároveň s ohledem na zpřísnění emisních limitů je vhodné zvolit zdroj, který bude moci být provozován v co nejdelším časovém horizontu. Vhodným zástupcem na plyná paliva je kondenzační kotel. Kondenzační kotle mohou dosahovat účinnosti až 110 %. Jejich nevýhodou je závislost na neobnovitelném zdroji energie a produkce skleníkových plynů.

Je-li řeč o zdroji tepla, který neprodukuje dodatečné skleníkové plyny, pak jednou z variant je tepelné čerpadlo. Tepelné čerpadlo má ekonomický a ekologický provoz kdy jedinou možnou emisí je únik chladiva. Tepelné čerpadlo v průběhu roku nemá stálý výkon. Výkon je ovlivňován teplotou prostředí, ze kterého odebírá nízkopotencionální teplo. Tato teplota se v průběhu roku může měnit. Proto je nutné provozovat tepelné čerpadlo s bivalentním zdrojem. Díky nízké ceně a rychlé regulaci se nejčastěji využívá elektrokotel. Největší nevýhodou tepelných čerpadel je velmi vysoká pořizovací cena. Z tohoto důvodu bylo zvoleno jako primární zdroj tepelné energie tepelné čerpadlo vzduch/voda. Jedná se o jedno z nejlevnějších provedení.

5.1 Zplyňovací kotel

Zplyňovací kotel od výrobce Atmos vybavený automatickým zapalováním paliva pomocí elektrické žhavicí spirály. To umožňuje naplánování regulace v týdnu. Pro zapalování slouží kvalitní dřevěné pelety a pro palivo je požito hnědé uhlí, nebo palivové dříví. Doporučené palivo je suché dřevo (kulatina) o výhřevnosti 15–17 MJ/kg a o obsahu vody 12–20 %. [30]

Tab. 13 Technické parametry DC18GD s aut. zapalováním [30]

| Parametr | Hodnota | Jednotka |
|-----------------------------------|----------|----------|
| Cena | 91 920 | Kč |
| Jmenovitý tepelný výkon | 19 | kW |
| Sezónní energetická účinnost | 91,5 | % |
| Spotřeba paliva | 5,1 | kg/h |
| Provozní teplota kotle | 80 až 90 | °C |
| Max. přetlak vody v okruhu topení | 2,5 | bar |
| Elektrický příkon | 50 | W |
| Energetická třída topení | A+ | – |
| Emisní třída dle ČSN EN 303-3 | 5 | – |

Bylo důležité při volbě kotle, aby se zachovala možnost využití kusového dřeva jako zdroje tepelné energie. Kotel je lehce předimenzován, jelikož výrobce nenabízí nižší výkonové řady, které by stále využívaly kusové dřevo jako palivo. Kotle s nižším výkonem využívají pelet.

Tab. 14 Technické parametry DC15GS [36]

| Parametr | Hodnota | Jednotka |
|-----------------------------------|----------|----------|
| Cena | 59 091 | Kč |
| Jmenovitý tepelný výkon | 15 | kW |
| Sezónní energetická účinnost | 91,2 | % |
| Spotřeba paliva | 4,1 | kg/h |
| Provozní teplota kotle | 80 až 90 | °C |
| Max. přetlak vody v okruhu topení | 2,5 | bar |
| Elektrický příkon | 50 | W |
| Energetická třída topení | A+ | – |
| Emisní třída dle ČSN EN 303-3 | 5 | – |



Obr. 19 Zplyňovací kotel DC18GD s aut. zapalováním [30]

5.2 Kondenzační kotel

Pro variantu bez zateplení byl zvolen 20 kW kondenzační kotel Nuvola Duo-tec+ 24GA od společnosti Baxi. Kotel má vestavěný nerezový 40 l zásobník na teplou vodu. Disponuje širokým rozsahem modulace 1:7. [31]

Tab. 15 Technické parametry Baxi Nuvola Duo-tec+ 24GA [31]

| Parametr | Hodnota | Jednotka |
|--|----------|----------|
| Cena | 77 132 | Kč |
| Jmenovitý tepelný výkon topení | 20,6 | kW |
| Sezónní energetická účinnost vytápění | 93 | % |
| Jmenovitá účinnost 50/30 | 105,8 | % |
| Rozsah regulace topné vody | 25 až 80 | °C |
| Min. / max. přetlak vody v okruhu topení | 0,3 až 3 | bar |
| Elektrický příkon | 88 | W |
| Energetická třída topení | A | – |
| Emisní třída dle ČSN EN 303-3 | 5 | – |

Druhá varianta bude osazena kondenzačním kotlem stejného výrobce o nižším výkonu. Označení kotle je Nuvola Duo-tec+ 16GA. Hlavní rozdíl je ve výkonu a sezónní účinnosti.

Tab. 16 Technické parametry Baxi Nuvola Duo-tec+ 16GA [34]

| Parametr | Hodnota | Jednotka |
|--|----------|----------|
| Cena | 76 109 | Kč |
| Jmenovitý tepelný výkon topení | 12,4 | kW |
| Sezónní energetická účinnost vytápění | 92 | % |
| Jmenovitá účinnost 50/30 | 105,8 | % |
| Rozsah regulace topné vody | 25 až 80 | °C |
| Min. / max. přetlak vody v okruhu topení | 0,5 až 3 | bar |
| Elektrický příkon | 88 | W |
| Energetická třída topení | A | – |
| Emisní třída dle ČSN EN 303-3 | 5 | – |



Obr. 20 Kondenzační kotel Baxi Nuvola Duo-tec+ 24 [31]

5.3 Tepelné čerpadlo s bivalentním zdrojem

Tepelná čerpadla se často kvůli vysokým investičním nákladům nenavrhují na návrhové tepelné ztráty. Tepelný výkon je navržen pro předpokládanou spotřebu tepla během otopného období. Poddimenzují se a v případě extrémních teplot dopomáhá bivalentní zdroj. Jako bivalentní zdroj může sloužit elektrokotel, plynový kotel nebo kotel na tuhá paliva. Někteří výrobci dodávají tepelná čerpadla již se zabudovaným bivalentním zdrojem. Nejčastějším doplňkovým zdrojem je elektrokotel, díky své nízké ceně. Bivalentní zdroj většinu topné sezóny není v provozu, proto vyšší provozní náklady nejsou problém. [32]

Nezateplená varianta bude vybavena tepelným čerpadlem Daikin Altherma 3 H MT-EPRA10EW + ETBX12E9W. Jedná se o čerpadlo

vzduch/voda s reverzním chodem. Je vybavené integrovaným záložním ohřívačem s výkonem 6-9 kW. [33]

Tab. 17 Technické parametry Daikin Altherma 3 H MT-EPRA10EW + ETBX12E9W [33]

| Parametr | Hodnota | Jednotka |
|-----------------------------|-----------|----------|
| Cena | 341 999 | Kč |
| Topný výkon | 12 | kW |
| Výkon záložního ohřívače | 6 až 9 | kW |
| Teplota otopné vody | 55 | °C |
| SCOP | 3,58/3,57 | – |
| Typ chladiva | R-32 | – |
| Třída energetické účinnosti | A++ | – |
| Provozní rozsah vytápění | -28 až 35 | °C |
| Provozní rozsah chlazení | 10 až 35 | °C |

Zateplená varianta umožňuje využití tepelného čerpadla o nižším výkonu. Čerpadlo je od stejného výrobce s označením Daikin Altherma 3 M-EDLA09D3W1 o výkonu 9 kW. Disponuje bivalentním zdrojem o výkonu 3 kW.

Tab. 18 Technické parametry Daikin Altherma 3 M-EDLA09D3W1 [35]

| Parametr | Hodnota | Jednotka |
|-----------------------------|-----------|----------|
| Cena | 219 507 | Kč |
| Topný výkon | 9 | kW |
| Výkon záložního ohřívače | 3 | kW |
| Teplota otopné vody | 55 | °C |
| SCOP | 3,39 | – |
| Typ chladiva | R-32 | – |
| Třída energetické účinnosti | A++ | – |
| Provozní rozsah vytápění | -28 až 35 | °C |
| Provozní rozsah chlazení | 10 až 35 | °C |



Obr. 21 Tepelné čerpadlo Daikin Altherma 3 H MT-EPRA10EW + ETBX12E9W [33]

5.4 Ekonomické posouzení

Pro určení nejvhodnějšího tepelného zdroje je nutné posoudit, zda je vůbec z finančního hlediska možné projekt zrealizovat. Dále je vhodné počítat s náklady, které jednotlivá řešení přináší. Náklady na provoz jsou spojeny s cenou využívaného paliva, účinností, poruchovostí zřízení a jeho následný servis. Jednotlivá řešení by měla s sebou přinést i finanční úsporu. Pokud má zařízení uspořit nějaké finanční prostředky, je vhodné, aby během své životnosti ušetřilo více financí, než bylo potřeba při realizaci. Uspořený kapitál bude větší než investiční.

Pro ekonomické zhodnocení je nutné určit několik zásadních parametrů. Určení ceny jednotlivých zařízení pro variantu se zateplením a bez zateplením. Ovšem i samotné zateplení nebude zanedbatelný výdaj.

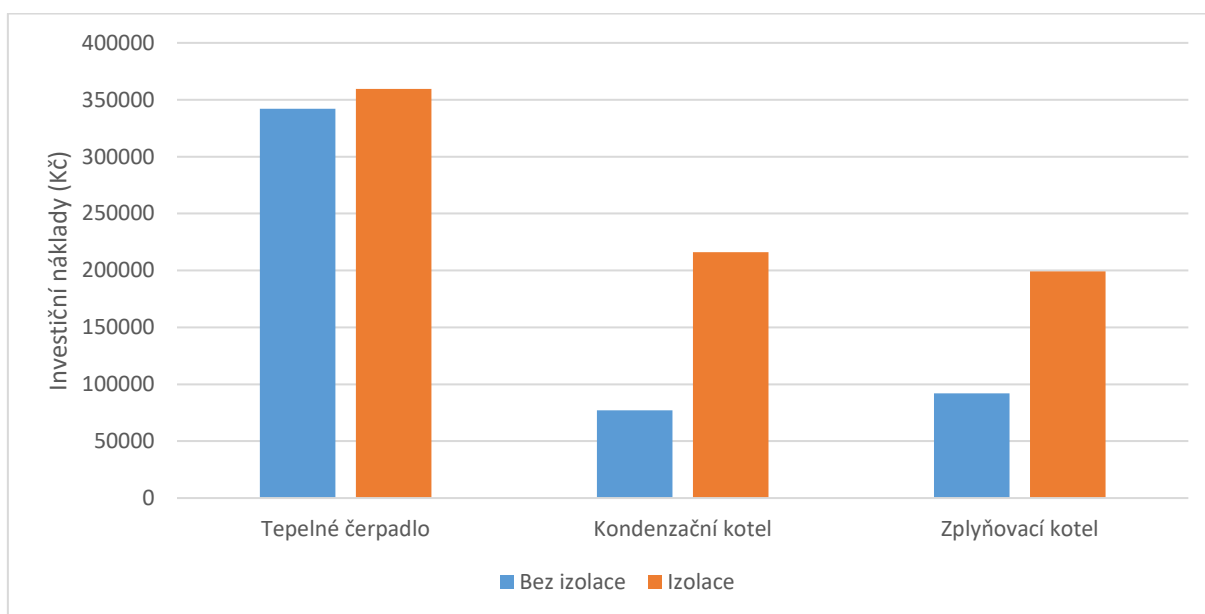
Tab. 19 Investiční náklady pro variantu bez zateplení

| | Tepelné čerpadlo (Kč) | Kondenzační kotel (Kč) | Zplyňovací kotel (Kč) |
|-----------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Investice | 341 999 | 77 132 | 91 920 |

Tab. 20 Investiční náklady pro variantu se zateplením

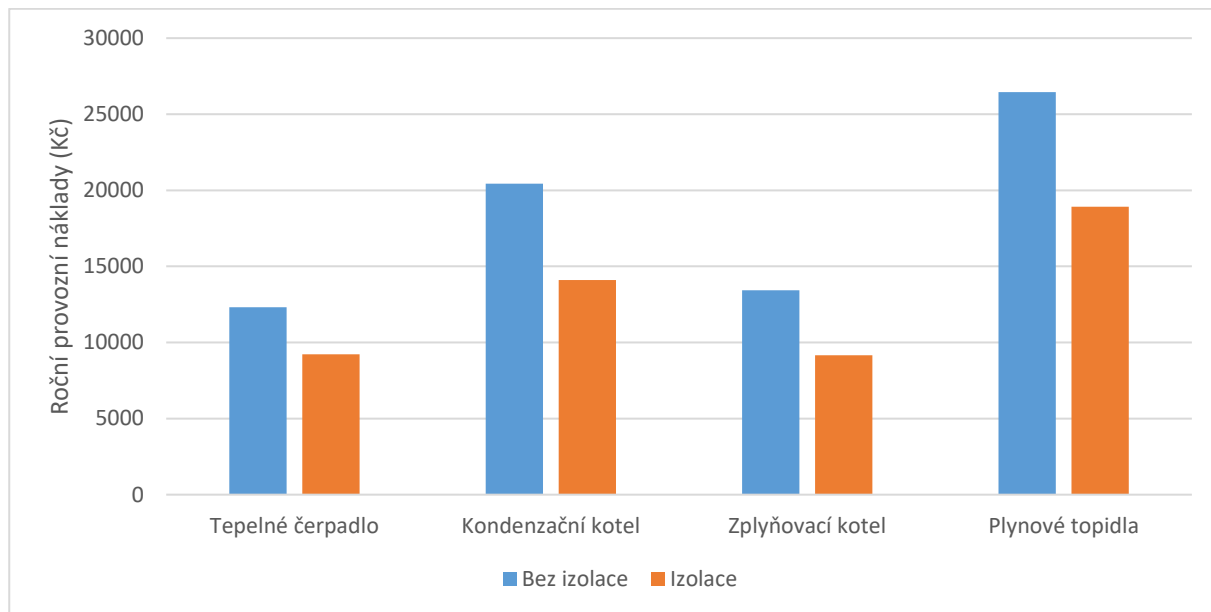
| | Tepelné čerpadlo (Kč) | Kondenzační kotel (Kč) | Zplyňovací kotel (Kč) | Zateplení (Kč) |
|-----------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------------|
| Investice | 219 507 | 64 800 | 41 495 | 140 000 |

Jak lze v obr. 22 vidět, investiční náklady jsou pro variantu s izolací větší. Menší tepelné ztráty umožňují zvolit zdroj tepla s menším návrhovým výkonem, avšak musí být přičteny investiční náklady za izolaci. Výjimkou je tepelné čerpadlo, kdy investiční náklady jsou velmi podobné. To je zapříčiněno velkými skoky v ceně v závislosti na výkonu.



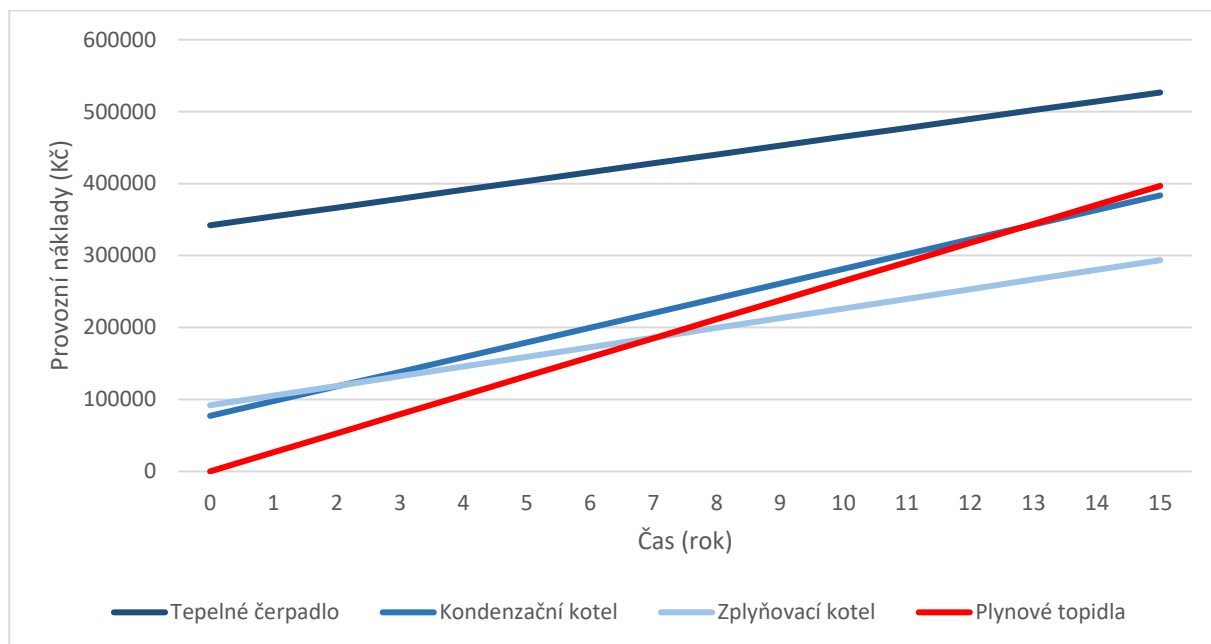
Obr. 22 Porovnání jednotlivých investičních nákladů

Dle obr. 23 je patrné že provozní náklady varianty se zateplením jsou nižší než u varianty bez zateplení. Do provozních nákladů je zahrnuta nejen cena zdroje tepelné energie, ale také servisní náklady.



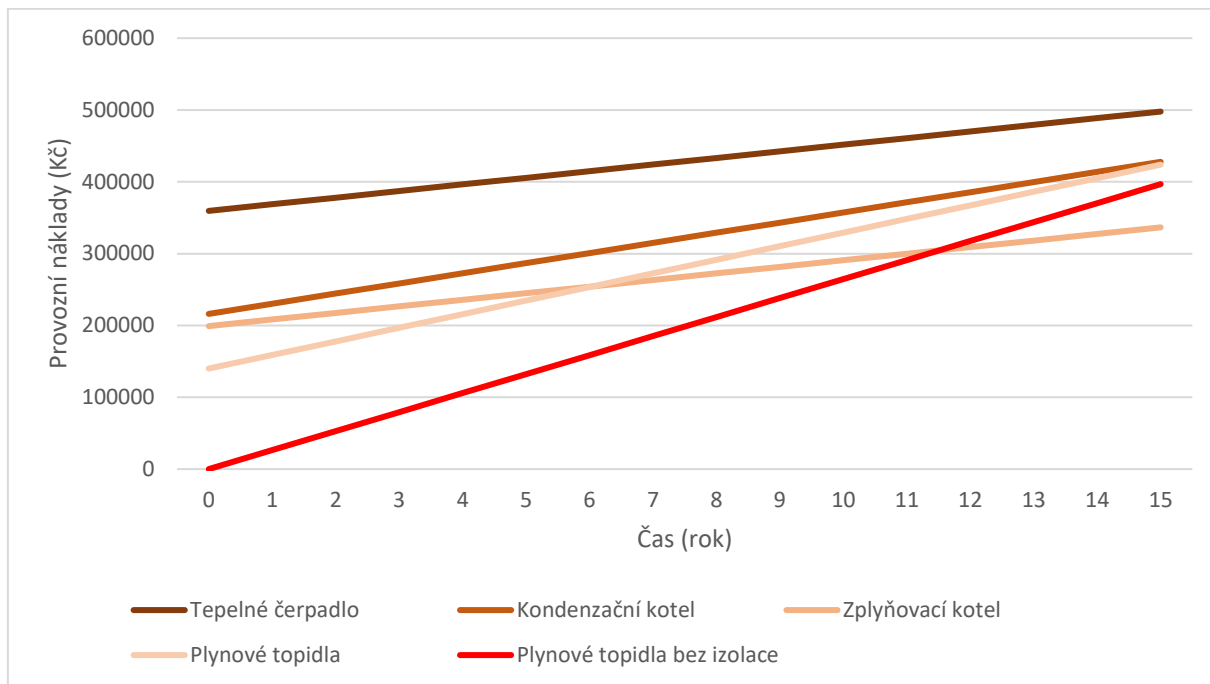
Obr. 23 Porovnání provozních nákladů

Na obr. 24 je vyobrazen vývoj nákladů během let varianty bez zateplení. Tento vývoj je porovnáván se stávajícím řešením, což je neizolovaný objekt s plynovými topidly. Lze si všimnout že jednotlivé vývojové přímky nabývají menší strmosti. Všechny nově navržené tepelné zdroje vedou k úspoře provozních nákladů.



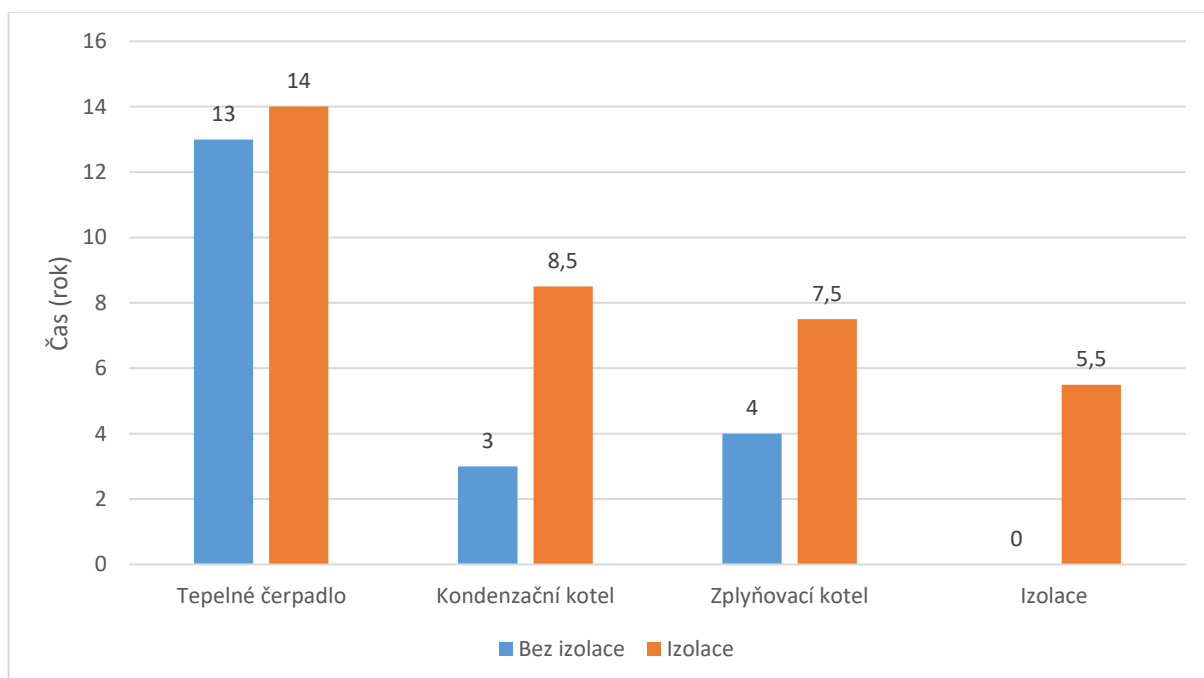
Obr. 24 Vývoj provozních nákladů varianty bez zateplení

Díky investici do zateplení jsou provozní náklady výrazně zredukovány, jak si lze všimnout na obr. 25. V grafu je zobrazena i původní konfigurace pro lepší porovnání jednotlivých řešení. Došlo k výraznému poklesu ročních provozních nákladů, vůči původnímu řešení. To je však vykompenzováno vyššími investičními náklady.



Obr. 25 Vývoj provozních nákladů varianty se zateplením

Návratnost investic (viz obr. 26) je pouze orientační. Návratnost jednotlivých investic může být ovlivněna změnou cen paliv v průběhu let. Během let může dojít k vážnějším poruchám, které již nebudou zahrnuty v pravidelných servisních intervalech. To by mohlo vést k dalšímu prodloužení návratnosti.



Obr. 26 Návratnost jednotlivých řešení

ZÁVĚR

Teoretický úvod je náplní první části práce. Tato část má za cíl představit různé druhy tepelných zdrojů. Shrnout ve stručnosti princip fungování a jejich výhody i nevýhody. Důraz byl kladen na tepelné zdroje, jež by mohli být vhodnou alternativou za původní vytápění. Jedná se o primární zdroj, který má za úkol zajistit v budově tepelnou pohodu. Součástí teoretické části je také seznámení se s tepelnou izolací a její funkcí. Jelikož jsou tepelné izolace hlavně o materiálových vlastnostech tak i seznámení s nejpoužívanějšími materiály.

Primární zdroj by měl pokrýt potřeby tepla budovy. Ty jsou určeny výpočtem, který se řídí českou technickou normou ČSN EN 12831-1. Výpočet tepelných ztrát proběhl jak pro variantu se zateplením, tak pro variantu bez zateplení. Lze tak porovnat jaké množství tepla jde ušetřit zlepšením tepelných vlastností obálky budovy a zda se taková investice vyplatí.

Na závěr práce byly navrženy konkrétní tepelné zdroje. Seznámení s jejich technickými parametry, investiční a provozní náročností. Mezi navržené tepelné zdroje patří tepelné čerpadlo vzduch/voda, kondenzační kotel a zplyňovací kotel.

Po zvážení veškerých získaných informací je nejvhodnějším řešením kondenzační kotel Baxi Nuvola Duo-tec+ 16GA v kombinaci s tepelnou izolací. Kondenzační kotel využívá zemního plynu, jenž má již v budově hotové rozvody. Investiční náklady s variantou se zplyňovacím kotlem jsou velmi podobné. Proto je rozhodujícím faktorem komfort při zajišťování paliva. Při využití kondenzačního kotle odpadají nároky na skladování a manipulaci s palivem. Zároveň zplyňovací kotel není příliš intuitivní při obsluze. Tepelné čerpadlo má příliš vysoké investiční náklady.

Rozhodování mezi variantou se zateplením nebo bez bylo přímočaré. Izolace navzdory svým vyšším investičním nákladům přináší hned několik výhod. Tepelná izolace zlepšuje tepelnou pohodu objektu díky snížení promrzání stěn domu. S novou izolací je spojená i nová fasáda domu, jenž lépe ochrání zdivo před povětrnostními podmínkami. Nemluvě o značné úspoře paliva, jenž je s izolací spojená. Dle výpočtů z předchozích kapitol lze ušetřit ročně 2 853,2 kWh tepla. Pro umožnění odvodu par byla zvolena minerální vata o tloušťce 300 mm. Minerální vata sice umožňuje prostupu par, ale má horší izolační vlastnosti oproti klasickému polystyrenu. Paropropustnost je však důležitá vlastnost, která omezuje tvorbu plísní.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] TAJBR, Stanislav. Vytápění pro 1. a 2. ročník učebního oboru instalatér. 2., upr. vyd. Praha: Sobotáles, 2003. ISBN 80-85920-96-4.
- [2] Aktuální situace na trhu s pevnými palivy pro vytápění domácností. Online. Tzbinfo. 2022. [cit. 2023-11-03]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-pevnymi-palivy/24220-aktualni-situace-na-trhu-s-pevnymi-palivy-pro-vytapeni-domacnosti>
- [3] Vytápění plynem 1. část. Online. Svépomocí.cz. 2012. [cit. 2023-11-03]. Dostupné z: <https://www.svepomoci.cz/clanek/1347-vytapeni-plynem-1-cast>.
- [4] Základní pojmy ve vytápění. Online. In: Iss-slany. 2012. [cit. 2024-02-13]. Dostupné z: https://www.isslany.cz/bezkridy/pdf/ZMAJA_VYTAPENI_12.pdf
- [5] Paliva a jejich vlastnosti. Online. In: Energetika.cvut. 2021. [cit. 2024-02-13]. Dostupné z: <https://energetika.cvut.cz/wp-content/uploads/VTK-pr4-text.pdf>
- [6] Jak vybrat kotel na tuhá paliva? Online. In: Kotelnaklic. 2024. [cit. 2024-03-25]. Dostupné z: <https://www.kotelnaklic.cz/jak-vybrat-kotel-na-tuha-paliva/>
- [7] KOLONIČNÝ, Jan; HORÁK, Jiří a PETRÁNKOVÁ ŠEVČÍKOVÁ, Silvie. Kotle malých výkonů na pevná paliva. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2542-7.
- [8] Povinná výměna starých kotlů na tuhá paliva. Online. DEK. [cit. 2024-03-25]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/akce/detail/522-povinna-vymena-starych-kotlu-na-tuha-paliva>
- [9] MURTINGER, Karel. Úsporný rodinný dům. Profi & hobby. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4559-6.
- [10] LÁZŇOVSKÝ, Miroslav; FISCHER, Petr a KUBÍN, Milan. Vytápění rodinných domků. Praha: Nakladatelství T. Malina, 1996. ISBN 80-901975-2-3.
- [11] Sdružení: Bioplyn může nahradit zemní plyn ve čtvrtině domácností. Online. Oenergetice.cz. 2021. [cit. 2024-02-14]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/sdruzeni-bioplyn-muze-nahradit-zemni-plyn-ve-ctvrtine-domacnosti>
- [12] Plynová topidla. Online. Poradenství v životním prostředí trochu jinak. 2020. [cit. 2024-03-24]. Dostupné z: https://poradme.se/index.php?title=Plynová_topidla
- [13] Vafky – vše, co jste potřebovali vědět. Online. Akoupelnyatopeni. [cit. 2024-03-24]. Dostupné z: <https://www.akoupelnyatopeni.cz/vafky-vse-co-jste-potrebovali-vedet-px369282>
- [14] Gamat 471. Online. In: Karma. 2020. [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: https://www.karma-as.cz/produkt/41_gamat-471
- [15] KARLÍK, Robert. Tepelné čerpadlo pro váš dům. Profi & hobby. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-2720-2.

- [16] MURTINGER, Karel. Úsporný rodinný dům. Profi & hobby. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4559-6
- [17] Bernold. Online. In: Baxi Nuvola Duo-tec+ 24 kondenzační kotel nástěnný 24 kW. [cit. 2024-04-02]. Dostupné z: <https://www.koupelny-bernold.cz/baxi-nuvola-duo-tec--24-kondenzacni-kotel-nastenny-24-kw/>
- [18] Která tepelná čerpadla jsou nejžádanější a proč? Online. In: Ceskestavby.cz. 2011. [cit. 2024-02-14]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky-foto/ktera-tepelna-cerpadla-jsou-nejzadanejsi-a-proc-20148.html?photo=12>
- [19] Tepelná čerpadla země/voda. Online. In: Alpha-innotec. 2019. [cit. 2024-02-14]. Dostupné z: <http://nabidky.alpha-innotec.cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda/>
- [20] Provoz a revize tepelných čerpadel. Online. In: Envigroup.cz. [cit. 2024-02-14]. Dostupné z: <https://www.envigroup.cz/provoz-a-revize-tepelnych-cerpadel-kontroly-tesnosti.html>
- [21] Vertikální systém tepelného čerpadla pro vytápění domu geotermální energií. 3D vykreslená ilustrace. Online. In: Depositphotos. 2022. [cit. 2024-02-14]. Dostupné z: <https://depositphotos.com/cz/photo/vertical-ground-source-heat-pump-system-heating-home-geothermal-energy-569186468.html>
- [22] Tepelná čerpadla vzduch-vzduch: vytápíme studeným vzduchem. Online. In: Topeni-topenari. 2018. [cit. 2024-02-14]. Dostupné z: <https://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/tepelna-cerpadla/vzduch-vzduch/>.
- [23] Tepelná izolace. Přehled, materiály a použití. Online. Stavebnictvi3000.cz. 2021. [cit. 2023-11-12]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/tepelna-izolace-velky-prehled>
- [24] ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI [CAS]. ČSN 73 0540-3, Tepelná ochrana budov-Část 3: Návrhové hodnoty veličin. Listopad 2005.
- [25] RÁKOSOVÁ OMÍTKA. Online. In: Perlík projekce. 2023. [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://www.perlikprojekce.cz/rakosova-omitka/>
- [26] Charakteristika zájmového území. Online. Portalobce. 2021. [cit. 2024-03-07]. Dostupné z: https://www.portalobce.cz/povodnovy-plan/vpa_charakteristika-zajmoveho-uzemi
- [27] CAS. ČSN 73 0540-3, Tepelná ochrana budov-Část 3: Návrhové hodnoty veličin. 2. doplněné vydání.
- [28] Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit. Online. Tzb-info. [cit. 2024-04-17]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [29] Průměrné venkovní teploty v otopném období pro vybrané lokality. Online. Tzb-info. 2017. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/26->

- prumerne-venkovni-teploty-v-otopnem-obdobi-pro-vybrane-lokality. [cit. 2024-04-05]. Princip tepelného čerpadla. Online. In: Revel. 2024. [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://www.revel-pex.com/princip-tepelneho-cerpadla.html>
- [30] Atmos. Online. DC18GD s aut. zapalováním. 2022. [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/produkt/zplynovaci-kotle-na-drevo-dokogen/dc18gd-s-automaticym-zapalovanim/>
- [31] Bernold. Online. In: Baxi Nuvola Duo-tec+ 24 kondenzační kotel nástěnný 24 kW. [cit. 2024-04-02]. Dostupné z: <https://www.koupelny-bernold.cz/baxi-nuvola-duo-tec--24-kondenzacni-kotel-nastenny-24-kw/>
- [32] BIVALENTNÍ ZAPOJENÍ TEPELNÉHO ČERPADLA S DOTOPOVÝM KOTLEM. Online. Projektuj-teplna-cerpadla. 2019. [cit. 2024-04-05]. Dostupné z: <https://www.projektuj-teplna-cerpadla.cz/cz/bivalentni-zapojeni-tepelneho-cerpadla-s-dotopovym-kotlem>
- [33] Tepelné čerpadlo Daikin Altherma 3 H MT-EPRA10EW + ETBX12E9W - 12 kW-topení/chlazení. Online. Aaradiatory. 2024. [cit. 2024-04-18]. Dostupné z: <https://www.aaradiatory.cz/tepelne-cerpadlo-daikin-altherma-3-h-mt-epra10ew-etbx12e9w-12-kw-topeni-chlazení-p29452/>
- [34] Baxi Nuvola Duo-tec+ 16 kondenzační kotel nástěnný 16 kW. Online. Koupelny-bernold. 2019. [cit. 2024-04-18]. Dostupné z: <https://www.koupelny-bernold.cz/baxi-nuvola-duo-tec--16-kondenzacni-kotel-nastenny-16-kw/>
- [35] Tepelné čerpadlo Daikin Altherma 3 M-EDLA09D3W1-výkon 9kW-pouze topení. Online. Aaradiatory. 2024. [cit. 2024-04-18]. Dostupné z: <https://www.aaradiatory.cz/tepelne-cerpadlo-daikin-altherma-3-m-edla09d3w1-vykon-9kw-pouze-topeni-p29377/>
- [36] DC15GS. Online. Atmos. [cit. 2024-04-18]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/produkt/zplynovaci-kotle-na-drevo-generator/dc15gs/>
- [37] Princip činnosti kondenzačního kotle: jak to funguje a z čeho se kondenzační kotel skládá. Online. In: Hundred-worries. 2020. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://hundred-worries.com/cs/advices/15686>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Symbol | Veličina | Jednotka |
|------------------|---|------------------------|
| ρ_{dn} | Hustota | kg/m ³ |
| c_{dn} | Měrná tepelná kapacita | J/(kg · K) |
| $\theta_{e,m}$ | Průměrná venkovní teplota vzduchu | °C |
| d | Tloušťka stavební části | m |
| U | Součinitel prostupu tepla stavební části | W/(m ² · K) |
| A_{ie} | Plocha sousedící s exteriérem | m ² |
| A_{ia} | Plocha sousedící s interiérem | m ² |
| $\Phi_{HL,BE}$ | Návrhový tepelný výkon funkční části budovy. | W |
| $\Phi_{T,ie}$ | Tepelné ztráty přestupem do venkovního prostoru. | W |
| $\Phi_{T,iae}$ | Tepelné ztráty přestupem do nevytápěného prostoru. | W |
| $\Phi_{T,iaBE}$ | Tepelné ztráty přestupem do vytápěného prostoru. | W |
| $\Phi_{T,ig}$ | Tepelné ztráty přestupem do zeminy. | W |
| $\Phi_{V,BE}$ | Tepelné ztráty větráním. | W |
| $\Phi_{hu,i}$ | Součet zátopných tepelných výkonů. | W |
| $\Phi_{gain,i}$ | Součet trvalých tepelných zisků, které se vyskytují současně při venkovních výpočtových podmínkách. | W |
| $\Phi_{T,i}$ | Návrhový tepelný výkon funkční části budovy. | W |
| $H_{T,ie}$ | Měrný tepelný tok z vytápěného prostoru do venkovního prostředí. | W/K |
| $H_{T,ia}$ | Měrný tepelný tok do sousedních vytápěných prostor. | W/K |
| $H_{T,iae}$ | Měrný tepelný tok do venkovního prostředí přes nevytápěné prostory. | W/K |
| $H_{T,ig}$ | Měrný tepelný tok z vytápěného prostoru do zeminy. | W/K |
| $\theta_{int,i}$ | Vnitřní návrhová teplota. | °C |
| θ_e | Venkovní návrhová teplota. | °C |
| $\Phi_{HL,BE}$ | Návrhový tepelný výkon funkční části budovy. | W |
| $\Phi_{T,ie}$ | Tepelné ztráty přestupem do venkovního prostoru. | W |
| $\Phi_{T,iae}$ | Tepelné ztráty přestupem do nevytápěného prostoru. | W |
| $\Phi_{T,iaBE}$ | Tepelné ztráty přestupem do vytápěného prostoru. | W |
| $\Phi_{T,ig}$ | Tepelné ztráty přestupem do zeminy. | W |
| $\Phi_{V,BE}$ | Tepelné ztráty větráním. | W |
| $\Phi_{hu,i}$ | Součet zátopných tepelných výkonů. | W |

| | | |
|------------------|---|------------------------|
| $\Phi_{gain,i}$ | Součet trvalých tepelných zisků, které se vyskytují současně při venkovních výpočtových podmínkách. | W |
| $\Phi_{T,i}$ | Návrhový tepelný výkon funkční části budovy. | W |
| $H_{T,ie}$ | Měrný tepelný tok z vytápěného prostoru do venkovního prostředí. | W/K |
| $H_{T,ia}$ | Měrný tepelný tok do sousedních vytápěných prostor. | W/K |
| $H_{T,iae}$ | Měrný tepelný tok do venkovního prostředí přes nevytápěné prostory. | W/K |
| $H_{T,ig}$ | Měrný tepelný tok z vytápěného prostoru do zeminy. | W/K |
| $\theta_{int,i}$ | Vnitřní návrhová teplota. | °C |
| A_k | Plocha stavební částí. | m ² |
| U_k | Součinitel prostupu tepla stavební částí. | W/(m ² · K) |
| ΔU_{TB} | Přirážka na vliv tepelných vazeb (tepelné mosty). | W/(m ² · K) |
| $U_{equiv,k}$ | Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební částí v kontaktu se zeminou. | W/(m ² · K) |
| $f_{U,k}$ | Opravný součinitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování U – hodnot. | – |
| $f_{ie,k}$ | Teplotní opravný činitel. | – |
| $f_{ia,k}$ | Teplotní opravný činitel. | – |
| $f_{ig,k}$ | Teplotní opravný činitel. | – |
| $f_{GW,k}$ | Opravný činitel zohledňující vliv spodní vody. | – |
| $f_{ix,k}$ | Teplotní opravný činitel. | – |
| f_1 | Opravný činitel zohledňující rozdíl mezi teplotou sousedního prostředí nebo prostoru. | – |
| f_2 | Opravný činitel zohledňující rozdíl mezi vnitřní výpočtovou teplotou. | – |
| $\theta_{int,i}$ | Vnitřní výpočtová teplota. | °C |
| θ_x | Teplota sousedního prostoru nebo prostředí. | °C |
| $\theta_{int,k}$ | Průměrná vnitřní povrchová teplota stavební částí. | °C |
| R | Tepelný stavební částí. | m ² · K/W |
| d | Tloušťka stavební částí. | m |
| λ | Součinitel tepelné vodivosti stavební částí. | W/(m · K) |
| ρ | Hustota vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě. | kg/m ³ |
| c_p | Měrná tepelná kapacita při vnitřní výpočtové teplotě. | Wh/(kg · K) |
| $q_{v,min,i}$ | Minimální objemový průtok vzduchu místností. | m ³ /h |
| $q_{v,inf,i}$ | Objemový tok vzduchu infiltrací | m ³ /h |

| | | |
|-----------------|--|-----------------------|
| q_i | Objemový tok vzduchu. | m^3/h |
| V_i | Objem vytápěného prostoru. | m^3 |
| n_{min} | Minimální intenzita výměny venkovního vzduchu. | h^{-1} |
| n_{50} | Intenzita větrání při rozdílu tlaku 50 Pa. | h^{-1} |
| e_i | Součinitel ochrany budovy proti větru. | — |
| ε_i | Výškový korekční faktor. | — |

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1 Prohořivací kotel [6]
- Obr. 2 Odhořivací kotel [6]
- Obr. 3 Zplyňovací kotel [6]
- Obr. 4 Kondenzační kotel [37]
- Obr. 5 Plynové topidlo WAW [14]
- Obr. 6 Princip fungování tepelného čerpadla [17]
- Obr. 7 Tepelné čerpadlo vzduch/voda [18]
- Obr. 8 Tepelné čerpadlo země/voda s horizontálním kolektorem [19]
- Obr. 9 Tepelné čerpadlo země/voda s vertikálním kolektorem [20]
- Obr. 10 Tepelné čerpadlo voda/voda [21]
- Obr. 11 Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch [22]
- Obr. 12 Zpracováváný rodinný dům
- Obr. 13: Rákosová omítka [25]
- Obr. 14 Skladba stavebních částí
- Obr. 15 Půdorys objektu
- Obr. 16 Velké Pavlovice [26]
- Obr. 17 Zobrazení tepelných toků
- Obr. 18 Porovnání potřeby tepla pro variantu se zateplením a bez zateplení
- Obr. 19 Zplyňovací kotel DC18GD s aut. zapalováním [30]
- Obr. 20 Kondenzační kotel Baxi Nuvola Duo-tec+ 24 [31]
- Obr. 21 Tepelné čerpadlo Daikin Altherma 3 H MT-EPRA10EW + ETBX12E9W [33]
- Obr. 22 Porovnání jednotlivých investičních nákladů
- Obr. 23 Porovnání provozních nákladů
- Obr. 24 Vývoj provozních nákladů varianty bez zateplení
- Obr. 25 Vývoj provozních nákladů varianty se zateplením
- Obr. 26 Návrh návratnosti jednotlivých řešení

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tab. 1 Fyzikální vlastnosti kapalných paliv [4] [5] [1] | 13 |
| Tab. 2 Fyzikální vlastnosti tuhých paliv [4] [5] [1]..... | 13 |
| Tab. 3 Fyzikální vlastnosti plynných paliv [4] [5] [1] | 13 |
| Tab. 4 Rozdělení kotlů podle teploty spalin [9] [10]..... | 17 |
| Tab. 5 Fyzikální vlastnosti izolačních materiálů [24] | 24 |
| Tab. 6 Klimatické podmínky [27] [28]..... | 30 |
| Tab. 7 Vstupní údaje do vzorového výpočtu koupelny..... | 31 |
| Tab. 8 Návrhové tepelné ztráty prostupem bez izolace..... | 37 |
| Tab. 9 Návrhové tepelné ztráty prostupem s izolací..... | 37 |
| Tab. 10 Celkové návrhové tepelné ztráty | 37 |
| Tab. 11 Průměrná teplota venkovního vzduchu během otopného období [29]. | 38 |
| Tab. 12 Potřeba tepla pro jednotlivé měsíce v otopném období..... | 38 |
| Tab. 13 Technické parametry DC18GD s aut. zapalováním [30]..... | 40 |
| Tab. 14 Technické parametry DC15GS [36] | 40 |
| Tab. 15 Technické parametry Baxi Nuvola Duo-tec+ 24GA [31] | 41 |
| Tab. 16 Technické parametry Baxi Nuvola Duo-tec+ 16GA [34] | 42 |
| Tab. 17 Technické parametry Daikin Altherma 3 H MT-EPRA10EW + ETBX12E9W [33] | 43 |
| Tab. 18 Technické parametry Daikin Altherma 3 M-EDLA09D3W1 [35] | 43 |
| Tab. 19 Investiční náklady pro variantu bez zateplení | 44 |
| Tab. 20 Investiční náklady pro variantu se zateplením | 45 |