



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

KOMPLEXNÍ HODNOCENÍ TEPELNĚ TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ STAVEBNÍ KONSTRUKCE A ZDROJE TEPLA/CHLADU PRO RODINNÝ DŮM

COMPLEX EVALUATION OF THE THERMO-TECHNICAL PROPERTIES OF THE BUILDING
STRUCTURE AND HEAT / COLD SOURCES FOR FAMILY HOUSES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Bára Šalšová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Studentka: **Bc. Bára Šalšová**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Energetické inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Pospíšil, 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 diplomové práce:

Komplexní hodnocení tepelně technických vlastností stavební konstrukce a zdroje tepla/chladu pro rodinný dům

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na komplexní technicko – ekonomické posouzení snižování energetické náročnosti objektů a tomu odpovídající volby vhodných zdrojů tepla a zdrojů chladu. Za tímto účelem bude na zvoleném objektu hodnoceno několik variant tepelně technických opatření vedoucích ke snížení spotřeby tepla. Každá varianta bude spojena s návrhem odpovídajícího zdroje tepla řešeného kombinací tepelného čerpadla a bivalentního elektrokotle. Výsledné porovnání umožní formulovat závěry pro ekonomicky optimální návrh zajištění zásobování objektu teplem a chladem.

Cíle diplomové práce:

1. Popis možných opatření pro snížení tepelných ztrát RD.
2. Popis provozních charakteristik vybraných zdrojů tepla a chladu pro RD.
3. Pro zvolený objekt navrhnout funkční kombinace opatření ke snížení tepelných ztrát a parametrů zdroje tepla a chladu.
4. Realizovat technicko – ekonomické posouzení hodnocených variant a vyhodnotit investičně optimální variantu.

Seznam doporučené literatury:

PAVELEK, Milan. Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-8--214-4300-6.

SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. Tepelná čerpadla. Praha: EkoWATT, 2009, 71 s. : il., mapy. ISBN 978-80-87333-02-0.

Termín odevzdání diplomové 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

Diplomová práce se zabývá celkovým snižováním energetické náročnosti rodinného domu pomocí snížení tepelných ztrát současně s výběrem vhodného zdroje tepla a chladu. Nejdříve jsou popsány druhy tepelných ztrát a způsoby, jak efektivně tepelné ztráty zmenšit. Přiblíženy jsou zde kontaktní zateplovací systémy, které jsou v současnosti hojně používány, a také jsou čtenáři pro zajímavost seznámeni s novějšími materiály, jejichž využití ovšem není příliš časté. V následujících kapitolách jsou popsány charakteristiky vybraných zdrojů tepla a chladu. Výpočtová část obsahuje postup výpočtu roční dodané energie pro vybraný rodinný dům. V další části jsou navrženy tři varianty zateplení a ke každé z nich je vybrán odpovídající zdroj tepla a chladu řešený tepelných čerpadlem v bivalentním provozu. V závěru jsou varianty porovnány z hlediska ekonomického i technického a je vybrána nejvhodnější z nich.

Klíčová slova

Tepelné ztráty, roční dodaná energie, tepelné čerpadlo, návratnost investic, bivalentní provoz

ABSTRACT

The diploma thesis deals with overall reduction of energy use in the family house by reducing heat loss and selecting heat and cold source. In the first part are described different types of heat loss along with ways to effectively reduce each loss. Contact insulation systems are further more described, because of being used more often. Newer materials are also presented to readers, although their use is less common. The next chapters describe the parameters of choosed heat and cold sources. The calculating part describes process of annual power usage calculation. Further there are three designs of thermal insulation proposed and for each one the appropriate heat and cold source is selected, using heat pump with bivalent operation for all designs. Finally these options are compared in an economic and technical way and the most advantageous of them is determined.

Key words

Heat loss, annual power usage, heat pump, return of investment, bivalent operation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠALŠOVÁ, Bára. *Komplexní hodnocení tepelně technických vlastností stavební konstrukce a zdroje tepla/chladu pro rodinný dům* [online]. Brno, 2020, 80 s. [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124449>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jiří Pospíšil.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Komplexní hodnocení tepelně technických vlastností stavební konstrukce a zdroje tepla/chladu pro rodinný dům vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za odborné rady a umožnění zpracování tohoto tématu. A také Ing. Milanu Malíkovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 Tepelné ztráty a jejich snižování	13
1.1 Typologie rodinných domů dle období výstavby	14
1.2 Tepelné ztráty stěnami	15
1.2.1 <i>Bezkontaktní zateplovací systém</i>	18
1.2.2 <i>Kontaktní zateplovací systém</i>	19
1.3 Tepelné ztráty střechou	22
1.4 Tepelné ztráty okny a dveřmi	24
2 Vybrané zdroje tepla a chladu pro RD	27
2.1 Plynové kotle	27
2.1.1 <i>Dimenzování plynového kotle</i>	28
2.2 Tepelná čerpadla	30
2.2.1 <i>Životnost TČ</i>	30
2.2.2 <i>Princip tepelných čerpadel</i>	30
2.2.3 <i>Topný a chladicí faktor</i>	32
2.2.4 <i>Dimenzování TČ</i>	36
2.3 Elektrický bivalentní zdroj.....	39
2.4 Otopná a chladicí soustava s TČ.....	39
2.4.1 <i>Podlahový systém vytápění/chlazení</i>	39
2.4.2 <i>Stropní a stěnové vytápění a chlazení</i>	40
2.4.3 <i>Ventilátorové konvektory</i>	40
2.4.4 <i>Vysokoteplotní otopná soustava v rekonstruovaných objektech</i>	40
3 Výpočet energetické náročnosti vybraného RD	41
3.1 Popis objektu.....	41
3.2 Roční dodaná energie na vytápění	43
3.3 Roční dodaná energie na přípravu teplé vody.....	48
3.4 Roční dodaná energie na chlazení.....	50
3.5 Roční dodaná energie na osvětlení a spotřebiče	51
3.6 Celková roční dodaná energie.....	53
4 Kombinace a porovnání tepelně-izolačních opatření spolu s navrženým zdrojem tepla a chladu.....	55
4.1 Porovnání variant z hlediska obálky budovy	57
4.2 Porovnání variant z hlediska návržení zdroje tepla a chladu.....	60
4.3 Celkové ekonomicko-technické vyhodnocení	64
ZÁVĚR.....	66
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	68
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	72

SEZNAM OBRÁZKŮ	77
SEZNAM TABULEK.....	78
SEZNAM PŘÍLOH.....	79

ÚVOD

Již několik desítek let můžeme vidět zvyšující se počet zateplených budov, při jejichž realizaci je cílem snížení tepelných ztrát. Vzhledem k těžko předvídatelnému vývoji cen paliv na trhu je toto rozumný způsob, jak snížit vliv kolísajících cen paliv na náklady spojené s jejich nákupem. Současně si majitelé nemovitostí stále více uvědomují, že při vysoké spotřebě paliva na vytápění a používání zastaralých zdrojů tepla s vysokými emisemi působíme značně negativně na životní prostředí. Proto vidíme také snahu o vyhledávání účinnějších a ekologicky šetrnějších zdrojů tepla.

Ke snížení tepelných ztrát vedou stavební opatření související se zateplením obvodových stěn, střechy, podlahy a výměna otvorových výplní. Jakým způsobem je vhodné objekt zateplit je rozebráno v první části této diplomové práce. Na trhu také existuje nepřehledné množství materiálů v různých tloušťkách a s odlišnými charakteristickými tepelně izolačními parametry. Některé materiály jsou nám známy již od počátků historie zateplování, ale v průběhu let byla snaha o vývoj nových materiálů s lepšími tepelně izolačními vlastnostmi. Několik těchto izolantů nové generace je popsáno v dalších kapitolách práce, ovšem jejich využití je velmi malé z důvodu prozatím velmi vysoké pořizovací ceny. V praktické části této práce je proto uvažováno s klasickými polystyrenovými a minerálními izolačními materiály, které jsou léty prověřené a cenově dostupné. Použitím rozdílného rozložení izolačních materiálů v odlišných tloušťkách, v kombinaci s výměnou otvorových výplní jsou navrženy 3 varianty. Při investování v oblasti zateplování objektů finančně přispívá dotační program vypsaný Ministerstvem životního prostředí „Nová zelená úsporám“. Všechny varianty zateplení navržené v této diplomové práci odpovídají požadavkům pro získání podpory z tohoto programu v různých cenových třídách.

Z hlediska ekonomického by veškerá provedená opatření měla splňovat finanční návratnost, která je smysluplná pouze v případě, pokud není vyšší než životnost provedených změn stavebních konstrukcí či nového zdroje tepla. Různé varianty zateplení v kombinaci s odlišnými typy zdrojů tepla mohou mít rozdílnou návratnost, a proto ve výpočtové části věnujeme pozornost tomu, aby kombinace opatření byla co nejvíce ekonomicky efektivní a počáteční náklady co nejdříve vyrovnaly úspory za cenu dodané energie na vytápění a ohřev teplé vody.

Ruku v ruce s úsporou energie na vytápění jde správným způsobem dimenzovaný zdroj tepla. Pro rodinný dům v této diplomové práci byla vybrána tepelná čerpadla vzduch/voda s bivalentním elektrickým ohřivačem pro pokrytí špičkových tepelných ztrát. Procentuální pokrytí tepelných ztrát TČ a bivalentním zdrojem v časovém úseku jednoho roku je zásadním ukazatelem pro návrh TČ. Ve výpočtové části je tedy kladen důraz na volbu správné velikosti TČ s ohledem na tepelné ztráty jednotlivých variant zateplení.

S příchodem stále teplejších letních měsíců je třeba myslet také na chlazení vnitřních prostor budovy. Některá tepelná čerpadla jsou schopna v reverzním chodu klimatizovat interiér budovy a jestliže plánujeme použít TČ jako nový zdroj tepla, pokusíme se vybrat takové, u kterého je možnost přepnutí do chladicího režimu. Sloučením zdroje tepla a chladu do jednoho zařízení můžeme snížit celkovou počáteční investici. Výsledkem této diplomové práce je posouzení vhodnosti spojení těchto dvou systémů a následné využití u navrhovaných variant zateplení z hlediska ekonomické návratnosti.

1 Tepelné ztráty a jejich snižování

Tepelnými ztrátami objektu rozumíme tepelný tok, který uniká z objektu prostupem tepla skrz neprůsvitné konstrukce, zářením skrz průsvitné konstrukce a větráním. Tato hodnota je vždy počítána pro extrémní podmínky, které se podle umístění objektu pohybují v České republice v rozmezí mezi -12 až -18 °C [1].

Přesné stanovení tepelných ztrát objektu je odrazovým můstkem pro stanovení potřebného výkonu zdroje tepla. Při správném dimenzování zdroje dosáhneme vysoké účinnosti, a to je předpoklad vedoucí i k jistým investičním úsporám při pořizování i provozu zdroje.

Tepelné ztráty objektu vznikají prostupem konstrukcí tvořící obálku budovy (střecha, stěny, podlaha), prostupem a zářením otvorových výplní a větráním. Použitím tepelných izolací a otvorových výplní s dobrými tepelně izolačními vlastnostmi jsme schopni tepelné ztráty snížit. Obdobně se chová obálka budovy i v letních měsících, kdy se snažíme zabránit přehřívání interiéru. Při použití vhodných prosklení otvorových výplní a silnějších vrstev tepelně izolačních materiálů dosáhneme nižších tepelných zisků z exteriéru. Grafické znázornění velikostí těchto tepelných ztrát a zisků je zřejmé z Obr. 1.

Diplomová práce je zaměřena na snížení tepelných ztrát již existujícího objektu, proto v následující podkapitole bude stručně uvedeno, s jakými materiály se můžeme u starších rodinných domů setkat, a v dalších podkapitolách budou uvedena možná opatření, která lze na objektu provést.



Obr. 1 – Schéma tepelných ztrát [2]

1.1 Typologie rodinných domů dle období výstavby

V průběhu let se požadavky na výstavbu rodinných domů upravovaly a měnily. Ukazatelem vhodně zvolených materiálů byla dříve pouze tepelná pohoda obyvatel objektu a spotřeba energie pro vytápění. Před několika desítkami let nebylo vyžadováno po stavebníkovi, aby dokončená stavba měla určité tepelně-technické parametry. Při výběru materiálu se přihlíželo k současným trendům, které se odvíjely od dostupných a osvědčených materiálů. V dalších letech byl výběr materiálů ovlivněn také ekonomickou a politickou situací a v posledních několika desetiletích jsou požadavky na výstavbu rodinných domů upravovány zákony a normami.

Typové konstrukce obálky budovy dle tepelně-technického hlediska se dají rozdělit do časových kategorií, které jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 1 – Typy konstrukcí dle časového období pro samostatně stojící rodinný dům [3]

Časové období	Strop/střecha	Stěna	Podlaha
Do roku 1920	Dřevěný trámový s dřevěným záklopem a škvárovým násypem	CPP 600 mm	Dusaná podlaha
U [W/m ² K]	0,88	1,1	3,23
1921–1945	Dřevěný trámový s dřevěným záklopem a tepelnou izolací Heraklit	CPP 450 mm	Betonové desky tenká vrstva izolace
U [W/m ² K]	1,25	1,36	1,03
1946–1960	Dřevěný trámový s dřevěným záklopem a tepelnou izolací Heraklit	CPP 450 mm	Betonové desky tenká vrstva izolace
U [W/m ² K]	1,25	1,36	1,03
1961–1980	Plynosilikátové desky 150 mm cementový potěr	Lehký dílec z křemeliny 400 mm	ŽB desky 200 mm
U [W/m ² K]	0,85	1,2	1,28
1981–1994	Stropní panely 19 mm izolace 100 mm	Cihla děrovaná 400 mm	ŽB desky izolace 25 mm cementový potěr
U [W/m ² K]	0,35	0,5	1,1
Od roku 1994	ŽB střecha s izolací 160 mm	Děrované cihelné bloky izolace 120 mm	ŽB desky 200 mm EPS 60 mm betonový potěr
U [W/m ² K]	0,23	0,25	0,52

Tabulka 2 – Typy otvorových výplní dle časového období pro rodinný dům [3]

Časové období	Okna	Dveře
Do roku 1920	Dřevěné dvojité	Dřevěné plné
U [W/m ² K]	2,4	3,5
1921 – 1945	Dřevěné dvojité	Dřevěné plné
U [W/m ² K]	2,4	3,5
1946 – 1960	Dřevěné dvojité	Dřevěné s jednoduchým zasklením
U [W/m ² K]	2,4	4,0
1961 – 1980	Dřevěné zdvojené	Dřevěné s jednoduchým zasklením
U [W/m ² K]	2,7	4,7
1981 – 1994	Izolační dvojsklo	Dřevěné plné
U [W/m ² K]	1,5	3,5
Od roku 1994	Izolační dvojsklo	Izolované dveře
U [W/m ² K]	1,5	2

Pro každou typovou konstrukci je v tabulce 1 a tabulce 2 uvedena hodnota součinitele prostupu tepla U , který udává, kolik tepla unikne konstrukcí o ploše 1m² při rozdílu teplot jejích povrchů 1 K [4]. Při výběru stavebního materiálu je tedy snaha o použití materiálu s co nejnižším součinitelem prostupu tepla kvůli minimalizování tepelných ztrát.

Obdobně by se daly kategorizovat obálky bytových staveb nebo řadových domů, ale pro účely této diplomové práce postačí povědomí o samostatně stojících rodinných domech.

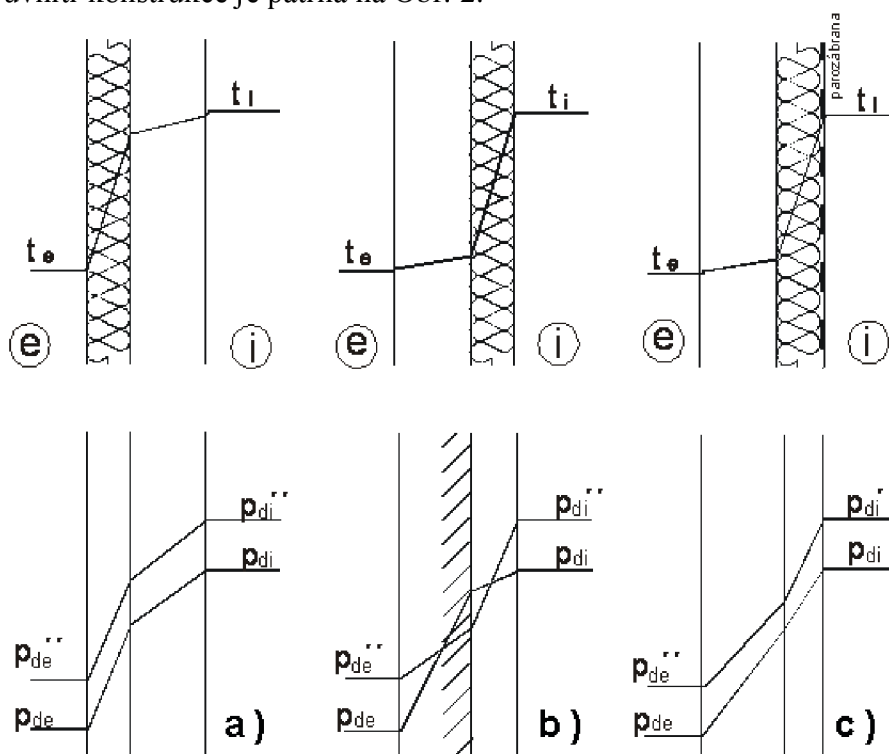
Ve výpočtové části této práce pracujeme s rodinným domem postaveným v roce 1972. Stěny jsou z děrovaných cihel 375 mm, střecha v provedení Hurdis. Dle předchozí tabulky konstrukce částečně odpovídají předpokladům. Součinitel prostupu tepla obvodové stěny i střechy modelového domu vyšel dle výpočtu v kapitole 3.2.2 přibližně o 2 desetiny vyšší. Výplně otvorů jsou po nedávné výměně. Okna jsou v současnosti plastová s izolačním dvojsklem, jejich součinitel prostupu tepla je ve výpočtu uvažován 1,5 W/m²K dle tabulky 2.

1.2 Tepelné ztráty stěnami

Tepelné ztráty stěnami tvoří u rodinných domů 20–25 %. Pro snížení tohoto typu ztrát se používají tepelně-izolační materiály, které se vyznačují nízkou hodnotou součinitele tepelné vodivosti λ [W/mK]. Maximální hodnota součinitele tepelné vodivosti těchto materiálů by měla dosahovat 0,1 W/mK při referenčních podmínkách teplotních a vlhkostních [5]. Součinitel tepelné vodivosti je schopnost stejnorodého, izotropního materiálu při dané střední teplotě vést teplo. Běžně se hodnota tohoto součinitele pohybuje u tepelných izolací v rozmezí 0,031 – 0,044 [W/mK] [4].

Součinitel tepelné vodivosti je závislý na vnějších faktorech, jako jsou vlhkost a teplota. V praxi rozlišujeme dvě různé hodnoty součinitele tepelné vodivosti. Je to hodnota součinitele tepelné vodivosti deklarovaná λ_D a výpočtová λ_u . V technických listech tepelných izolací najdeme hodnotu deklarovanou. Tato hodnota je stanovena výrobcem za přesně definovaných vnějších podmínek. Při výpočtu je třeba u nasákových tepelných izolací, jako je EPS nebo minerální vata, tuto hodnotu zvýšit o 3-5 % pro polystyreny a 7-10 % pro minerální vaty, protože vlhkost obsažená v materiálu zhoršuje jeho tepelně-izolační vlastnosti.

Zateplení obvodových stěn lze provést jako vnitřní zateplení nebo vnější. Vnitřní zateplení se z důvodu náročného provedení, častého výskytu tepelných mostů a problémům s kondenzací vodních par a následnému výskytu plísní téměř nerealizuje. Příčinou kondenzace vzdušných par uvnitř konstrukce je patrná na Obr. 2.



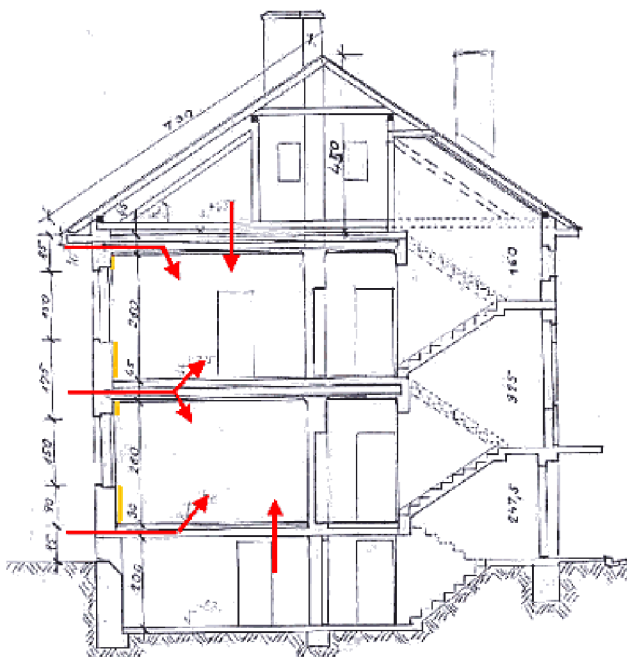
a) Vnější zateplení; b) Vnitřní zateplení; c) Vnitřní zateplení s parozábranou

Obr. 2 – Průběhy teplot a parciálních tlaků vzdušných par [6]

Při použití vnitřního zateplení se v zimním období dostávají nízké teploty blíže vnitřnímu prostředí. Důsledkem je podkročení rosného bodu vzdušných par, tedy kondenzace vlhkosti ze vzduchu. Tento jev je ukázán ve spodní části obrázku 2 b). Zde je vidět, jak parciální tlak vodních par p_a překročil parciální tlak vodních par při nasycení $p_{a''}$. Následná kondenzace způsobuje zvýšení vlhkosti jak původní konstrukce, tak i tepelné izolace. To vede ke zhoršení tepelně izolačních vlastností zateplovacího materiálu a ve většině případů také ke vzniku plísní, které jsou nežádoucí pro obyvatele vnitřních prostor. Při dlouhodobě trvající kondenzaci může být narušení konstrukce v tak velké míře, že dojde k jejímu statickému narušení. Možným opatřením ke snížení rizika kondenzace vzdušných par je instalování parozábrany. Jedná se o folii, která zabraňuje průniku vlhkosti z interiéru do konstrukce a následně do exteriéru. [7]

Pokud přejdeme k druhé nevýhodě vnitřního zateplení, kterou jsou tepelné mosty, nejčastěji se vyskytují v místech, kde není možné řádně zevnitř zateplit. Například v místě, kde je umístěna podlaha mezi patry, jako je znázorněno na Obr. 3.

Tepelným mostem rozumíme místo ve stavbě kudy uniká více tepla z interiéru do exteriéru v porovnání se zbytkem konstrukce [8]. V takovýchto místech dochází k bodovému prochladnutí konstrukce blízko interiéru a tím může být způsobena kondenzace vodních par.



Obr. 3 – Tepelné mosty při vnitřním zateplení [9]

Dalším aspektem, který je třeba zhodnotit při použití vnitřního zateplení je schopnost konstrukce akumulovat teplo. Při použití vnitřního zateplení nejsou konstrukce schopny naakumulovat teplo z vnitřního prostředí. Je to způsobeno nízkou tepelnou kapacitou tepelných izolací. Pokud tedy dojde k odstavení zdroje tepla, místnosti velmi rychle vychladnou. Je proto třeba nepřerušovaný systém vytápění. Oproti tomu trvá ale kratší dobu místnosti vytopit. Tato vlastnost by mohla být užitečná pro krátkodobě obývané prostory v rekreačních objektech, kde není nutno udržovat vyšší teplotu během celého dne. [7]

Z předcházejících důvodů vyplývá, že vnitřní zateplení má mnoho slabých míst, a proto se téměř nevyskytuje. Nachází uplatnění pouze u historických budov, u kterých nelze provést vnější zateplení z důvodu historicky nenahraditelné obálky budovy. Dále se budeme tedy zajímat pouze o zateplení vnější, které bude využito i ve výpočtové části této diplomové práce.

Pro vnější zateplování objektu existuje na současném trhu velké množství materiálů a způsobů zateplení.

Dle provedení se zateplení dělí na:

- **kontaktní**
- **bezkontaktní**

Materiály používané jako tepelné izolace jsou z následujících skupin [10]:

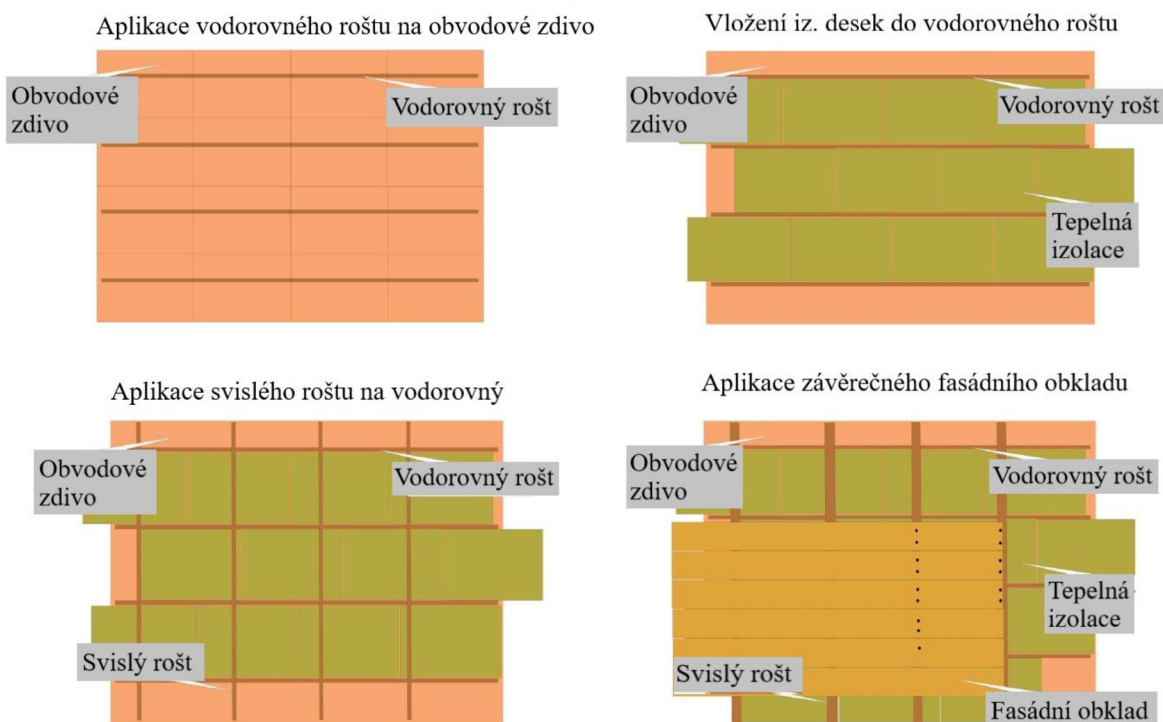
- **minerální**
- **pěnové**
- **organické**

Důležité pro efektivní a ekonomicky návratné zateplení budovy je vybrat vhodný materiál pro danou konstrukci.

1.2.1 Bezkontaktní zateplovací systém

Jedná se o systém zateplení, pro který je charakteristická provětrávaná vzduchová mezera. Na obvodovou stěnu je připevněn dřevěný laťový nebo hliníkový rošt, do kterého je vsazen izolant. Nejčastěji používané izolační materiály pro bezkontaktní systémy jsou minerální vata, polyuretan, celulóza či ovčí vlna. Další vrstvou je provětrávaná mezera, která je vymezena kontralatěmi. Tloušťka této vzduchové mezery by měla být řádně spočítána a přizpůsobena velikosti odvětrávaného úseku, aby byl zajištěn dostatečný odvod vlhkosti. Jako obkladový materiál se v současné době používají cementovláknité desky, dřevěné, kamenné nebo keramické obklady, či lamelové fasády.

Bezkontaktní zateplovací systém je tzv. difuzně otevřený, což znamená, že díky vzduchové mezeře dobře odvádí vlhkost z interiéru a nehrozí kondenzace vzdušné vlhkosti. Tyto systémy zateplení jsou tedy vhodné pro zateplení budov s vysokou vnitřní vlhkostí. [11, 12]. Obr. 4 znázorňuje postup při aplikaci bezkontaktního zateplení.



Obr. 4 – Skladba bezkontaktního zateplovacího systému [13]

Nevýhodou bezkontaktních zateplovacích systémů je náročnější technické provedení, což vede k vysokým pořizovacím nákladům.

1.2.2 Kontaktní zateplovací systém

Kontaktní zateplovací systém označovaný zkratkou KZS je v současné době nejpoužívanějším způsobem zateplování při snižování energetické náročnosti budov. Tepelný izolant je přilepen na povrch obvodového pláště a ukotven hmoždinkami. Takto provedená izolace obvodového pláště tvoří nepropustnou vrstvu pro vodní páry. Z tohoto důvodu je KZS vhodný pouze pro budovy s nižší vnitřní vlhkostí a před provedením zateplení je třeba, aby byl zkontrolován stav podkladového zdiva a v případě zjištění špatného stavu konstrukce byly provedeny sanační práce. [14]

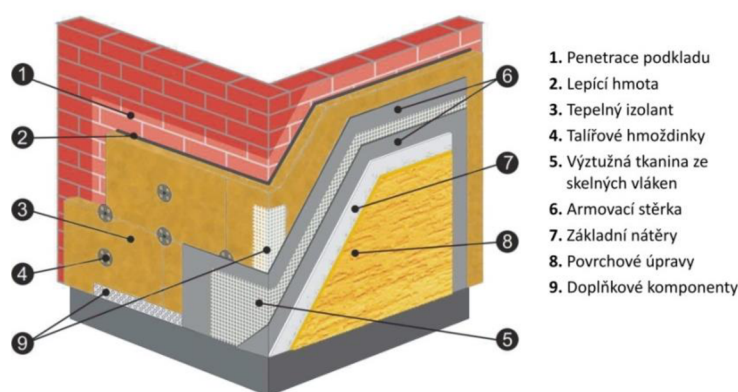
Tepelně izolační materiály jako bílý EPS, minerální vata apod. jsou již samostatně popsány v mnoha diplomových i bakalářských pracích. U kontaktního zateplovacího systému bych se tedy ráda dále zmínila o systému ETICS a dalších novějších materiálech, které se v posledních letech dostávají na trh.

ETICS

Systémy ETICS (external thermal insulation composite system) jsou vnější kontaktní zateplovací systémy, jejichž tepelné vlastnosti jsou deklarovány pro celkový systém složený z určitých komponent, které jsou vybrány dodavatelem. Systém se skládá z lepicí hmoty, tepelné izolace, kotvicích prvků, základní vrstvy a vnější povrchové úpravy [13].

Jako tepelně izolační materiál může sloužit téměř jakýkoli tuhý tepelný izolant. Většinou se setkáváme s expandovaným polystyrenem EPS, šedým polystyrenem s přidáním grafitu, či deskami z minerálních vláken.

Příkladem ETICS je systém od dodavatele Weber – Weber therm standard. Tento kompozitní systém se skládá z penetračního nátěru, tmelu webertmel 700, jako izolant je v našem případě použit Isover EPS Greywall o různých tloušťkách. Další vrstvou je výztužná síť webertherm 117 s tmelem webertmel 700. Jako poslední vrstva je použita silikonová omítka weberpas silikon, pod kterou je aplikován penetrační nátěr weberpas podklad UNI.



Obr. 5 – Skladba systému ETICS [15]

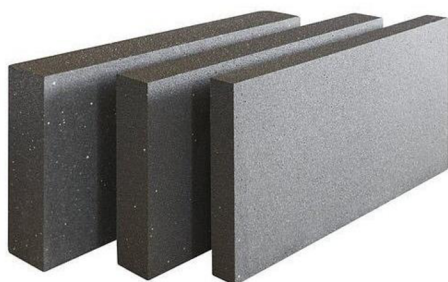
Šedý polystyren

Nejčastěji používaným izolačním materiálem je expandovaný polystyren EPS. Tento polystyren je využívám hlavně kvůli nízké ceně a snadné instalaci. Je všeobecně známo, že s rostoucí tloušťkou izolace se zvyšuje i tepelný odpor. V některých případech není ovšem

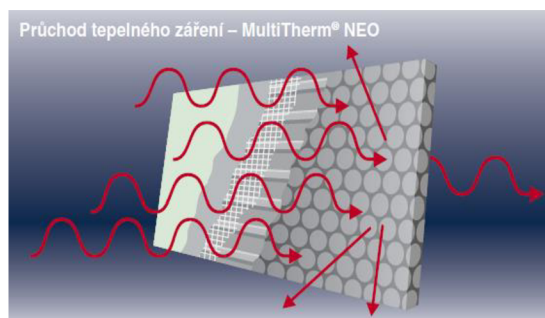
možné z technického hlediska použít tlustší izolaci, a proto bylo třeba najít způsob, jak dosáhnout stejných hodnot tepelného odporu bez navyšování tloušťky.

Z experimentálních měření vyplynulo, že součinitel tepelné vodivosti klesá se zvyšující se hustotou materiálové struktury. Tato skutečnost je způsobena tím, že v látce probíhá přenos tepla sáláním. Molekuly uchycené ve struktuře polystyrenu fungují přirozeně jako pohlcovači tepelného záření. Pokud jejich hustotu zvýšíme, vytvoříme tak pro tepelné záření bariéru, která absorbuje více tepelného záření. Polystyreny s vyšší hustotou jsou tedy jednou z variant, jak dosáhnout stejného tepelného odporu při menších tloušťkách, ovšem tato varianta je značně finančně nevýhodná. [16]

Lepším způsobem se ukázalo být vložení uhlíkových nanočástic do struktury polystyrenu. Velmi jemně namleté částice grafitu jsou rovnoměrně rozprostřeny ve struktuře materiálu ve vzdálenosti pod 10 μm a tím zabraňují průchodu dlouhovlnného záření. Struktura grafitové sítě v polystyrenu je znázorněna na Obr. 7. Takto vyrobený šedý expandovaný polystyren dosahuje stejného součinitele tepelné vodivosti jako bílý expandovaný polystyren o více než dvojnásobné hustotě. Při stavbě jsou používány pevné desky znázorněné na Obr. 6, které jsou dodávány v různých tloušťkách. [16]



Obr. 6 – Desky šedého polystyrenu v různých tloušťkách [17]



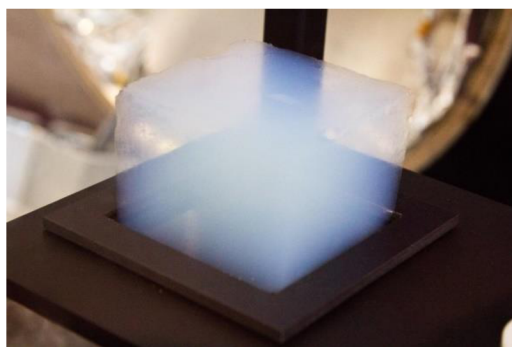
Obr. 7 – Průchod tepelného záření šedým polystyrenem [18]

Aerogelová izolace

Materiál známý pod názvem aerogel, nebo také tuhý kouř, je látka s nejnižší hustotou vůbec. Tato vlastnost je způsobena tím, že až 99,8 % objemu této látky tvoří vzduch. Aerogely mohou být vyrobeny na bázi mnoha chemických prvků, ovšem nejběžnější a nejpoužívanější jsou aerogely křemičité. Látka se tedy skládá z jemné síťové struktury oxidu křemičitého SiO_2 , která má vysokou pórovitost. Z hlediska tepelně izolačních vlastností je důležitá informace o velikosti těchto pórů. Póry ve struktuře mají rozměr přibližně 70 nm, což je menší než střední volná vzdálenost molekul vzduchu. Tento fakt znamená, že jemná struktura aerogelů zabraňuje molekulám vzduchu v jejich vzájemných kolizích. Jelikož k přenosu tepla v telených izolacích dochází hlavně vzájemnými srážkami molekul vzduchu aerogely dosahují nižších hodnot součinitele tepelné vodivosti než ostatní tepelně izolační materiály $\lambda = 0,013 - 0,02 \text{ W/mK}$. [10, 19, 20]

Výrobky z aerogelů jsou velmi pružné, tvárné a dají se řezat nožem. Mohou se jimi izolovat tedy i prvky složitých tvarů. Nevýhodou tohoto typu izolace je velmi vysoká cena,

ovšem díky menší potřebné tloušťce a tvárnosti nachází uplatnění při odstraňování tepelných mostů a izolování špatně dostupných míst, kam by se normální izolace se stejným výsledným tepelným odporem nemohly instalovat. [19]



Obr. 8 – Pórovitá struktura aerogelu [21]



Obr. 9 – Aerogelové tepelné izolace [22]

Vakuová izolace

Vakuové izolace dosahují nejmenších možných hodnot součinitele tepelné vodivosti vůbec. Je to způsobeno tím, že nejlépe ze všech izolačních materiálů brání všem druhům přestupu tepla – vedení, proudění a sálání.

Tyto izolace jsou známy pod názvem vakuové izolační panely, se zkratkou VIP, a jejich jádro tvoří právě v předchozí kapitole zmíněné křemičité aerogely.

Jak již bylo řečeno, k přenosu tepla dochází v největší míře vedením, na kterém se podílí hlavně vzduch obsažený v těchto materiálech. Výsledný součinitel tepelné vodivosti se tedy blíží hodnotám pro vzduch 0,03 W/mK. Vede nás to tedy k úvaze, že snížení hodnoty součinitele λ lze docílit odčerpáním vzduchu z tepelně izolačního materiálu a tím zamezíme přenosu tepla vedením a prouděním. Kombinací aerogelu a vakua získáme tedy tepelnou izolaci, jejíž porézní jádro zabraňuje srážení molekul vzduchu a navíc vakuum způsobí snížení počtu molekul vzduchu a také zvětší střední volnou dráhu molekul vzduchu. [10]

Samotné jádro částečně pohlcuje tepelné záření, a zabraňuje šíření tepla radiací. Ovšem v tomto směru byl objeven prostor pro zlepšení. Ke snížení tohoto typu přenosu tepla byla použita stejná technologie jako u šedého polystyrenu. Tedy vpravení uhlíkových nanočástic do struktury jádra, které fungují jako absorbery tepelného záření. Další prvek, který snižuje přenos sáláním je hliníková folie, která je součástí obalu a funguje jako reflexní prvek pro odraz tepelného záření.

Výrobci a vývojáři VIP ovšem musí dbát na vhodný výběr obalu. Materiál musí být pevný a neprodyšný, aby nedocházelo k narušení vakua. [10]

Vakuové izolační panely dosahují hodnot součinitele tepelné vodivosti až $\lambda = 0,004 - 0,019$ W/mK. [20]



Obr. 10 – Vakuový izolační panel [23]

Panely VIP jsou kvůli nemožnosti porušení obalu dodávány pouze v přesně určených rozměrech, jako je znázorněno na Obr. 10. Na stavbě je tedy nelze nijak upravovat a řezat, což je značná nevýhoda kvůli ztížení proveditelnosti montáže.

Poslední dva zmíněné materiály (aerogelové izolace a VIP) jsou v problematice zateplování budov poměrně nové pojmy. Dosahují velice dobrých tepelných vlastností, ale odráží se to na jejich vysoké ceně. Proto zůstávají nejpoužívanějšími materiály polystyreny a minerální vaty, které jsou nejen cenově příznivější, ale také léty prověřeny.

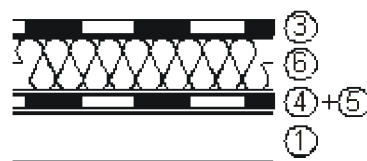
1.3 Tepelné ztráty střechou

Tepelná ztráta střechou tvoří téměř čtvrtinu z celkových ztrát objektu. Způsob zateplení se liší hlavně u různých typů střech. Následující odstavce přibližují základní rozdíly v zateplování plochých střech a šikmých střech. [2]

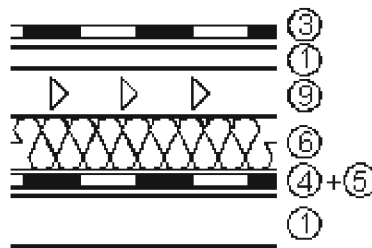
Střechy ploché se vyznačují svým sklonem mezi 0° – 10° . Známe dva nejčastější typy skladeb plochých střech a těmi jsou plochy jednoplášťové a dvouplášťové větrané. Při rekonstrukci těchto typů plochých střech je vždy nutno doplnit konstrukci o parozábranu, tepelně izolační souvrství a hydroizolaci. V jakém pořadí jsou prvky zabudovány lze vidět na Obr. 11. [24]

Vidíme, že u jednoplášťové střechy je ihned nad původní konstrukcí parobrzdná folie s vysokým difuzním odporem, která brání vstupu vlhkosti z interiéru do konstrukce střechy. Následuje tepelně izolační vrstva, pro kterou se nejčastěji využívá expandovaný polystyren EPS nebo tuhé desky z minerální vlny, a poslední vrstvou je hydroizolační folie, která chrání konstrukci střechy před vnějšími vlivy počasí. Podobné pořadí je používáno i u střech dvouplášťových. Tato střecha ovšem umožňuje přidat izolační vrstvu jak nad nosnou vrstvu spodního pláště, tak nad nosnou vrstvu horního pláště. Pokud máme zajištěno dostatečné odvětrání ve vzduchové mezeře, není třeba přidávat parozábranu. [24]

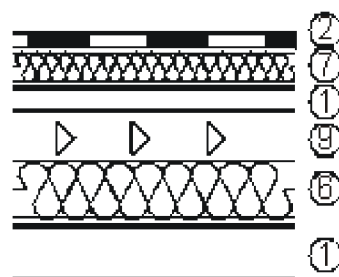
Jednoplášťová střecha s tepelně
izolační vrstvou a parozábranou



Dvouplášťová střecha s tepelně
izolační vrstvou a parozábranou
ve spodní nosné konstrukci



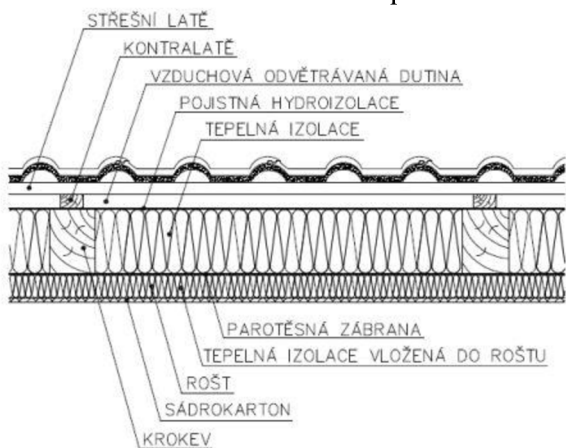
Dvouplášťová střecha s tepelně
izolační vrstvou a parozábranou
ve spodní i horní nosné
konstrukci



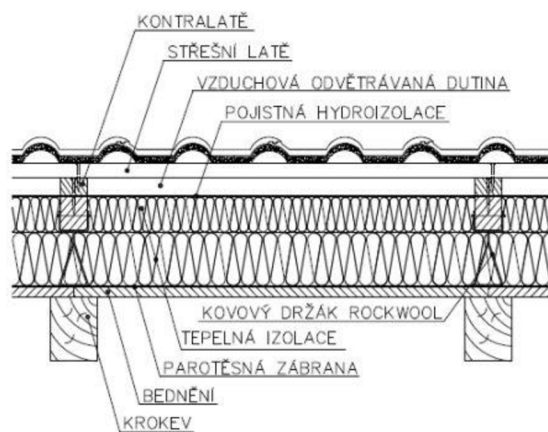
1 – nosná vrstva; 2,3 – hydroizolační vrstva; 4 – pojistná hydroizolační vrstva;
5 – parotěsná vrstva; 6,7 – tepelně izolační vrstva; 9 – větraná vzduchová vrstva

Obr. 11 – Pořadí vrstev jednoplášťových a dvouplášťových zateplených plochých střech [25]

Šikmé střechy se vyznačují svou konstrukcí, nazývanou krov. Hlavním stavebním prvkem krovu jsou krokve, na které jsou přibity pomocné latě a na ně je položena střešní krytina. Při zateplování šikmé střechy jsou právě krokve zdrojem největších tepelných ztrát, protože dřevo má vyšší součinitel tepelné vodivosti. Z tohoto důvodu mohou vznikat tepelné mosty a my musíme zvolit správný způsob zateplení a umístění parozábrany i hydroizolační folie. Mezi dva nejčastější způsoby se řadí zateplení mezi a pod krokviemi a zateplení nad krokviemi. Skladbu těchto zateplení můžeme vidět na Obr. 12 a Obr. 13. [26, 27]



Obr. 12 – Zateplení šikmé střechy mezi a
pod krokviemi [27]



Obr. 13 – Zateplení šikmé střechy
nad krokviemi [27]

Skladba při zateplení střechy mezi a pod krokvy je zřetelná z Obr. 12. Tento způsob zateplení je účinný, ale jsou zde dva základní problémy, kterým při realizaci čelíme. Prvním z nich je právě vznik tepelných mostů při vkládání izolace mezi krokve. Ať použijeme sebelepší tepelnou izolaci, nezabrání nám prochladnutí krokví a následnou možnou kondenzaci mezi krokvy a vnitřní vrstvou izolace. Dalším problémem je umístění parozábrany. Parozábrana by měla být umístěna co nejbližší interiéru, aby odrážela maximum vlhkosti jdoucí z vnitřního prostředí do exteriéru. Z hlediska proveditelnosti je ale téměř nemožné instalovat ji ihned nad sádkarton, protože zde hrozí velké riziko protrhnutí a výrazné snížení její funkčnosti. Proto je skladba tvořena SDK deskami, následuje vrstva izolace, ve které je možno vést rozvody elektřiny případně vzduchotechniky apod. Poté je teprve vložena parozábrana a následují další vrstvy zateplení dle Obr. 12.

Zateplení nad krokvy žádný z těchto problémů neřeší. Nad krokvy je dostatečná tloušťka izolace, takže se nízké teploty nedostávají hluboko do konstrukce. A parozábrana je umístěna nad krokvy pokrytými bedněním.

1.4 Tepelné ztráty okny a dveřmi

Otvorové výplně jsou část domu, která výrazně ovlivňuje komfort obyvatel objektu. Okna zajišťují dostatečné osvětlení interiéru, dveře bezpečnost vůči vloupání a v současné době se prosklené konstrukce používají také jako designový prvek. Nesmíme také zapomínat na jejich vysoký podíl na tepelných ztrátách objektu, které činí 30 až 40 % z celkových ztrát. Proto většinou při snižování energetických ztrát je výměna oken na prvním místě. Stejně jako u stavebních konstrukcí je třeba dbát na kvalitu výrobku, kterou u oken posuzujeme dle parametrů uvedených níže.[28]

Součinitel prostupu tepla celým oknem $U_w [W/m^2 \cdot K]$

Tento součinitel je souhrnným ukazatelem pro tepelné vlastnosti otvorových výplní a ukazuje, kolik tepla unikne plochou 1 m², při změně teploty 1 K. Jeho hodnota závisí na dalších součinitelích a parametrech dle následujícího vzorce.[29, 30]

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi_g}{A_g + A_f} \quad (1.1)$$

A_g – celková plocha zasklení [m²]

A_f – celková plocha rámu [m²]

U_g – součinitel prostupu tepla zasklení [$W/m^2 \cdot K$]

U_f – součinitel prostupu tepla rámu [$W/m^2 \cdot K$]

l_g – viditelný obvod zasklení [m]

ψ_g – lineární činitel prostupu tepla přes distanční rámeček [$W/m \cdot K$]

Jak vidíme, tak součinitel prostupu tepla oknem závisí na mnoha parametrech. Nejvíce je ovšem ovlivněn součinitelem prostupu tepla zasklení, jelikož prosklená plocha tvoří převážnou část okna.

Zasklení může být v současné době provedeno izolačním dvojsklem, trojsklem, či dokonce čtyřsklem, přičemž mezery vymezené distančním rámečkem mezi jednotlivými tabulemi skla jsou vyplněny buďto vzduchem nebo inertními plyny, nejčastěji to je Argon nebo Krypton. Podle typu izolačního skla je poté určen součinitel prostupu tepla U_g .

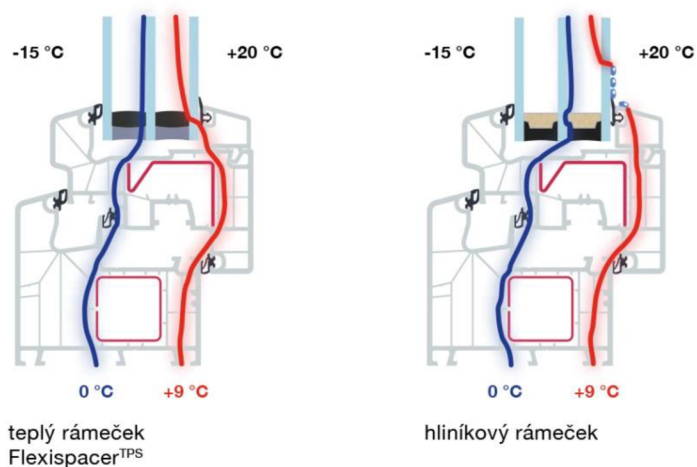
Tento výpočet součinitele prostupu tepla je velice přesný, ovšem ne vždy jsou všechny hodnoty známy. Proto se při výpočtu snažíme získat součinitel prostupu tepla přímo od výrobce a pokud to není možné, použijeme přibližné specifické hodnoty např. dle Tabulka 2 2.

Distanční rámeček slouží k vymezení prostoru mezi jednotlivými tabulemi skla v izolačním skle, brání úniku inertního plynu a zabraňuje vniknutí vodních par do meziskelního prostoru [32].

Distanční rámečky dělíme na

- **Studené – hliníkové, ocelové**
- **Teplé – termoplastické, kombinované**

Fyzikální vlastnosti distančního rámečku vyjadřuje lineární součinitel prostupu tepla přes distanční rámeček ψ . Součinitel vyjadřuje schopnost rámečku přerušit tepelný most po obvodu skla [31]. Čím nižší je hodnota součinitele ψ , tím lepší jeho vlastnosti jsou. Na Obr. 14 jsou znázorněny izotermie při použití dvou různých distančních rámečků. Vidíme, že při použití hliníkového rámečku s horšími vlastnostmi teplota skla na straně interiéru podkročí teplotu rosného bodu a na obvodu zasklení zkondenzuje vodní pára. [32]



Obr. 14 – Srovnání průběhu teplot při použití teplého a studeného distančního rámečku [32]

Index vzduchové neprůzvučnosti R_w [dB]

Tento index udává schopnost okna utlumit hluk. Standardní okna jsou vyráběna s hodnotou $R_w = 32$ [dB]. Hluk z ulice ovšem může přesáhnout hodnotu až 70 dB, proto pokud stavíme nebo rekonstruujeme v částech města zatížených hlukem, měli bychom zvážit pořízení oken s vyšší hodnotou tohoto indexu. [33, 34]

Solární faktor g [%, -]

Tento faktor udává propustnost slunečního záření v podobě tepla průhledným prvkem. Je to tedy podíl energie procházející k energii na sklo dopadající. Nejběžnější hodnota solárního faktoru u oken se uvádí 50 %, ale dle požadavků zákazníka lze dodat okno i s vyšší či nižší hodnotou tohoto parametru. Okna s vyšším solárním faktorem jsou způsobem, jak dosáhnout velkých tepelných zisků pasivní cestou. Ovšem tuto vlastnost oceníme pouze v zimním období. Proti přehřívání interiéru v letních měsících je třeba instalovat k těmto otvorovým výplním účinný typ stínění. [35]

Tabulka 3 – Součinitel prostupu tepla pro různé typy zasklení [36]

Typ zasklení	Koeficient solární propustnosti g [-]
Jednoduché zasklení	0,85
Dvojité zasklení (bez selektivních vrstev)	0,75
Dvojité zasklení (izolační dvojsklo)	0,67
Trojité zasklení (bez selektivních vrstev)	0,7
Trojité zasklení (se dvěma selektivními vrstvami)	0,5

Světelná propustnost a odrazivost L_t a L_r

Na rozdíl od solárního faktoru tyto dvě veličiny nám ukazují, kolik slunečního záření ve viditelném spektru pronikne, resp. se odrazí z exteriéru do interiéru. [37]

Při výměně starých oken zdvojených nebo dvojitých můžeme ovšem narazit na problém s nedostatečným osvětlením prostoru po výměně oken. Dle tabulky 4 můžeme vidět, že světelná propustnost u zdvojených oken je výrazně vyšší než u oken s dvojsklem a trojsklem a jelikož velikost otvorové výplně zůstává stejná, přijdeme o výraznou část slunečního záření. [38]

Tabulka 4 – Světelná propustnost v závislosti na typu zasklení

	Zdvojené okno	Okno s dvojsklem	Okno s trojsklem
Světelná propustnost L_t	85 %	70 %	58 %

Stejně jako u izolačních materiálů záleží při instalaci otvorových výplní na správném provedení montáže nejlépe autorizovanou firmou, která se výměnou či instalací oken zabývá. Při výměně oken svépomocí bychom se mohli dopustit zásadních chyb, které povedou ke vzniku již zmiňovaných tepelných mostů a následně velmi nevídanému rosení oken provázené plísněmi.

U otvorových výplní je mimo výše zmiňované součinitele spousta dalších možností, jak vlastnosti zlepšit v různých směrech. V současné době se vyvíjí technologie výroby oken, která budou sama regulovat množství prošlého tepelného záření v závislosti na teplotě. Tohoto efektu je dosaženo použitím oxidu vanadičitého VO₂, který při teplotě nad 68 °C mění svou strukturu a nepropouští tepelné záření. Naopak při teplotě pod 68 °C se chová jako polovodič a umožňuje tepelnému záření proniknout dovnitř. Tento jev je nazýván termochromický efekt. Vývoj ještě není zcela u konce, vědci doposud našli způsob, jak vrstvu oxidu vanadičitého aplikovat při nízkých teplotách na povrch skla, ale zatím nedokázali dosáhnout požadovaného efektu při nižších teplotách než 40 °C. [39]

2 Vybrané zdroje tepla a chladu pro RD

V druhé kapitole teoretické části této diplomové práce jsou charakterizovány zdroje tepla a chladu, které jsou dále navrženy v navazujícím praktickém výpočtu. V modelovém domě je v současnosti používán atmosférický kotel, proto se těmto kotlům bude věnovat první podkapitola. Novým zdrojem tepla a chladu byla zvolena tepelná čerpadla (TČ) v bivalentním provozu s elektrickým sekundárním zdrojem. Charakteristiky TČ v bivalentním provozu jsou sepsány v kapitole 2.2.

2.1 Plynové kotle

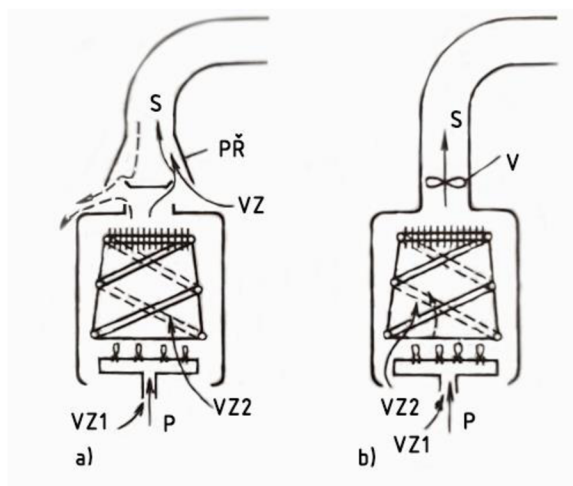
Kapitola se věnuje kotlům na zemní plyn do jmenovitého výkonu 50 kW, které se řadí do malých zdrojů tepla. Kompaktnost zařízení umožňuje umístění kotle na stěně, tedy je nazýváme nástěnné plynové kotle.

Existuje spousta kritérií, dle kterých lze plynové kotle rozdělit. Pro tuto diplomovou práci je vhodné uvést rozdělení dle teploty vratné vody.

- **Klasické** – teplota vratné vody nad 60 °C
- **Nízkoteplotní** – teplota vratné vody 35–40 °C
- **Kondenzační** – teplota vratné vody 35–40 °C a výstupní teplota spalin pod rosným bodem

Kotel Destila DPL 25 se řadí mezi klasické kotle s atmosférickým hořákem. Teplota vratné vody vstupující do výměníku, nesmí být nižší než 60 °C, aby nedocházelo k nízkoteplotní kondenzaci, která je u těchto kotlů nežádoucí. Na teplotu této vratné vody, je také dimenzována otopná soustava, která je nejčastěji navržena v teplotním spádu 75/65 °C při nuceném oběhu a 90/70 °C s přirozeným oběhem [40].

U kotlů s atmosférickým hořákem je přiváděn vzduch za atmosférického tlaku do předústí hořáku, kde se míchá s plynem. Sekundární vzduch je přiváděn buď pomocí vztlaku stoupajících spalin, nebo ventilátorem, který usměřňuje odvod spalin. Pokud není instalován ventilátor, je regulace odvodu spalin zajištěna přerušovačem tahu. Regulace tahu slouží k tomu, aby při zvýšeném tahu nedocházelo k ovlivňování spalování nadbytečným množstvím vzduchu, který by byl přísávan z místnosti. Tento vzduch by následně ochlazoval výměník. Regulace má význam i v opačném případě, kdy komín nemá ještě dostatečný tah, v tomto případě slouží přerušovač tahu i jako pojistka zpětného tahu.



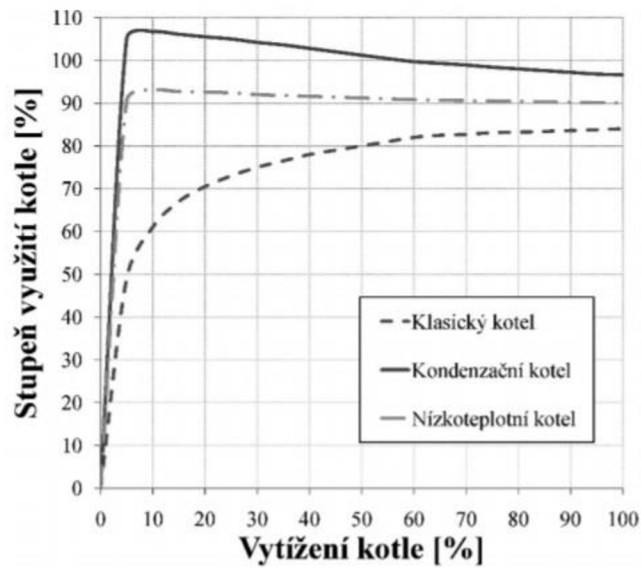
Obr. 15 – Schéma kotle s atmosférickým hořákem a) s přerušovačem tahu b) s regulací tahu ventilátorem [41]

Díky své jednoduché konstrukci se nejčastěji používají atmosférické kotle s přerušovačem tahu. Stejně tak je tomu kotle Destila DPL 25. Výhodou plynových kotlů je dosahování velmi vysokých teplot vody za velmi krátký čas, což oceníme hlavně při nárazově vysoké spotřebě TUV.

2.1.1 Dimenzování plynového kotle

Moderní kondenzační plynové kotle mají regulovatelný výkon, který se může pohybovat od 10 do 100 % maximálního výkonu. V charakteristice na Obr. 16 vidíme, že kondenzační kotle nejúčinněji pracují v oblasti nižšího vytížení. S poklesem výkonu totiž klesá i teplota výstupní otopné vody, spalin a také se zmenšuje ztráta sáláním do okolního prostředí. Kondenzační kotel poté také pracuje s větším podílem využití latentního tepla. Jelikož nejčastější teploty v průběhu roku se pohybují v rozmezí 5–15 °C, bude kondenzační kotel pracovat s nižším výkonem, který zajišťuje účinnější provoz.

U klasických atmosférických kotlů tomu takto není, pokud poklesne potřeba tepla na vytápění, klasické kotle začínají cyklovat. Jelikož výkon není možno regulovat, kotel během určitého časového úseku několikrát sepne a dohřeje systém na požadovanou teplotu. Následně se opět vypne a tento cyklus se stále opakuje. K cyklování může docházet až 25× za hodinu a každý z těchto procesů opotřebovává pohyblivé části hořáku, což snižuje životnost. Dalším problémem cyklování jsou zvýšené tepelné ztráty. Při spínání dojde k úniku malého množství plynu, který se nezapálí (ztráta únikem plynné hořlaviny) a po vypnutí dochází k vychlazování kotle, což je ztráta znatelnější (ztráta sáláním do okolí). [42]



Obr. 16 – Závislost stupně využití kotle na jeho vytížení pro klasický, nízkoteplotní a kondenzační kotel [43]

Graf ukazuje závislost stupně využití zdroje tepla na jeho vytížení. Stupeň využití zdroje tepla charakterizuje chování zdroje během celé otopné sezony. Tato veličina vychází z účinnosti zdroje při jmenovitém výkonu dle následujících vzorců. Vzorec číslo (2.1) představuje výpočet pro **roční stupeň využití kotle**, který je vhodný pro výpočet u kotlů, které mají konstantní teplotu výstupní otopné vody. [44]

$$\eta_a = \frac{\eta_k}{\left(\frac{b_H}{b_{VK}} - 1\right) \cdot q_B + 1} \quad (2.1)$$

- η_a roční stupeň využití zdroje tepla [%]
- η_k účinnost kotle při jmenovitém výkonu [%]
- b_H doba provozní pohotovosti [h/rok]
- b_{VK} doba plného využití kotle [h/rok]
- q_B pohotovostní ztráta [-]

Pro kotle kondenzační, které mají proměnnou teplotu výstupní vody se používá vzorec (2.2) a veličina popisující jejich provoz se nazývá **normovaný stupeň využití kotle**.

$$\eta_N = \frac{5}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{\eta_{\varphi,i}}} \quad (2.2)$$

- $\eta_{\varphi,i}$ stupeň využití při dílčím zatížení ve výkonové periodě [-] Hodnoty dle DIN 4702 část 8 pro kondenzační kotle

2.2 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla jsou v současnosti stále častěji používána jako alternativa pro starý plynový kotel, či kotel na tuhá paliva z důvodu nízkých provozních nákladů, a hlavně bezúdržbového provozu. Jejich instalace ve stávajících objektech je ovšem možná pouze pokud je v kombinaci s novou nízkoteplotní otopnou soustavou, nebo jsou využita původní otopná tělesa, ale jsou sníženy tepelné ztráty. Této variantě je věnována kapitola 2.4.4.

Systemy využívají tzv. nízkopotenciální teplo (NPT), které je obsaženo v půdě, vzduchu nebo podzemní či povrchové vodě. Toto teplo je samo o sobě nevyužitelné k vytápění z důvodu velmi nízké teploty. Tepelná čerpadla proto fungují jako zařízení, která přeberou NPT ze zdroje a převedou ho na teplo s vyšším teplotním potenciálem, které lze již použít pro vytápění či ohřev teplé užitkové vody (TUV).

Tepelná čerpadla se skládají z vnitřní a vnější jednotky (split systémy), ale u TČ vzduch/voda můžeme narazit i na kompaktní jednotky, které jsou umístěny celé uvnitř nebo vně objektu. U splitových tepelných čerpadel vnitřní jednotka zajišťuje přenos tepla do otopné soustavy a svou velikostí i tvarem připomíná klasický plynový kotel. Vnější jednotka slouží pro odebrání NPT ze zvoleného zdroje a převedení na vyšší teplotní hladinu. Energie ukrytá v nízkopotenciálních zdrojích tepla je finančně podmíněna pouze vstupní investicí na provedení vnějšího systému na odběr NPT. Roční poplatky na provoz TČ jsou určeny dodanou elektrickou energií na příkon kompresoru případně čerpadel, ventilátorů a dalších přídatných komponentů. Ve srovnání s elektrickými přímotopy je tato energie mnohonásobně menší a společně se speciálními sazbami za elektrickou energii při použití TČ náklady na vytápění objektu výrazně klesají. [45]

2.2.1 Životnost TČ

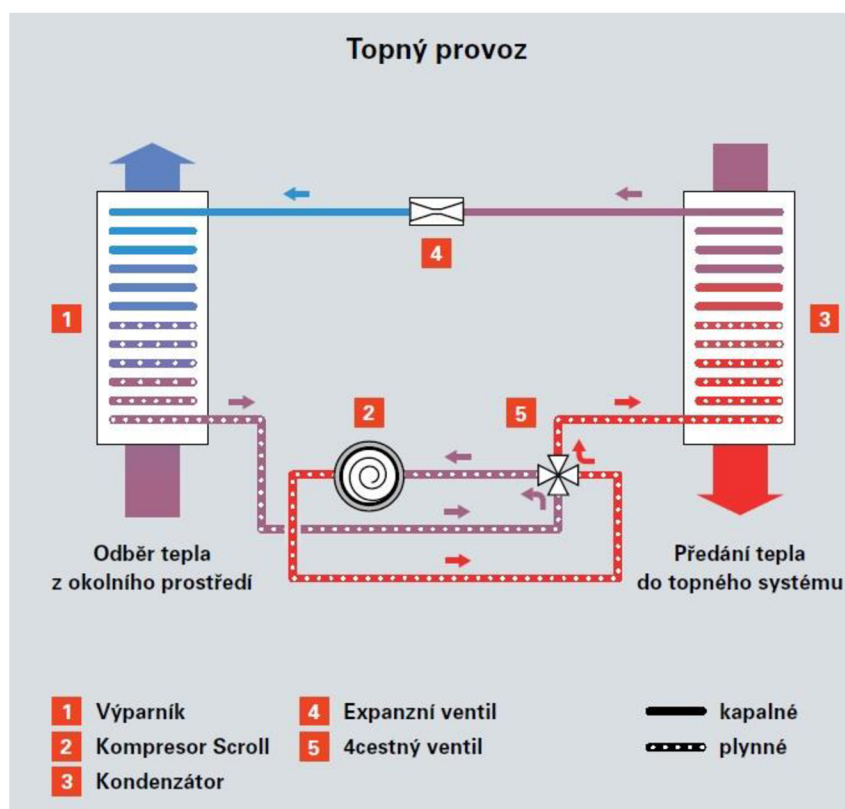
Vždy, když máme realizovat nákladný projekt, či v našem případě instalovat TČ, zajímá nás životnost zařízení. V oblasti tepelných čerpadel je životnost závislá především na životnosti kompresoru. Neblaze ovlivňuje kompresor časté spínání a vypínání při cyklování. K dalšímu opotřebení dochází při nízkém výkonu, kdy není kompresor dostatečně promazáván. Všechny tyto faktory ovlivňují dobu životnosti. Správným dimenzováním a regulací systému se lze vyhnout nepříznivým podmínkám pro běh kompresoru, nebo alespoň částečně snížit dobu provozu čerpadla v těchto podmínkách. Životnost TČ se uvádí přibližně 20 let u systémů země/voda. Pro TČ vzduch/voda je životnost o něco nižší z důvodu vyšších výkonů, vysokého rozsahu teplot při provozu a také reverzace chodu, která opotřebovává kompresor ve značné míře.

I přes výše zmíněné nevýhody bylo při navrhování TČ pro modelový rodinný dům vybráno TČ vzduch/voda, které se jeví v tuzemských klimatických podmínkách jako efektivní a jednoduché řešení. V následujících kapitolách budou specifické informace a grafické charakteristiky převážně pro tento druh TČ. [46]

2.2.2 Princip tepelných čerpadel

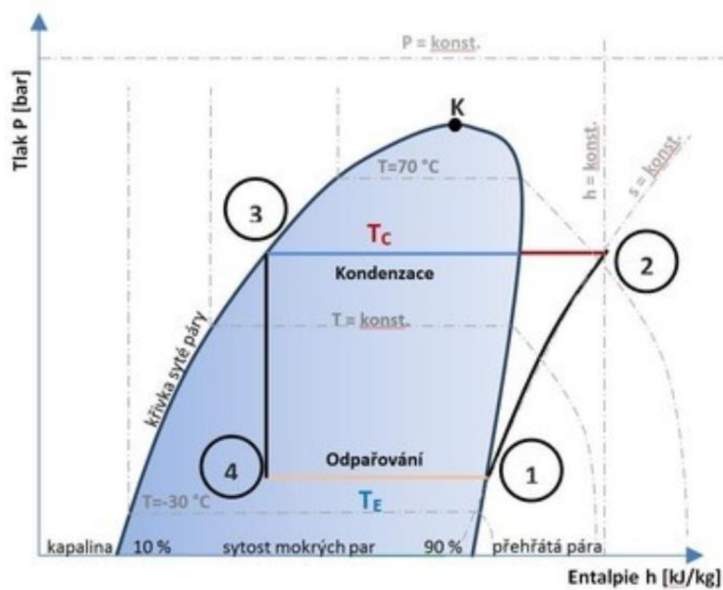
Hlavní částí TČ je chladivový okruh, který zajišťuje přečerpání nízkopotenciální energie na vyšší teplotu. Jedná se o uzavřený okruh, v němž koluje pracovní látka neboli chladivo. Chladiva jsou látky, které díky svým specifickým fyzikálně-chemickým vlastnostem, jako je teplota vypařování a kondenzace, umožňují přenos tepla z nízkopotenciálního zdroje tepla pomocí vypařování a následné odevzdání tepla do otopné soustavy v kondenzátoru.

Celý okruh se skládá ze 4 základních komponent – kompresor, kondenzátor, expanzní ventil a výparník. Výparníková část slouží k předání tepla mezi nízkopotenciálním zdrojem energie a chladivem, které se průchodem tohoto tepelného výměníku vypaří. V plynném skupenství přechází pracovní látka stále o nízké teplotě do kompresoru. Komprese zajistí zvýšení tlaku a teploty chladiva na parametry vhodné pro předání do otopné soustavy. K přenosu tepla do otopné soustavy dochází v kondenzátoru. Po odevzdání tepelné energie se chladivo v kapalném skupenství přesouvá do expanzního ventilu, ve kterém se pracovní látka snížením tlaku ochladí pod teplotu zdroje tepla a celý cyklus se opakuje. Schematické znázornění oběhu je ukázáno na Obr. 17.



Obr. 17 – Schéma tepelného čerpadla [47]

Tepelná čerpadla pracují dle principu chladicích zařízení, jejich primární funkce je ale opačná, a to dodávat teplo. Proto pracovní cyklus chladivového okruhu TČ je nejčastěji demonstrován na obráceném tepelném Rankine-Clausiovu cyklu neboli chladicím cyklu, který je znázorněn na Obr. 18. [48, 49]



Obr. 18 – p – h diagram chladícího oběhu [48]

Pokud by TČ pracovalo ideálně, tedy bez jakýchkoli ztrát, probíhaly by v něm následující termodynamické procesy.

- 1 → 2 izentropická komprese
- 2 → 3 izobarická kondenzace
- 3 → 4 izoentalpické expanze
- 4 → 1 izobarické odpařování

2.2.3 Topný a chladící faktor

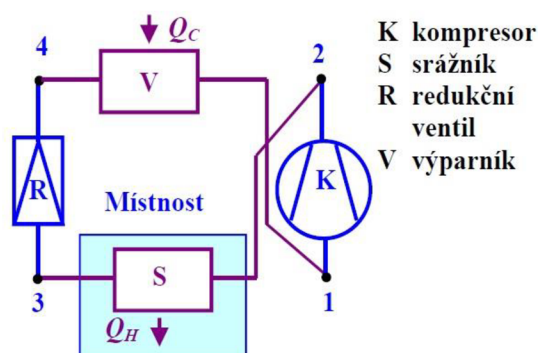
Topný faktor

Pro porovnávání účinnosti tepelných čerpadel využíváme topný faktor se zkratkou COP z anglického Coefficient of performance. Topný faktor je podíl mezi vyrobeným teplem a celkovou energií dodanou do systému za definovaných ustálených podmínek dle vzorce 2.3. Čím vyšších hodnot tato veličina nabývá, tím efektivněji TČ pracuje. Tepelné čerpadlo v zapojení pro vytápění je znázorněno na Obr. 19.

$$COP = \frac{Q_H}{\sum A_{0i}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad (2.3)$$

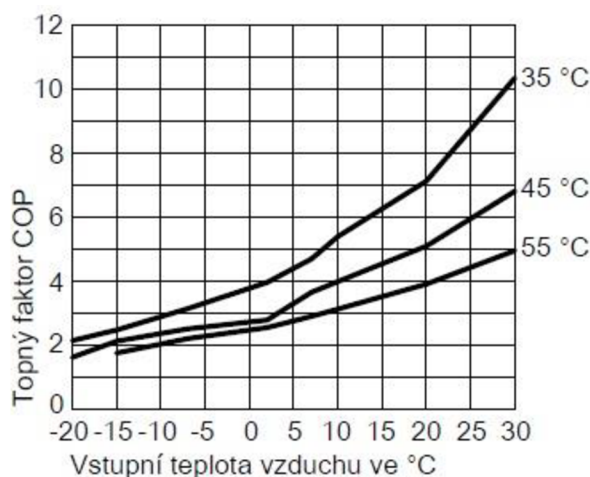
Q_H ... teplo odevzdané systémem TČ

A_{0i} ... práce spotřebovaná pro provoz systému



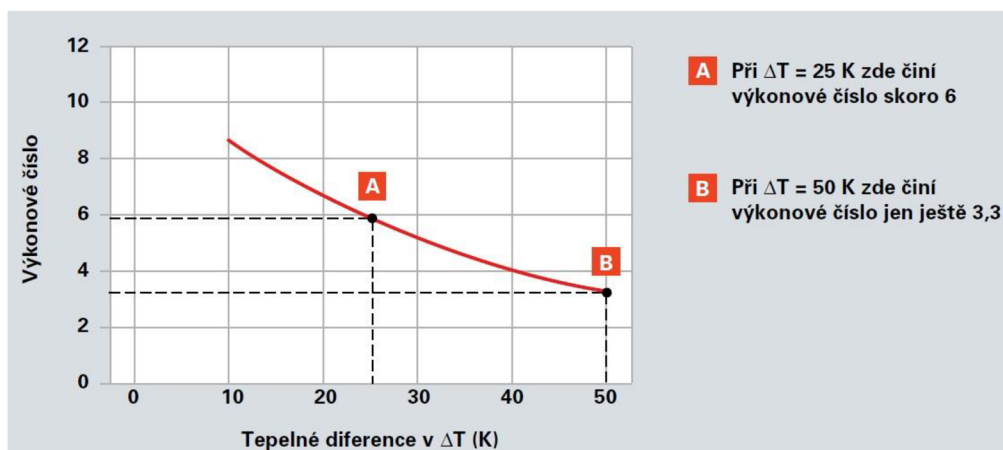
Obr. 19 – Schéma zapojení TČ jako zdroje tepla

Topný faktor COP je veličina, která charakterizuje tepelná čerpadla za stanovených provozních podmínek. Musíme si ovšem uvědomit, že tyto podmínky se v reálném provozu mění. Pro topný faktor je velmi důležitá teplota NZP, která je hlavně u TČ vzduch/voda během roku velmi proměnlivá. Na Obr. 20 je znázorněna závislost COP na teplotě NZP pro TČ vzduch-voda.



Obr. 20 – Závislost COP na teplotě vnějšího vzduchu pro teploty v otopné soustavě 35 °C, 45 °C a 55 °C [50]

Vidíme, že s klesající teplotou NZP, klesá také topný faktor, jelikož roste příkon kompresoru a klesá výkon TČ. Dalším parametrem je ale také výstupní teplota v kondenzátoru. Efektivněji pracují TČ při nižším rozdílu vstupní teploty od nízkopotenciálního zdroje tepla a požadované výstupní teploty vody v otopném systému. Závislost topného faktoru na této tepelné diferenci ukazuje Obr. 21. Na horizontální ose je škála tepelné difference a svislá osa ukazuje výkonové číslo neboli COP. Teplotu zdroje ovlivnit nelze, proto se snažíme v kombinaci s TČ použít nízkoteplotní vytápění (podlahové či stěnové), u kterých se teplota otopné vody pohybuje mezi 30 až 50 °C.



Obr. 21 – Závislost COP na teplotním rozdílu mezi výstupní teplotou otopného systému a vstupní teplotou zdroje [47]

V technických listech ověřených dodavatelů můžete často najít COP pro standardizované vstupní a výstupní teploty (viz Tabulka 5), v některých případech je přiložen graf závislosti COP na rozdílu vstupní a výstupní teploty (viz Obr. 20).

Pro modelový rodinný dům ve výpočtové části této diplomové práce jsem vybírala TČ od firmy Viessmann.

Tabulka 5 – Označení standardizovaných podmínek pro uvádění COP TČ [51]

Vzduch – voda	A2/W35	teplota vzduchu na vstupu do výparníku 2 °C, teplota otopné vody z kondenzátoru 35 °C
Země – voda	B0/W35	teplota zeminy na vstupu do výparníku 0 °C, teplota otopné vody z kondenzátoru 35 °C
Voda – voda	W10/W35	teplota vody na vstupu do výparníku 10 °C, teplota otopné vody z kondenzátoru 35 °C

Topný faktor COP je parametr efektivnosti provozu TČ, který je určen v laboratoři za daných podmínek při ustáleném provozu TČ. Během celoročního užití tepelného čerpadla se ovšem tyto podmínky mění a efektivitu provozu ovlivňuje cyklování TČ při nevyužití výkonu čerpadla, energetická potřeba bivalentního zdroje tepla, ztráty vychlazením výměníku při nečinnosti apod. Tyto faktory ovlivňující efektivitu TČ zahrnuje sezónní topný faktor SCOP (seasonal coefficient of performance). Obecně se jedná o číslo, které je poměrem množství tepla dodaného TČ za jeden rok a elektrické energie, kterou v toto TČ za rok spotřebovalo. Pro určení přesné hodnoty SCOP TČ při dané instalaci by bylo třeba instalovat TČ a za topnou sezónu odečíst potřebné hodnoty pro výpočet. Jelikož ale chceme SCOP znát dříve, než TČ instalujeme, existuje několik početních metod, kterými lze SCOP určit. Metody výpočtu jsou dostatečně přesné, aby nám o TČ daly vypovídající hodnoty blíží se realitě. Jedna z možností je výpočet dle ČSN EN 14825. Metoda se vztahuje k určité tepelné ztrátě objektu za standardizovaných klimatických podmínek. Ve vzorci číslo (2.4) lze vidět, které parametry ovlivňují výsledný sezónní topný faktor. [52]

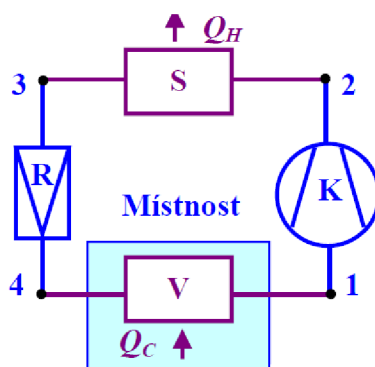
$$SCOP = \frac{Q_h}{\frac{Q_h}{SCOP_{on}} + H_{TO} \cdot P_{TO} + H_{SB} \cdot P_{SB} + H_{CK} \cdot P_{CK} + H_{OFF} \cdot P_{OFF}} \quad [52](2.4)$$

Q_h	potřeba tepla na vytápění za otopnou sezónu
P_{TO}	příkon jednotky ve vypnutém stavu na termostatu [kW]
H_{TO}	počet hodin ve vypnutém stavu na termostatu [h/rok]
P_{SB}	příkon jednotky v pohotovostním režimu [kW]
H_{SB}	počet hodin v pohotovostním režimu [h/rok]
H_{CK}	počet hodin v režimu zahřívání skříně kompresoru [h/rok]
P_{CK}	příkon v režimu zahřívání skříně kompresoru [kW]
P_{OFF}	příkon ve vypnutém stavu [kW]
H_{OFF}	počet hodin ve vypnutém stavu [h/rok]

Faktor SCOP je hlavním kritériem pro srovnání různých typů tepelných čerpadel od rozdílných dodavatelů a používá se také jako nosný faktor pro klasifikování tepelných čerpadel do tříd energetické účinnosti.

Chladicí faktor

Tato diplomová práce se zabývá nejen tepelnými čerpadly jako zdroj tepla, ale také chladu. Bavíme se tedy o zařízeních, která dokážeme při vysokých letních teplotách přepnout do reverzního chodu, ve kterém odebírají teplo z vnitřního prostředí a předávají ho do země, vody nebo vzduchu dle typu TČ. Schématické znázornění zapojení při chladicím režimu je znázorněno na Obr. 22.

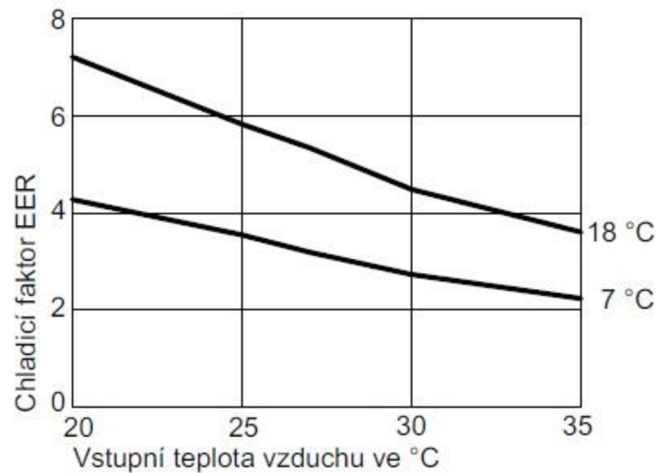


Obr. 22 – Schéma zapojení TČ a funkce jednotlivých součástí v režimu chlazení [53]

Efektivitu tohoto procesu vyjadřuje chladicí faktor se zkratkou EER (Energy Efficiency Ratio) je vyjádřen obdobně jako topný faktor, pouze zde je primární funkcí chlazení. Proto jde o poměr tepla odebraného z místnosti a energie dodané do systému. [54]

$$EER = \frac{Q_c}{\sum A_{oi}} [-] \quad (2.5)$$

Při porovnávání chladicích faktorů platí stejná pravidla jako u topného faktoru. Vždy záleží na provozních podmínkách, ve kterých systém pracuje. V grafu na Obr. 23 můžeme vidět, jak se mění chladicí faktor v závislosti na vnější teplotě vzduchu a výstupní teplotě v chladicím systému.



Obr. 23 – Závislost EER na teplotě vnějšího vzduchu pro teploty v chladicím systému 18 °C a 7 °C [50]

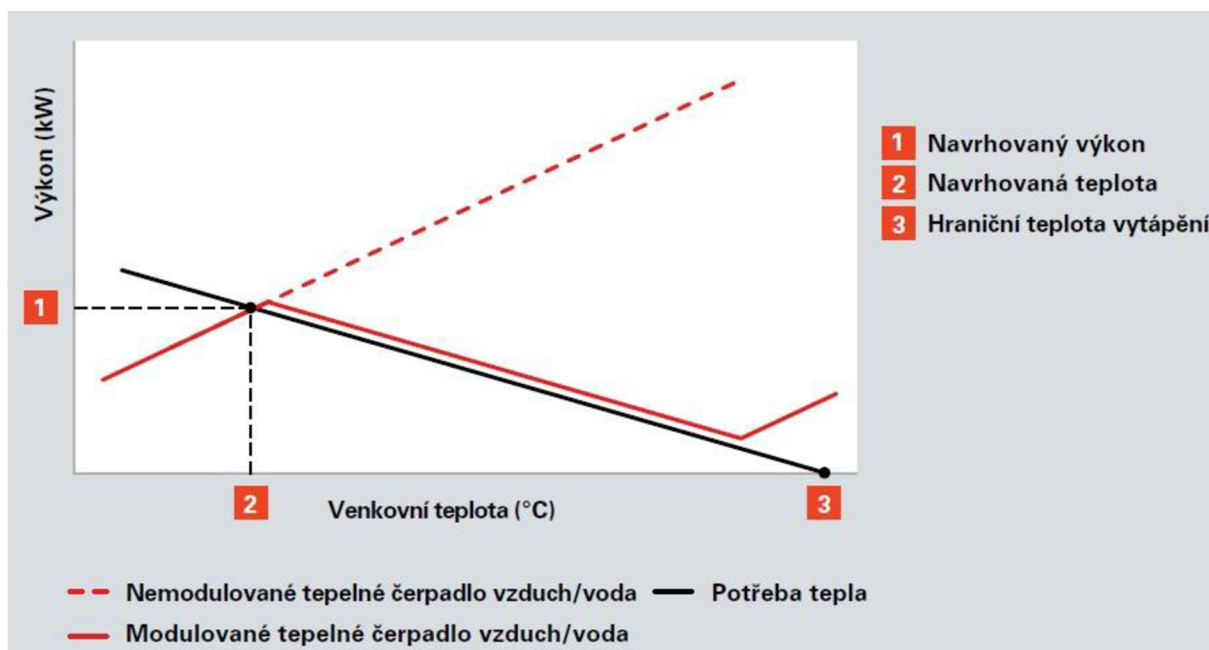
2.2.4 Dimenzování TČ

Zdroj tepla se vždy dimenzuje dle tepelných ztrát objektu, které se počítají pro určitou venkovní teplotu. V ČR je tato teplota dána -12 až -18 °C, pro náš RD je to -12 °C. Se snižující se teplotou okolí klesá i teplota NZP a jak již bylo řečeno v kap 2.2.3 klesá také topný faktor COP a výkon. Tyto teploty ovšem během roku nastanou v řádu jednotek dní, a proto je třeba zhodnotit, zda pokryjeme špičkový provoz chladných dnů samotným tepelným čerpadlem, nebo jej dimenzujeme na nižší výkon a zbytek tepla dodáme doplňkovým zdrojem.

Častěji se setkáváme s TČ dimenzovaných na 60 % – 80 % tepelných ztrát objektu, jelikož většinu období v roce nevyužijeme plného výkonu tepelného čerpadla z důvodu vyšších teplot, než je návrhová teplota pro výpočet TZ. Pokud by bylo tepelné čerpadlo navrženo na celkové tepelné ztráty docházelo by k častému vypínání a zapínání neboli taktování, což vede k opotřebování pohyblivých součástí. Taková čerpadla, která nemají regulovaný výkon jsou většinou opatřena taktovacími nádobami, které prodlužují chod čerpadla a snižují tak počet nežádoucích startovacích cyklů.

Další možností, jak se vyhnout cyklování je plynulá regulace výkonu tzv. inverterem, což je frekvenční řízení kompresoru. Tepelná čerpadla s regulací výkonu přizpůsobí svůj chod aktuálním tepelným ztrátám díky regulaci otáček kompresoru, a tím zamezí překročení výkonu nad tepelné ztráty. Toto zařízení má ovšem i své nevýhody. Pokud snížíme otáčky kompresoru, bude omezeno také promazávání, čímž bude docházet k rychlejšímu opotřebením a snížení životnosti. Se snížením otáček a plynulým provozem souvisí také více provozních hodin, které vedou k rychlejšímu opotřebením součástí.

Na Obr. 24 můžeme vidět měnící se výkon v závislosti na vnější teplotě u TČ s regulovaným a neregulovaným výkonem. Z hlediska úspor energie jsou oba dva systémy téměř rovnocenné, protože snížení výkonu nám nezajistí úměrné snížení příkonu. Porovnávat tyto varianty lze spíše z pohledu životnosti TČ a možností umístění taktovací nádoby v případě TČ s neregulovaným výkonem. [55–57]



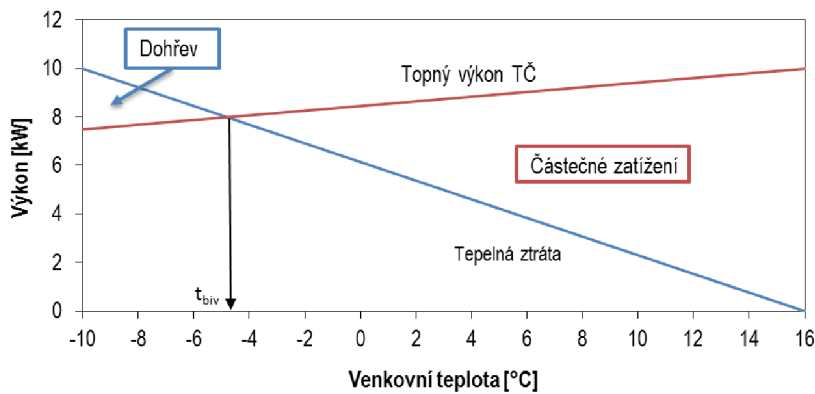
Obr. 24 – Regulace tepelného výkonu TČ vzduch/voda [47]

Monovalentní provoz

Při monovalentním provozu je třeba tepelné čerpadlo dimenzovat na výkon, který pokryje 100 % tepelných ztrát objektu. Takto instalovaná zařízení se hodí pro objekty s velmi nízkou energetickou náročností a do mírných klimatických podmínek, aby bylo možné maximální výkon využít. Pro monovalentní provoz nejsou vhodná TČ vzduch/voda z důvodu jejich prudce klesajícího výkonu s poklesem venkovních teplot. Více se v monovalentním provozu můžeme setkat s čerpadly typu voda – voda, nebo země – voda, protože z dlouhodobého hlediska jsou teploty těchto NZP stálější a lze odebírat teplo i při vysokých nárazových mrazech.

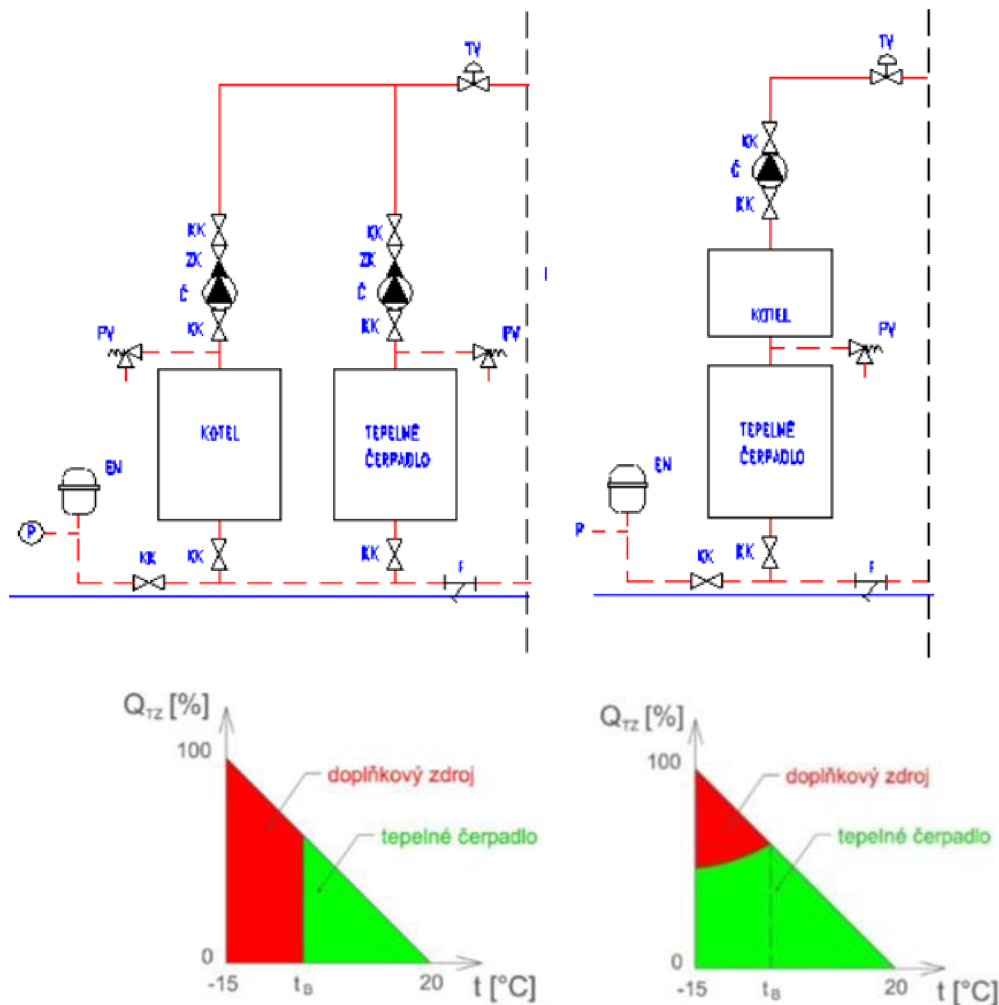
Bivalentní provoz

Tepelná čerpadla dimenzovaná na 100 % tepelných ztrát jsou většinu roku využity pouze na částečný výkon, který je z ekonomického hlediska nevýhodný a časté cyklování zkracuje životnost zařízení. Také vzhledem k vysokým pořizovacím nákladům výkonnějších čerpadel je lepší variantou vybrat méně výkonné TČ, které částečně pokryje spotřebu tepla a při nedostačujícím výkonu je zapojen bivalentní zdroj. Při bivalentním zapojení dokáže TČ pokrýt tepelné ztráty do určité vnější teploty, která se nazývá teplota bivalence t_{biv} . Pokud vnější teplota podkročí teplotu bivalence je nasazen záložní zdroj, který je většinou zabudován přímo v TČ jako elektrická topná tyč, nebo může být do soustavy zapojen samostatný kotel. Na obrázku 25 je znázorněna teplota bivalence jako průsečík křivky topného výkonu TČ, který s klesající venkovní teplotou klesá, a křivky tepelných ztrát, které naopak s klesající venkovní teplotou rostou.[57]



Obr. 25 – Výkon TČ a tepelné ztráty objektu v závislosti na venkovní teplotě [52]

Podle způsobu zapojení může záložní zdroj pracovat v alternativním provozu (viz Obr. 26 vlevo), kde TČ pracuje pouze do teploty bivalence, pak je zcela vypnuto a veškerou spotřebu tepla zajišťuje bivalentní zdroj. Druhým způsobem zapojení je paralelní (viz Obr. 26 vpravo), které umožňuje pod teplotou bivalence pracovat oběma systémům dohromady. Bivalentní zdroj slouží pro dohřev vody na požadovanou teplotu, je tedy možno nadimenzovat na menší výkon. Snižuje tím jeho pořizovací náklady i velikost zařízení.



Obr. 26 – Schéma zapojení a graf pokrytí spotřeb tepla TČ a bivalentním zdrojem [58, 59]

Pokud máme rodinný dům, ve kterém je instalovaný původní zdroj tepla s parametry vyhovující současné legislativě, nabízí se jeho využití jako alternativního zdroje tepla, který pokryje veškeré tepelné ztráty pod bodem bivalence. Pokud bychom ovšem na takovýto výkon měli instalovat nový kotel, byla by investice značně neekonomická. Do novostaveb, nebo rekonstrukcí RD, kde nelze stávající zdroj tepla využít se nejčastěji pro sekundární zdroje tepla využívají elektrické kotle.

2.3 Elektrický bivalentní zdroj

Bivalentní zdroj pokrývá tepelné ztráty budovy při nedostatečném výkonu TČ. Při dimenzování se snažíme, aby doplňkový zdroj na elektřinu pokrýval maximálně 10 % spotřeby tepla během roku.

Doplňkovým zdrojem může být jakýkoliv zdroj tepla: plynový kotel, kotel na tuhá paliva, krbová vložka apod. Nejčastěji se v současné době používají elektrická topná zařízení, která bývají většinou zabudovaná již v samotném tepelném čerpadle, nebo je možno si je objednat jako příslušenství. Tyto zabudované systémy mohou plnit funkci dohřevu TUV na požadovanou teplotu nebo ohřevu otopné vody, pokud výkon TČ není dostatečný.

Zabudované mohou být také plnohodnotné elektrokotle, které jsou využity jak pro ohřev TUV, tak pro ohřev otopné vody. Provoz těchto doplňkových zdrojů je zcela automatický. Díky teplotním čidlům se sepnou samostatně vždy, když není teplota vody na požadované hodnotě.

2.4 Otopná a chladicí soustava s TČ

Tepelná čerpadla jsou specifická svým provozem a také výstupními parametry otopné a chladicí vody. Jelikož výstupní teplota pro vytápění u běžných tepelných čerpadel nedosahuje vyšších hodnot než 55 °C, je třeba navrhnout otopnou soustavu, která účinně vytopí objekt i s nižší teplotou otopné vody.

2.4.1 Podlahový systém vytápění/chlazení

Vhodný způsob distribuce otopné vody je podlahové vytápění, pro které je charakteristický teplotní spád 45/35 °C. Systém je tvořen soustavou trubek zabudovaných v podlaze objektu, ve kterých proudí topná voda. Pro instalaci se velice často používá celá vnitřní plocha, s výjimkou prostor, kde je plánováno umístění vybavení (kuchyňská linka, zabudovaná skříň apod.). Celá podlaha se tedy stává jedním velkým otopným tělesem, které ohřívá vnitřní vzduch od spodu místnosti, který pak přirozeně stoupá nahoru a zamezuje tak vzniku chladné vrstvy vzduchu ve spodní části místnosti, jako tomu bývá u radiátorového provedení. Podlahové topení tedy přináší pocit tepelné pohody díky rovnoměrnému rozložení teplot v místnosti.

Podlahový systém lze v letních měsících využít i pro chlazení. Tato možnost ovšem není z hlediska tepelného komfortu člověka moc vhodná. Podlaha sama o sobě zůstává i v letních měsících poměrně studená a pokud ji začneme ještě chladit, způsobujeme obyvatelům objektu nepříjemný pocit chladu od země, který může být i zdraví škodlivý. Také nebude zajištěna

přirozená cirkulace vzduchu, jako u vytápění, kde teplý vzduch stoupá rovnoměrně ke stropu. Všechn chladný vzduch se bude tedy držet při zemi.

2.4.2 Stropní a stěnové vytápění a chlazení

Na stejném principu jako podlahové topení pracují i tyto dva systémy. U stropního vytápění budeme jistě narážet na problém s prohřátím spodní části místnosti, protože nebude docházet k přirozené cirkulaci vzduchu. Ovšem stropní systémy mohou být velice elegantním řešením pro chlazení objektu.

Stěnové vytápění podobně jako podlahové vytápění velice rychle a efektivně dokáže distribuovat teplo v celém objemu místnosti tak, aby byla dosažena tepelná pohoda. Výhodou stěnového vytápění je také možnost aplikace vyšších teplot otopné vody (až 70 °C), kterou nelze aplikovat v podlahovém vytápění, jelikož při styku končetiny s podlahou při chůzi může být teplota příliš vysoká a pro člověka nepříjemná. Maximální teplota u podlahového vytápění v trvale obývaných místnostech je také dána hygienickými požadavky.

Jak u podlahového, tak stropního i stěnového systému v případě chlazení nesmíme podkročit teplotu rosného bodu, aby nedocházelo ke kondenzaci vodních par na jejich povrchu. Další nevýhodou při chlazení těmito systémy je nemožnost jiné úpravy vzduchu, jako je odvlhčení. Může potom docházet k navyšování vlhkosti z důvodu ochlazení vzduchu a tím snížení tepelného komfortu.[60]

2.4.3 Ventilátorové konvektory

Mezi nejčastěji používané způsoby chlazení objektů patří stropní konvektory. Chlazení je zprostředkováno v trubkovém výměníku tepla, ve které proudí studená voda, běžně o teplotním spádu 7/12°C. Tato voda ochladí vzduch z místnosti, který je pomocí ventilátoru nasáván a následně opět hnán do místnosti. Jelikož teplota chladicí vody je pod teplotou rosného bodu, vzniká zde kondenzát, který je třeba odvádět. Ventilátorové konvektory jsou vhodné i pro vytápění. [47]

2.4.4 Vysokoteplotní otopná soustava v rekonstruovaných objektech

Tepelná čerpadla jsou využitelná i v objektech, kde je instalována původní vysokoteplotní otopná soustava. Původní zdroj tepla dodával do systému vodu o teplotách 70–90 °C. Takto dimenzovaný otopný systém byl schopen předat dostatečné teplo do interiéru pro pokrytí původních tepelných ztrát. Pokud je objekt po rekonstrukci zateplen, sníží se tepelné ztráty a ve většině případů dostahuje výkon původních otopných těles i s nižší teplotou otopné vody. Není tedy vždy třeba instalovat nový otopný systém, i když jak bylo řečeno v předchozích kapitolách, nižší teplota otopné vody zajišťuje efektivnější chod TČ.

3 Výpočet energetické náročnosti vybraného RD

Výpočet energetické náročnosti budov, tj. výpočet roční dodané energie na vytápění, chlazení, přípravu teplé vody a osvětlení, je v programu prováděn v souladu s EN ISO 52016-1 a podle principů vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb.

Výpočet je prováděn měsíční metodou dle vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 sb. S použitím okrajových podmínek dle TNI 730331-1 a metodického pokynu dotačního programu Nová zelená úsporám (NZÚ).

V kapitolách 3.2 až 3.5 je popsán podrobný postup výpočtu včetně použitých vztahů. [61] Jednotlivé kapitoly obsahují vzorové výsledné hodnoty pro vybranou variantu opatření. Výsledky všech variant opatření pro snížení tepelných ztrát a navrhované zdroje tepla a chladu jsou obsaženy v příloze (Příloha A).

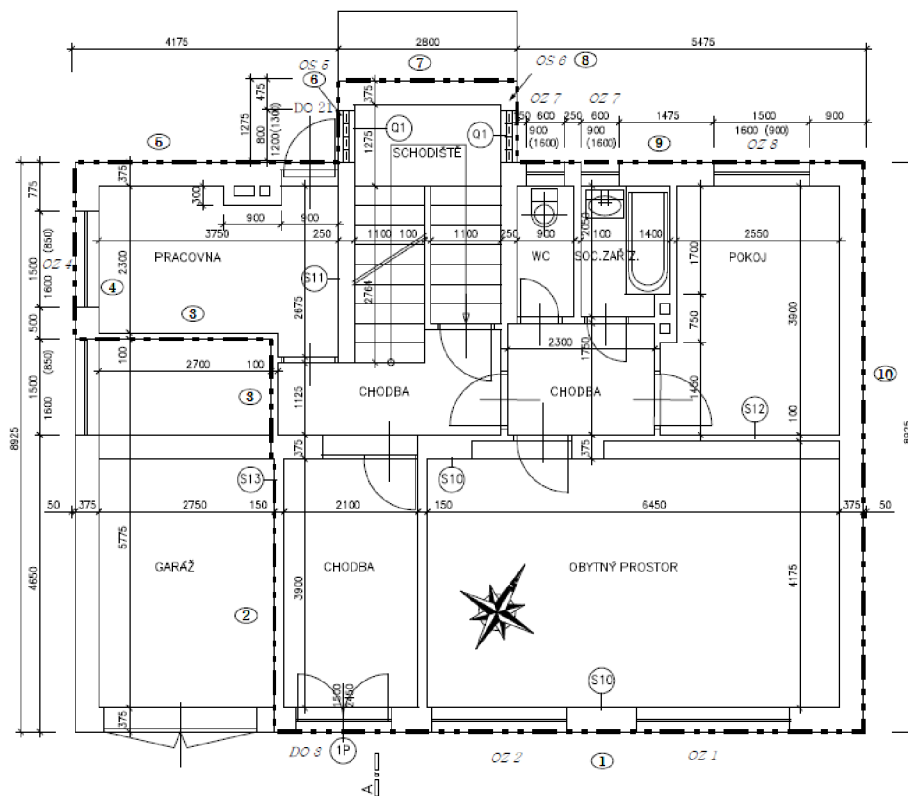
3.1 Popis objektu

Objekt je lokalizován v katastrálním území Šardice jako RD samostatně stojící. Stavba je mírně členitý plně podsklepený dvoupodlažní objekt (v 1 PP jsou místnosti nevytápěné, nevytápěná je i garáž v 1 NP), vytápěné a obývané 1NP a 2NP jsou zcela nad úroveň terénu. Suterén je částečně zapuštěn pod úroveň terénu. Na Obr. 27 a Obr. 28 je znázorněna orientace objektu spolu s energeticky vztažnou plochou.

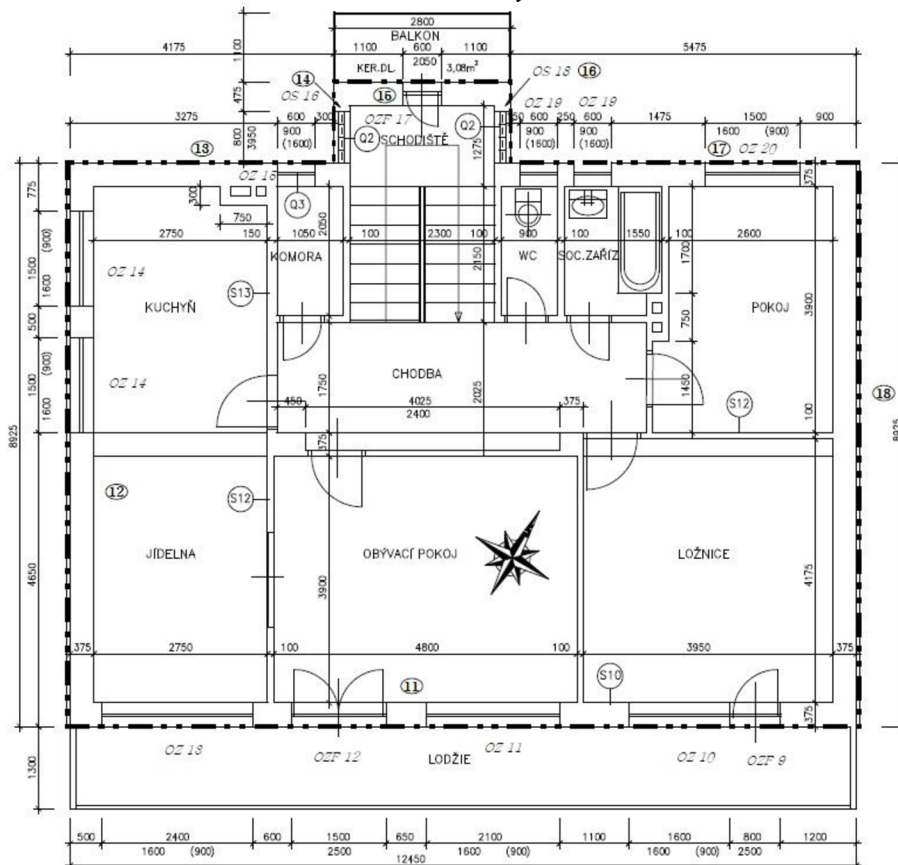
Dům byl před zateplením vytápěn plynovým atmosférickým kotlem Destila DPL 25 a kotlem na pevná fosilní paliva (kusové dřevo) Viadrus Herkules U22 s výkonem 22 kW. Výroba teplé vody (TV) byla v objektu realizována před zateplením v kombinovaném ležatém akumulčním ohřivači Slokov Bzenec 160 l.

Rodinný dům je proveden jako zděná stavba z převážně děrovaných cihel, plochá střecha je řešena jako keramická konstrukce z Hurdis desek a nosná konstrukce podlahy nad nevytápěným suterénem je tvořena klenbou z cihel plných pálených (CPP) a škvárovým násypem. Okenní výplně otvorů jsou po výměně, instalována jsou plastová okna s izolačním dvojsklem. Vstupní a zadní dveře jsou původní dřevěné a v chodbě jsou luxferové prosvětlovací otvory.

Elektroinstalace budovy zásobuje obvyklá zařízení jako osvětlení, zásuvky, kuchyně apod. V RD není použito žádné VZT zařízení.



Obr. 27 – Půdorys 1NP



Obr. 28 – Půdorys 2NP

3.2 Roční dodaná energie na vytápění

Spotřeba energie na vytápění se určí jako součet měsíčních dodaných energií $EP_{H,j}$.

$$EP_H = \sum_{j=1}^{12} EP_{H,j} = \sum_{j=1}^{12} (Q_{H,fuel,j} + Q_{H,aux,j}) \quad (3.1)$$

$Q_{H,fuel,j}$ spotřeba energie jednotlivých zdrojů tepla v j-tém měsíci [J]
 $Q_{H,aux,j}$ pomocná energie na vytápění v j-tém měsíci [J]

Jelikož v uvažovaném rodinném domě nejsou použity, a ani se neplánují použít, solární kolektory, v dalším výpočtu je tato část vynechána. Roční energie bude tedy součet energie potřebné pro chod zdrojů tepla a energie pomocné, která zajišťuje chod čerpadel, regulace aj. Pomocná energie je podrobněji rozepsána v kapitole 3.2.3.

3.2.1 Spotřeba energie zdrojů tepla na vytápění

Měsíční spotřebu zdrojů tepla na vytápění, ať používáme k vytápění statický či nástěnný kotel, tepelné čerpadlo, nebo kombinaci více zdrojů tepla, vypočítáme dle rovnice (3.2).

$$Q_{H,fuel,j} = \sum_{t=1}^m \left(\frac{Q_{H,dis,j} \cdot f_{H,t}}{COP_{H,gen,t}} + Q_{H,hp,t,j} \right) + \sum_{z=1}^n \left(\frac{Q_{H,dis,j} \cdot f_{H,z}}{\eta_{H,gen,z}} \right) \quad (3.2)$$

m počet tepelných čerpadel
 n počet ostatních zdrojů tepla
 $Q_{H,dis,j}$ vypočtená spotřeba energie v distribučním systému vytápění v j-tém měsíci [J]
 f_H je podíl z $Q_{H,dis,j}$ připadající na příslušný zdroj tepla [-]
 $COP_{H,gen,t}$ roční provozní topný faktor t-tého TČ [-]
 $Q_{H,hp,t,j}$ energie získaná z okolního prostředí v j-tém měsíci t-tým TČ [J]
 $\eta_{H,gen,z}$ celková průměrná účinnost výroby tepla z-tým zdrojem tepla [-]

Při využití tepelných čerpadel získáváme energii z okolního prostředí, která snižuje celkovou spotřebu elektrické energie ze sítě. Tato energie je závislá zejména na ročním topném faktoru a spotřebě energie připadající na TČ.

Roční topný faktor pro daná TČ ve výpočtové části byl vyhledám v technických listech, pro které je počítán dle předpisu EU č. 813/2013. Hodnota SCOP je stanovena pro průměrné klimatické podmínky, které odpovídají poloze České republiky. Měření probíhá také při aplikaci za nízké teploty (W35) či střední teploty (W55). Pro potřeby modelového domu je třeba brát aplikace střední teploty. Jednotlivé topné faktory vybraných TČ jsou uvedeny v Tabulka 15.

$$Q_{H,hp,t,j} = \frac{COP_{H,gen,t} - 1}{COP_{H,gen,t}} \cdot Q_{H,dis,j} \cdot f_{H,t} \quad (3.3)$$

Spotřeba energie v distribučním systému vychází z potřeby tepla na vytápění, ovšem musí být vyšší o účinnosti sdílení tepla v distribučním systému, které v praxi nikdy nedosahují 100%.

$$Q_{H,dis,j} = \frac{Q_{H,nd,j}}{\eta_{H,em} \cdot \eta_{H,dis}} \quad (3.4)$$

$Q_{H,nd,j}$	potřeba tepla na vytápění v j-tém měsíci [J]
$\eta_{H,em}$	účinnost sdílení tepla mezi vyt. prostředím a distribučními prvky otopné soustavy [-]
$\eta_{H,dis}$	účinnost systému distribuce tepla [-]

3.2.2 Potřeba tepla na vytápění v j-tém měsíci

Potřeba tepla vychází z tepelných ztrát v jednotlivých měsících, které je třeba pokrýt. Snižuje se ovšem o získanou tepelnou energii z vnitřních zdrojů a solární energii přes průsvitné i neprůsvitné konstrukce. Tyto tepelné zisky jsou vynásobeny faktorem využitelnosti tepelných zisků, který závisí zejména na regulaci otopné soustavy a tepelné setrvačnosti obalových konstrukcí.

$$Q_{H,nd,j} = Q_{H,ht,j} - \eta_{H,gn,j} \cdot Q_{H,gn,j} \quad (3.5)$$

$Q_{H,ht,j}$	potřeba tepla na pokrytí tepelné ztráty v j-tém měsíci [J]
$\eta_{H,gn,j}$	faktor využitelnosti tepelných zisků [-]
$Q_{H,gn,j}$	velikost tepelných zisků v j-tém měsíci [J]

Potřeba tepla na pokrytí tepelné ztráty v j-tém měsíci

Hodnota potřeby tepla pro pokrytí tepelných ztrát je určena ze vztahu (3.6). Velikost je závislá na teplotách venkovního vzduchu a návrhové vnitřní teplotě a dále také na měrných tepelných tocích prostupem a větráním.

$$Q_{H,ht,j} = (H_{T,j} + H_{V,j}) \cdot (\theta_i - \theta_{e,j}) \cdot t_j \quad (3.6)$$

$H_{T,j}$	měrný tepelný tok prostupem v j-tém měsíci [W/K]
$H_{V,j}$	měrný tepelný tok větráním v j-tém měsíci [W/K]
θ_i	vnitřní návrhová teplota [°C]
$\theta_{e,j}$	průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu [°C]
t_j	délka j-tého měsíce [s]

Vnitřní návrhová teplota je ve výpočtu uvažována 20 °C [36] a průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu je podrobně rozepsána v příloze (Příloha A).

Měrný tepelný tok prostupem

$$H_{T,j} = H_d + H_{g,j} + H_u \quad (3.7)$$

- H_d měrný tepelný tok konstrukcemi mezi vytápěným prostorem a vnějším vzduchem [W/K]
 $H_{g,j}$ měrný tepelný tok konstrukcemi ve styku se zemí v j-tém měsíci [W/K]
 H_u měrný tepelný tok konstrukcemi přilehlými k nevytápěným prostorům [W/K]

Pro stanovení měrného tepelného toku je třeba znát plochy konstrukcí a otvorových výplní a jednotlivé součinitele prostupu tepla. Tabulka 6 ukazuje podrobný rozpis vstupních veličin a vypočtených veličin při výpočtu součinitele prostupu tepla U [W/m²K] stěny obvodové (SO), který udává kolik tepla unikne konstrukcí o ploše 1 m² při rozdílné teplotě jejich povrchů. [5] Tento údaj dále slouží k výpočtu měrného tepelného toku konstrukcemi.

Tabulka 6 – Skladba a izolační vlastnosti obvodové zdi objektu v původním stavu

Název konstrukce:		SO S10 CD 375			
Typ hodnocené konstrukce:		Stěna vnější jednoplášťová			
Korekce součinitele prostupu dU:		0,100 W/(m ² K)			
<u>Składba konstrukce (od interiéru):</u>					
Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m ³]
1	Omítka vápenná	0,0150	0,8700	840,0	1600,0
2	Zdivo CDm tl. 375 mm 2	0,3750	0,7300	960,0	1550,0
3	Omítka vápenocementová	0,0250	0,9900	790,0	2000,0
Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy a Ro je objemová hmotnost vrstvy.					
<u>Okrajové podmínky výpočtu:</u>					
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi:		0,13 m ² K/W			
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse:		0,04 m ² K/W			
<u>Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:</u>					
Tepelný odpor konstrukce R:		0,507 m ² K/W			
Součinitel prostupu tepla konstrukce U:		1,477 W/(m²K)			

Měrný tepelný tok větráním

K tepelným ztrátám větráním dochází netěsnostmi konstrukcí a otvorových výplní. Pomocí činitelů zohledňujeme povětrnostní podmínky a rozdíl teplot mezi exteriérem a interiérem, které tuto ztrátu ovlivňují.

$$H_{V,j} = \rho \cdot c \cdot \sum_k b_{k,j} \cdot q_{V,k,j} \quad (3.8)$$

ρ	hustota vzduchu [kg/m ³]
c	měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kg·K]
$b_{k,j}$	činitel teplotní redukce pro k-tý objemový tok větráním v j-tém měsíci [-]
$q_{V,k,j}$	k-tý objemový tok vzduchu vstupující do hodnocené zóny v j-tém měsíci [m ³ /s]

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty jednotlivých měrných tepelných toků pro modelový dům v původním stavu.

Tabulka 7 – Výsledné měrné tepelné toky pro modelový dům v původním stavu

Měrný tepelný tok větráním	H_V	[W/K]	83,32
Měrný tepelný tok zeminou	H_g		-
Měrný tepelný tok přes nevytápěné prostory	H_u		95,93
Měrný tepelný tok konstrukcemi ve styku s exteriérem	H_d		548,68
Celkový měrný tepelný tok	H		727,93

Velikost tepelných zisků v j-tém měsíci

Tepelné zisky se stanovují jako součet vnitřních zisků a zisků od slunečního záření dle následujícího vzorce.

$$Q_{H,gn,j} = Q_{int,j} + Q_{H,sol,j} \quad (3.9)$$

Vnitřní tepelné zisky $Q_{int,j}$ zahrnují zisky od osob, spotřebičů a osvětlení. Pro vnitřní zisky je třeba zjistit či určit spoustu činitelů, které zisky ovlivňují např.: průměrná produkce tepla osobami, časový podíl provozu spotřebičů, účinnost zdrojů tepla apod.

Solární tepelné zisky jsou součtem zisků průsvitnými i neprůsvitnými konstrukcemi a jsou zde zahrnuty i tepelné zisky nevytápěnými prostory, které jsou ovšem většinou zanedbatelné. Důležitými faktory jsou propustnost slunečního záření okny, korekční činitel zasklení okna, pohltivost záření vnějšího povrchu konstrukce a další. Pro výpočet byly využity konstanty a průměrné hodnoty vyhledané v programu Energie 2019 pro konkrétní stavební prvky.

Tabulka 8 – Souhrn měsíčních tepelných zisků pro variantu 1 tepelně izolačních opatření

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q_{int,j}$ [J]	1,271	1,071	1,12	1,026	1,013	0,965	0,997	1,013	1,032	1,117	1,145	1,265
$Q_{H,sol,j}$ [J]	1,701	2,505	3,794	4,581	5,721	5,364	5,908	5,425	4,026	3,191	1,135	0,783

3.2.3 Pomocné energie na vytápění

Systémy určené na vytápění vyžadují ke svému provozu určité množství pomocné energie, která je využita pro provoz čerpadel, ventilátorů apod. Velikost pomocné energie se stanoví ze vztahu (3.10).

$$Q_{H,aux} = \sum_{j=1}^{12} [(f_{H,ctl} \cdot P_{H,p} + P_{H,em}) \cdot f_{H,j} + P_{H,ctl}] \cdot t_j \quad (3.10)$$

- $f_{H,ctl}$ korekční činitel typu čerpadla [-]
 $P_{H,p}$ instalovaný elektrický příkon čerpadel [W]
 $P_{H,em}$ instalovaný el. příkon systému emise energie (příkon ventilátorů) [W]
 $f_{H,j}$ časový podíl provozu otopné soustavy v j-tém měsíci [-]
 $P_{H,ctl}$ instalovaný elektrický příkon všech systémů měření a regulace [W]
 t_j délka j-tého měsíce [s]

Tabulka 9 udává přehledný soupis počítaných veličin potřebných pro určení celkové dodané energie na vytápění EP_H [GJ]. Podrobný výpočet se všemi okrajovými podmínkami je uveden v příloze této diplomové práce (viz Příloha A).

Tabulka 9 – Výsledná roční dodaná energie na vytápění pro modelový dům v původním stavu

Měsíc	$Q_{H,ht}$ [GJ]	$Q_{H,gn}$ [GJ]	$\eta_{H,dgn}$ [-]	$Q_{H,nd}$ [GJ]	$Q_{H,dis}$ [GJ]	$Q_{H,fuel}$ [GJ]	$Q_{aux,H}$ [GJ]	EP_H [GJ]
1	43,023	2,869	0,991	40,179	50,731	69,015		
2	34,861	2,996	0,987	31,905	40,284	54,803		
3	30,347	4,151	0,972	26,310	33,220	45,193		
4	19,260	4,794	0,931	14,797	18,683	25,417		
5	-	-	-	-	-	-		
6	-	-	-	-	-	-		
7	-	-	-	-	-	-		
8	-	-	-	-	-	-		
9	9,611	4,282	0,846	5,986	7,558	10,282		
10	20,099	3,586	0,958	16,663	21,039	28,622		
11	29,950	1,758	0,993	28,204	35,611	48,446		
12	39,200	1,545	0,996	37,660	47,551	64,689		
Celkem ročně						346,469	0,414	346,883

3.3 Roční dodaná energie na přípravu teplé vody

Energie dodaná pro přípravu TUV EP_W zaujímá nemalý podíl v celkové spotřebě energie. Dle následujících vzorců lze určit spotřebu tepla na ohřívání TUV v domácnosti. [36]

$$EP_W = \sum_{j=1}^{12} EP_{W,j} = \sum_{j=1}^{12} (Q_{W,fuel,j} + Q_{W,aux,j}) \quad (3.11)$$

$Q_{W,fuel,j}$ spotřeba energie jednotlivých zdrojů tepla na ohřev TUV v j-tém měsíci [J]
 $Q_{W,aux,j}$ pomocná energie na ohřev TUV v j-tém měsíci [J]

Podle vzorce (3.12) je určena spotřeba energie jednotlivých zdrojů tepla využívaných pro ohřev TUV.

$$Q_{W,fuel,j} = \sum_{t=1}^m \left(\frac{Q_{W,dis,j} \cdot f_{W,t}}{COP_{H,gen,t}} + Q_{W,hp,t,j} \right) + \sum_{z=1}^n \left(\frac{Q_{W,dis,j} \cdot f_{W,z}}{\eta_{W,gen,z}} \right) \quad (3.12)$$

m počet tepelných čerpadel
 n počet ostatních zdrojů tepla
 $Q_{W,dis,j}$ vypočtená spotřeba energie v distr. systému ohřevu TUV v j-tém měsíci [J]
 f_W je podíl z $Q_{W,dis,j}$ připadající na příslušný zdroj tepla [-]
 $COP_{H,gen,t}$ roční provozní topný faktor t-tého TČ [-]
 $Q_{W,hp,t,j}$ energie získaná z okolního prostředí v j-tém měsíci t-tým TČ [J]
 $\eta_{W,gen,z}$ celková průměrná účinnost výroby tepla z-tým zdrojem tepla [-]

$$Q_{W,hp,t,j} = \frac{COP_{H,gen,t} - 1}{COP_{H,gen,t}} \cdot Q_{W,dis,j} \cdot f_{W,t} \quad (3.13)$$

Spotřeba dodané energie pro ohřev teplé vody vychází z vypočtené spotřeby tepla v distribučním systému, která v sobě zahrnuje nejen potřebu tepla na přípravu TUV, ale také potřebu tepla na pokrytí tepelných ztrát zásobníku a rozvodů. Potřeba tepla na přípravu TUV, která je závislá na teplotě vystupující vody, teplotě studené vody, roční spotřebě vody a dalších parametrech je počítána dle vzorce (3.15). Program NZÚ uvažuje teplotu studené vody $\theta_{W,c} = 10^\circ C$ a teplotu teplé vody $\theta_{W,h} = 55^\circ C$, tyto hodnoty jsou proto použity pro výpočet. Spotřeba vody byla také určena dle pokynů NZÚ 40 l/den pro jednu osobu, při uvažování 2 osob obývajících vybraný objekt.

$$Q_{W,dis,j} = Q_{W,nd,j} + Q_{W,tn,j} + Q_{W,net,j} + Q_{W,cir,j} \quad (3.14)$$

$Q_{W,nd,j}$	potřeba tepla na přípravu TUV v j-tém měsíci [J]
$Q_{W,tn,j}$	potřeba tepla na pokrytí ztráty zásobníku TUV v j-tém měsíci [J]
$Q_{W,net,j}$	tepla na pokrytí ztráty rozvodů TUV v j-tém měsíci [J]
$Q_{W,cir,j}$	potřeba tepla na pokrytí TZ systému cirkulace TUV v j-tém měsíci [J]

$$Q_{W,nd,j} = \frac{V_W \cdot \rho_W \cdot c_W \cdot (\theta_{W,h} - \theta_{W,c})}{12} \quad (3.15)$$

V_W	roční potřeba teplé vody [m ³]
ρ_W	hustota vody [kg/m ³]
c_W	měrná tepelná kapacita vody [J/kgK]
$\theta_{W,h}$	průměrná roční teplota teplé vody v místě přípravy [°C]
$\theta_{W,c}$	průměrná roční teplota přiváděné studené vody [°C]

Tabulka 10 ukazuje přehledný soupis počítaných veličin vedoucích k určení výsledné roční dodané energie pro přípravu TUV. Číselné hodnoty jsou výsledkem výpočtu pro modelový dům v původním stavu.

Tabulka 10 – Výsledná roční dodaná energie na přípravu TUV pro modelový dům v původním stavu

Měsíc	$Q_{W,dis,j}$ [GJ]	$Q_{W,fuel,j}$ [GJ]	$Q_{W,aux,j}$ [GJ]	EP_W [GJ]
1	0,689	0,803		
2	0,666	0,777		
3	0,689	0,803		
4	0,681	0,794		
5	0,689	0,803		
6	0,681	0,794		
7	0,689	0,803		
8	0,689	0,803		
9	0,681	0,794		
10	0,689	0,803		
11	0,681	0,794		
12	0,689	0,803		
Celkem ročně			0,003	9,573

3.4 Roční dodaná energie na chlazení

Energie dodaná na chlazení se podobně jako energie na vytápění skládá z energie spotřebované zdroji chladu a pomocných energií.

$$EP_C = \sum_{j=1}^{12} EP_{C,j} = \sum_{j=1}^{12} (Q_{C,fuel,j} + Q_{C,aux,j}) \quad (3.16)$$

$Q_{C,fuel,j}$ spotřeba energie jednotlivých zdrojů chladu v j-tém měsíci [J]

$Q_{C,aux,j}$ pomocná energie na chlazení v j-tém měsíci [J]

U spotřeby energie jednotlivých zdrojů vstupuje do výpočtu průměrný chladicí faktor, jenž byl rozebrán v kapitole 2.2.3.

$$Q_{C,fuel,j} = \sum_{z=1}^n Q_{C,dis,j} \cdot f_{C,z} \cdot \left[\frac{1}{\eta_{C,z}} + \left(1 + \frac{1}{EER_z} \right) \cdot e_{r,z} \cdot f_{r,z} \right] \quad (3.17)$$

$Q_{C,dis,j}$ spotřeba energie v distribučním systému chlazení v j-tém měsíci [J]

$f_{C,z}$ podíl z $Q_{C,dis,j}$ připadající na z-tý zdroj chladu [-]

$\eta_{C,z}$ celková průměrná účinnost výroby energie z-tým zdrojem chladu [-]

EER_z průměrný chladicí faktor z-tého zdroje chladu [-],

$e_{r,z}$ specifický součinitel elektrického příkonu chlazení kondenzátoru závislý na typu zpětného chlazení [-]

$f_{r,z}$ střední součinitel provozu zpětného chlazení [-]

Vypočtená spotřeba energie v distribučním systému je určena vzorcem (3.18).

$$Q_{C,dis,j} = \frac{Q_{C,nd,j}}{\eta_{C,em} \cdot \eta_{C,dis}} \quad (3.18)$$

$Q_{C,nd,j}$ potřeba energie na chlazení v j-tém měsíci [J],

$\eta_{C,em}$ účinnost sdílení chladu mezi chlazeným prostředím a distribučními prvky chladicí soustavy [-]

$\eta_{C,dis}$ účinnost systému distribuce energie na chlazení [-]

Potřeba energie na chlazení

$$Q_{C,nd,j} = Q_{C,gn,j} - \eta_{C,ls,j} \cdot Q_{C,ht,j} \quad (3.19)$$

- $Q_{C,gn,j}$ velikost tepelných zisků v j-tém měsíci [J]
 $\eta_{C,ls,j}$ faktor využitelnosti tepelných ztrát [-]
 $Q_{C,ht,j}$ tepelná výměna mezi interiérem a exteriérem (může jít o ztrátu i zisk) v j-tém měsíci [J]

Pro výpočet tepelných zisků v měsících, kdy je využívána klimatizace, je použito vzorce (3.9). Stejně tak se postupuje ve výpočtu potřeby tepla na pokrytí tepelných ztrát/zisků. Výpočet probíhá dle vztahů v kapitole 3.2.2.

Tabulka 11 – Měsíční hodnoty veličiny vypočítaných při stanovení roční dodané energie na chlazení pro variantu 1 s TČ typu AWBT-E-AC 221.C13

Měsíc	$Q_{C,ht,j}$ [GJ]	$Q_{C,gn,j}$ [GJ]	$Q_{C,nd,j}$ [GJ]	$Q_{C,dis,j}$ [GJ]	$Q_{C,fuel,j}$ [GJ]	$Q_{C,aux,j}$ [GJ]	EP_C [GJ]
1	-	-	-	-	-		
2	-	-	-	-	-		
3	-	-	-	-	-		
4	-	-	-	-	-		
5	9,524	7,017	1,545	2,008	0,885		
6	5,649	6,604	2,453	3,188	1,405		
7	4,056	7,189	3,746	4,869	2,146		
8	4,567	6,722	3,057	3,973	1,751		
9	9,095	5,333	0,857	1,114	0,491		
10	-	-	-	-	-		
11	-	-	-	-	-		
12	-	-	-	-	-		
Celkem ročně					6,677	3,927	10,604

3.5 Roční dodaná energie na osvětlení a spotřebiče

Určitou část měsíční spotřeby energie tvoří také příkon elektřiny na osvětlení a provoz spotřebičů. Výpočet roční dodané energie pro tento účel je uveden v následujících podkapitolách.

$$EP_L = \sum_{j=1}^{12} EP_{L,j} = \sum_{j=1}^{12} (\Phi_{lt,j} \cdot t_j) + \sum_{j=1}^{12} (Q_{int,ap,j}) \quad (3.20)$$

- $\Phi_{lt,j}$ průměrný příkon elektřiny na osvětlení v j-tém měsíci [W]
 t_j délka j-tého měsíce [s]
 $Q_{int,ap,j}$ tepelný zisk od spotřebičů [J]

3.5.1 Příkon elektřiny na osvětlení

Pro výpočet příkonu elektřiny potřebný pro osvětlení použijeme vzorec (3.21).

$$\Phi_{lt,j} = \frac{f_{lt,j} \cdot W_{lt}}{8760} \quad (3.21)$$

W_{lt} roční potřeba elektřiny na osvětlení [Wh]

$$W_{lt} = W_{lt,A} \cdot A_{f,int} \quad (3.22)$$

$W_{lt,A}$ odhadnutá měrná roční dodaná energie na osvětlení v zóně [Wh/m²]

$A_{f,int}$ celková podlahová plocha zóny stanovená z vnitřních rozměrů [m²]

Odhadnutá měrná roční dodaná energie na osvětlení se určí z požadované osvětlenosti v zóně (90 lx), měrného příkonu osvětlení (0,05 W/m²lx) a roční doby provozu osvětlení (1500 h). [36]

3.5.2 Vliv spotřebičů

Z hlediska fyzikálně korektního postupu je třeba zohlednit vliv chodu spotřebičů na straně tepelných zisků a také na straně spotřeby energie. Dodaná energie se spočítá dle vzorce (3.23) a udává elektrickou energii spotřebovanou na provoz spotřebičů.

$$Q_{int,ap,j} = A_{f,int} \cdot f_{ap} \cdot q_{ap} \cdot t_j \quad (3.23)$$

f_{ap} časový podíl provozu spotřebičů v hodnocené zóně [-]

q_{ap} průměrná produkce tepla spotřebiči v zóně [W/m²]

Průměrná produkce tepla spotřebičů pro rodinné domy je 3 W/m² při časovém podílu provozu spotřebičů 20 %.

Vyhláška MPO ČR č. 78/2013 Sb. vliv spotřebičů nezahrnuje a uvažuje s nimi pouze na straně tepelných zisků. Jelikož výpočet provedený v této diplomové práci neslouží jako úřední podklad pro program NZÚ ani jako jeden z dokumentů průkazu energetické náročnosti, které se musí touto vyhláškou řídit, byl vliv spotřebičů zahrnut i jako negativní faktor spotřeby energie a výsledek se bude více odpovídat skutečným hodnotám.

Jelikož při variantách opatření neuvažujeme s výměnou typu osvětlovací soustavy ani s obměnou spotřebičů, bude mít roční dodaná energie na osvětlení a spotřebiče ve všech variantách stejnou hodnotu.

3.6 Celková roční dodaná energie

Celková roční dodaná energie je součtem energií využitých pro dílčí účely. Tabulka 12 shrnuje výsledky ročních vypočtených spotřeb energie pro jednotlivé účely a také celkovou roční dodanou energii.

$$EP = Q_{fuel} = EP_H + EP_C + EP_W + EP_L \quad (3.24)$$

EP_H	spotřeba energie na vytápění za rok [GJ]
EP_C	spotřeba energie na chlazení za rok [GJ]
EP_W	spotřeba energie na ohřev TUV za rok [GJ]
EP_L	spotřeba energie na osvětlení a spotřebiče za rok [GJ]

Tabulka 12 – Roční dodaná energie pro modelový dům v původním stavu vypočítaná v programu Energie 2019

Dodané energie	[GJ]	[MWh]
EP_H	346,883	96,356
EP_C	-	-
EP_W	9,576	2,66
EP_L	7,750	2,153
EP	364,208	101,169

Jako zdroje tepla jsou v současnosti instalovány 2 kotle na plyn a hnědé uhlí, zásobník TUV je ohříván plynovým kotlem a elektrickou topnou tyčí. Pro srovnání současného stavu a navržených opatření pro snížení ENB z hlediska platby za palivo je třeba rozdělit dodanou energii dle energonositelů podle jejich podílu na dodávání energie do RD.

Spotřeba energie dle výpočtu programu Energie 2019 byla upravena validačním činitelem, který byl určen na základě skutečné spotřeby paliva udané majitelem objektu. Výslednou roční cenu za palivo v objektu nezatepleného RD s původními zdroji nalezneme v tabulce 13.

Tabulka 13 – Dodaná energie rozdělená dle energonositelů a celková cena energie
pro původní stav objektu [62–65]

Elektřina			Dřevo			Plyn		
			Výhřevnost	MJ/kg	14,62	Výhřevnost	MJ/m ³	33,48
Spotřeba	GJ/rok	9,82	Spotřeba	GJ/rok	222,39	Spotřeba	GJ/rok	131,99
	MWh/rok	2,73		MWh/rok	61,78		MWh/rok	36,66
				kg/rok	15 211,60		m ³ /rok	3 942,26
			Spotřeba upravená	kg/rok	7 102,30	Spotřeba upravená	MWh/rok	17,12
Cena	Kč/MWh	11 378,34	Cena	Kč/kg	3,50	Cena	Kč/MWh	1 178,21
Poplatky	Kč/rok	3 712,93				Poplatky	Kč/rok	8 101,44
Cena celkem	Kč/rok	15 091,27	Cena celkem	Kč/rok	24 858,04	Cena celkem	Kč/rok	28 269,99
Celkem	Spotřeba energie vypočtená						GJ/rok	364,20
	Validační součinitel						-	0,47
	Spotřeba energie upravená						GJ/rok	175,28
	Cena						Kč/rok	68 219

Cena plynu a elektřiny (tarif D25d) byla určena z ceníku dodavatele E.ON. Cena dřeva je určena z průměrných cen paliv na portálu TZB-info.

4 Kombinace a porovnání tepelně-izolačních opatření spolu s navrženým zdrojem tepla a chladu

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1, ke snížení tepelných ztrát vede použití izolačních materiálů a výměna otvorových výplní. Kombinováním jednotlivých stavebních úprav lze dosáhnout značného snížení spotřebované energie na vytápění. V kombinaci s vhodným zdrojem tepla, který je správně nadimenzován, můžeme roční náklady na dodanou energii snížit až na polovinu původní částky.

V dalších kapitolách jsou popsány varianty pro snížení TZ z hlediska ekonomického i technického. Ke každé variantě jsou vybrány možné typy TČ v různých výkonnostních třídách a je posuzováno z ekonomického hlediska, který zdroj tepla a chladu je pro danou variantu optimální.

Varianta 1

Z výsledků výpočtu TZ modelového domu v původním stavu bylo vidět, že k největším únikům tepla dochází přes obvodovou stěnu, proto v první variantě je navrženo zateplení obvodové stěny (OS) KZS Weber therm standard s EPS Greywall v tloušťce 140 mm. Vyměněny byly také staré nevyhovující vchodové dveře a dveře na zahradu. Cenová nabídka otvorových výplní pro tuto i ostatní varianty byla zhotovena firmou RI OKNA a.s.

Tepelné ztráty po zateplení činí 15,19 kW. Sledované parametry zateplení vyhovují podmínkám pro získání dotace z programu NZÚ ve skupině A.0. dle tabulky 14.

Tabulka 14 – Požadované parametry v oblasti podpory A programu NZÚ a výše podpory [66]

Sledovaný parametr	Označení [jednotky]	A.0	A.1	A.2	A.3
Měrná roční potřeba tepla na vytápění po realizaci	E_A [kWh.m ⁻² .rok ⁻¹]	bez požadavku	≤ 90	≤ 55	≤ 35
nebo	U_{em} [W.m ⁻² .K ⁻¹]		nebo		
Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy			≤ 0,95 $U_{em,R}$	≤ 0,85 $U_{em,R}$	≤ 0,75 $U_{em,R}$
Měněné stavební prvky obálky budovy	U [W.m ⁻² .K ⁻¹]	$U \leq 0,9 \cdot U_{rec}^{1)}$	dle požadavku ČSN 73 0540-2 a vyhl. č. 78/2013 Sb.		
Procentní snížení vypočtené měrné roční potřeby tepla na vytápění E_A oproti stavu před realizací opatření	[%]	≥ 20 % ≥ 10% ²⁾	≥ 40 %	≥ 50 %	≥ 60 %
Povinný systém řízeného větrání se zpětným získáváním tepla splňujícího podmínky pro podoblast podpory C.4 ³⁾	[-]	ne	ne	ne	ano ⁴⁾
Typ konstrukce	Podoblast podpory				
	A.0 a A.1 (Kč/m ²)	A.2 (Kč/m ²)	A.3 (Kč/m ²)		
Obvodové stěny, průsvitné i neprůsvitné obvodové konstrukce obytných zimních zahrad, lehké obvodové pláště, střechy, stropy, podlahy nad exteriérem a ostatní konstrukce	500	600	800		
Výplně stavebních otvorů dle definice v kapitole 11	2 100	2 750	3 800		
Podlahy na terénu	700	900	1 200		

Jako zdroj tepla a chladu byla zvolena tepelná čerpadla od firmy Viessmann Vitocal 222-S vzduch/voda v provedení split. K variantě 1 byla vybrána pro porovnání 3 TČ (C.13, C.10, M-C10), jejichž označení a vybrané technické parametry jsou sepsány v tabulce 15. V tabulce je také uvedeno TČ M-C.8, které je navrženo pro další varianty 2 a 3.

Tabulka 15 – Výběr technických dat jednotlivých TČ a jejich pořizovací cena [50, 67]

Označení	Síťová přípojka	SCOP (W55) [-]	EER (A35/W7) [-]	P_{jm} [kW]	Pořizovací cena [Kč]
AWB-E-AC 221.C13	400V/50Hz	3,42	2,6	11,00	394 617
AWB-E-AC 221.C10	400V/50Hz	3,37	2,7	9,67	378 678
AWB-M-E-AC 221.C10	230V/50Hz	3,29	2,7	9,35	364 291
AWB-M-E-AC 221.C8	230V/50Hz	3,25	2,9	6,41	320 902

Pořizovací cena v tabulce 15 je sumou pořizovací ceny samostatné jednotky TČ, vnitřních klimatizačních jednotek a zahrnuje také cenu montáže. Cena tepelných čerpadel a klimatizačních jednotek byla dohledána na portálu firmy Viessmann. Cenu za celkovou montáž, uvedení do provozu, revizi a doplňkový materiál stanovila firma Makro realizace. Veškeré ceny uvedené v této práci jsou včetně DPH (viz Příloha B).

Varianta 2

Ve druhé variantě bylo cílem vyhovět požadavkům na dosažení dotace NZÚ v kategorii A.2. Při návrhu kombinace opatření se kalkulovalo s různými tloušťkami zateplení OS i ostatních konstrukcí. Požadovaných parametrů bylo nakonec dosaženo kombinací následujících opatření. Z konstrukcí je zateplena OS KZS Weber therm standard s izolační vrstvou EPS Greywall v tloušťce 200 mm. Stěny přilehlé k nevytápěnému prostoru jsou zatepleny polystyrenem EPS Greywall v tloušťce 100 mm. Podlaha ke garáži a k nevytápěnému suterénu je zateplena deskami z minerální vaty Isover NF 333 v tloušťce 80 a 140 mm. Na střechu byla navržena tepelná izolace z EPS Greywall v celkové tloušťce 240 mm. Dále je opět provedena výměna starých dveří stejně jako u varianty 1 a navíc jsou vyměněny sklobetonové otvorové výplně za plastové výplně s izolačním dvojsklem. Tepelné ztráty byly sníženy na 9,4 kW a navržené zateplení konstrukcí vyhovuje podmínkám pro získání dotace v programu NZÚ v kategorii A.2.

Navržená TČ pro tuto variantu jsou opět typu vzduch/voda a jejich označení je AWB-M-E-AC 221.C8 a AWB-M-E-AC 221.C10. Technické parametry jsou uvedeny v předchozí kapitole v tabulce 15.

Varianta 3

Z vypočítaných hodnot tepelných toků jednotlivými konstrukcemi a otvorovými výplněmi varianty 2 vyplynulo, že procentuálně největší únik tepla způsobují otvorové výplně. Proto byla ve variantě 3 snaha o zmenšení těchto ztrát. Ostatní tepelně-izolační opatření byla upravena tak, aby celkově byla dosažena podpora opět v kategorii A.2.

Výsledná kombinace opatření zahrnuje izolaci OS KZS Weber therm standard s izolační vrstvou EPS Greywall v tloušťce 140 mm, zateplení střechy EPS Greywall o tloušťce 240 mm, podlaha k suterénu je odizolována 140 mm deskami z minerální vaty Isover NF 333. Na stěnu ke garáži byl opět použit EPS Greywall o tloušťce 100 mm a proběhla také celková výměna původních otvorových výplní s dvojsklem za okna s izolačním trojsklem. Okna s dvojskly byla ponechána pouze na chodbě, kde byly původně sklobetonové panely.

Tato opatření vedla k tepelným ztrátám 8,98 kW. Navrhovaná TČ jsou stejné jako u druhé varianty.

4.1 Porovnání variant z hlediska obálky budovy

V předchozích kapitolách byly popsány jednotlivé varianty vedoucí ke snížení tepelných ztrát objektu. V původním stavu tepelné ztráty dosahovaly 23,97 kW. První způsob zateplení snížil tepelné ztráty na 15,19 kW a druhá varianta zateplení na 9,4 kW. Ve třetí variantě byla vyměněna veškerá okna a dveře a po výpočtu vyšly tepelné ztráty 8,98 kW.

V tabulce 16 je uvedeno, jak se s jednotlivými variantami zateplení mění jejich veličiny charakterizující prostup tepla konstrukcemi. První uvedenou veličinou je průměrný součinitel prostupu tepla budovy U_{em} , který se vypočítá z měrného tepelného toku H , pro nějž je výpočet uveden v kapitole 3.2.2. Poslední veličinou v tabulce je orientační tepelná ztráta Φ_{HL} pro teplotu vnějšího vzduchu – 12 °C.

Tabulka 16 – Porovnání char. veličin pro prostup tepla konstrukcemi u jednotlivých variant

		Původní stav	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
U_{em}	[W/m ² K]	1,30	0,73	0,35	0,35
H	[W/K]	749,14	474,58	293,77	280,56
Φ_{HL}	[kW]	23,97	15,19	9,40	8,98

Počáteční investice

Veškeré stavební úpravy s sebou nesou počáteční investici, kterou určuje cena samotného izolačního materiálu, doplňkového materiálu a také cena za práci. Nacenění zateplení obálky bylo provedeno v online kalkulaci firmy Weber. V rámci zateplení neproběhlo nacenění firmou, ale cena práce odhadnuta přibližně na 300 Kč/m². Souhrnná tabulka s cenou jednotlivých konstrukcí je doplněna níže.

Tabulka 17 – Srovnání cen zateplení a výměny otvorových výplní všech variant [66, 68]

		Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
		Cena [Kč]	Cena [Kč]	Cena [Kč]
Konstrukce s nárokem na dotaci	Obvodová stěna	154 755	213 074	162 216
	Střecha	-	102 482	101 008
	Stěna k nevytápěnému prostoru	-	14 516	14 516
	Podlaha nad nevytápěným prostorem	-	92 752	80 855
	Otvorové výplně (včetně montáže)	48 990	71 222	224 931
Konstrukce bez nároku na dotaci	Obvodová stěna garáže	16 431	21 298	15 827
Cena materiálu		220 175	515 345	599 353
Cena práce		69 689	152 673	142 800
Cena celkem		289 864	668 018	742 153
Dotace NZÚ		116 140	342 485	428 235
Cena s dotacemi		173 724	325 533	313 918

Z tabulky 17 je zřejmé, že nejnižší vstupní náklady náleží variantě 1, u které bylo ovšem snížení TZ nejnižší. Při porovnání vstupních investic varianty 2 a 3 si všimněme, že pokud bychom nezískali podporu z programu NZÚ, vstupní investice do stavebních úprav varianty 3 by byla markantně vyšší. Jelikož ale výška podpory pro výměnu otvorových výplní je vyšší než u neprůsvitných konstrukcí, výsledná vstupní investice u varianty 3 je o více než 10 000 Kč nižší než u varianty 2, i když snížení TZ je u této varianty větší.

Propustnost slunečního záření zasklením

Hlavním rozdílem ve variantách 2 a 3 je výměna původních plastových oken s dvojskly za okna s izolačními trojskly. Hlavním parametrem, který je touto výměnou ovlivněn je součinitel prostupu tepla U . U původních oken s dvojskly byla použita přibližná hodnota U dle tabulky 3 a u nově navržených oken byla použita hodnota uvedená výrobcem v seznamu výrobků registrovaných do programu NZÚ. Výměnou otvorových výplní jsme tedy dosáhli nižších TZ prostupem otvorovými výplněmi, což vede ke snížení potřebné energie pro vytápění.

Ovšem další parametr, který se s výměnou zasklení pojí, je solární faktor g , jehož bližší specifikace je uvedena v kapitole 1.4. Zasklení izolačním trojsklem v našem případě snižuje solární faktor, což znamená menší tepelné zisky. V zimních měsících tuto skutečnost považujeme za negativní faktor, který zvyšuje spotřebu energie na vytápění, ovšem v letních měsících je to naopak žádaný jev, díky němuž klesají tepelné zisky a tím i spotřeba energie na chlazení. Otázkou zůstává, na které straně je vliv větší a jaké další parametry mohou výslednou spotřebu energie ovlivnit. Tato práce se ovšem tomuto detailnímu problému blíže nevěnovala.

Tabulka 18 shrnuje tepelné vlastnosti otvorových výplní ve variantě 2 i 3 a jsou zde uvedeny i solární zisky jednotlivých variant, které potvrzují správnost tvrzení v předchozím odstavci.

Potřeba energie na chlazení

Překvapivý výsledek ohledně potřeby chladu dostáváme při porovnání variant 1 a 3. U varianty 3 jsou okna s trojsklem s nižším solárním faktorem a obálka je zateplena tak, že dosahuje menšího tepelného toku, který udává vzájemnou tepelnou výměnu mezi interiérem a exteriérem. Po zohlednění těchto parametrů byl předpoklad, že potřeba tepla na chlazení u varianty 3 bude nižší než u varianty 1. Výpočet ovšem ukázal, že dle vzorců, které program Energie 2019 používá bude výsledek opačný.

Vysvětlení nacházíme v míře vlivu součinitele prostupu tepla konstrukcí na solární zisky a chladnutí budovy. Solární zisky pronikají v největší míře skrz otvorové výplně a součinitel prostupu tepla neprůsvitných konstrukcí má na ně malý vliv. Zásadní vliv má ale součinitel prostupu tepla konstrukcí na chladnutí budovy. Tady podle očekávání chladne více budova méně zateplená. V důsledku toho vychází potřeba energie na chlazení nižší u méně zateplené budovy.

Výpočetní postup dle kapitoly 0 je použit v programu Energie 2019 dle metodiky EN ISO 52016-1, která je v současnosti platná a užívá se v praktických výpočtech. U výpočtu měsíční metodou jsou zvláště u dodané energie na chlazení výsledky pouze orientační, protože krok výpočtu je příliš veliký, a proto těžko říct, zda tento postup dokáže matematicky namodelovat chování budovy ve skutečnosti.

V následujícím vzorci je uveden výpočet tepelné výměny mezi interiérem a exteriérem, který může ve výsledku znázorňovat ztráty nebo zisky. V případě výpočtu měsíčním krokem se bude vždy jednat o ztrátu (i v letních měsících), jelikož návrhová teplota pro chlazení se volí 22 °C a průměrná vnější teplota v nejteplejším měsíci (červenec) je 18,8 °C. Vzniká tedy tepelná ztráta, která u varianty 1 je výrazně vyšší, a proto zdánlivě odlehčuje chlazení.

$$Q_{C,ht,j} = (H_{T,j} + H_{V,j}) \cdot (\theta_i - \theta_{e,j}) \cdot t_j \quad (4.1)$$

$Q_{C,ht,j}$ tepelná výměna mezi interiérem a exteriérem (ztráta nebo zisk)

Výsledná potřeba energie na chlazení $Q_{C,nd,j}$ se spočítá jako hodnota tepelných zisků, od kterých se odečte tepelná ztráta vynásobená koeficientem využití tepelných ztrát.

$$Q_{C,nd,j} = Q_{C,gn,j} - \eta_{C,ts,j} \cdot Q_{C,ht,j} \quad (4.2)$$

Vypočítané hodnoty jednotlivých veličin pro variantu 1 a 3 jsou uvedeny v tabulce 18. Solární zisky jsou uvedeny názorně pro jeden měsíc v roce (červenec). Hodnoty pro zbytek měsíce jsou uvedeny v příloze (Příloha A).

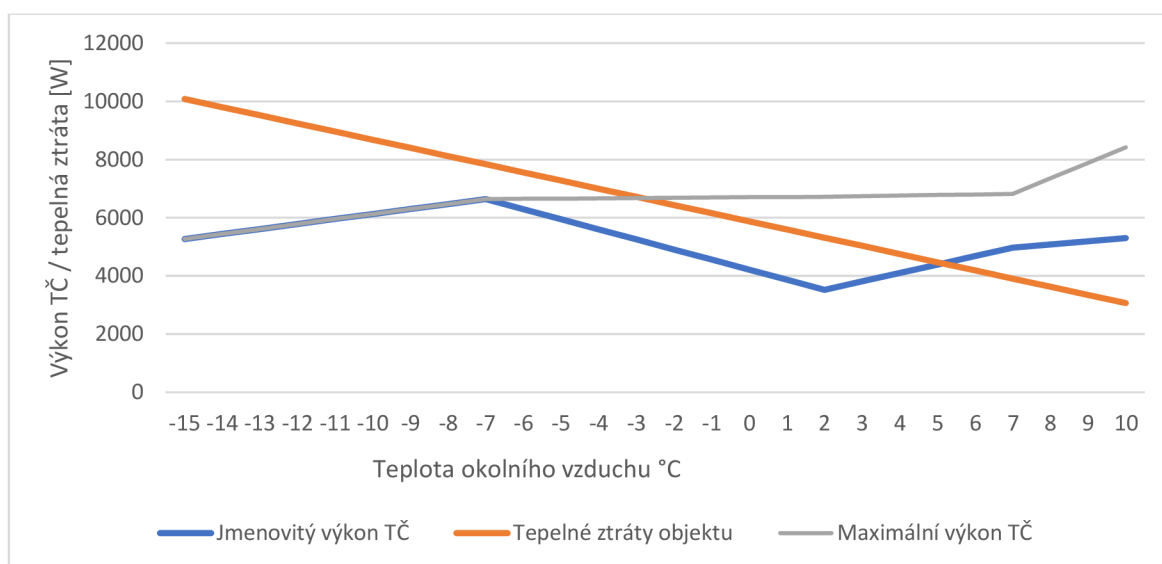
Tabulka 18 – Parametry otvorových výplní, solární zisky a potřeba energie na chlazení

		U	g	$Q_{C,ht,j}$	$Q_{sol,j}$	$Q_{C,nd,j}$	$Q_{C,nd}$
		[W/m ² K]	[-]	[GJ/měsíc]			[GJ/rok]
Původní stav	Původní dvojskla	1,50	0,67				-
	Sklobeton	3,06	0,75				
Varianta 1	Původní dvojskla	1,50	0,67	4,06	5,91	3,75	11,66
Varianta 2	Původní dvojskla	1,50	0,67	2,51	7,07	5,90	20,45
	Okno nové plast iz. dvojsklo	1,10	0,67				
Varianta 3	Okno nové plast iz. trojsklo	0,81	0,50	2,40	5,72	4,67	15,60

4.2 Porovnání variant z hlediska návržení zdroje tepla a chladu

V rámci porovnávání navržených TČ pro jednotlivé varianty se soustředíme na správné dimenzování zdroje s čímž souvisí určení bivalentní teploty a na to navazující podíl výroby energie samostatným TČ a doplňkovým elektrickým ohřevem.

Dle kapitoly 2.2.4 by TČ mělo svým jmenovitým výkonem pokrývat 60–80 % tepelných ztrát objektu. Z tohoto rozmezí byla vybrána jednotlivá tepelná čerpadla od firmy Viessmann. Následně byla pro každé TČ určena bivalentní teplota. Teplota bivalence byla stanovena průsečíkem křivky maximálního výkonu TČ a křivky TZ objektu. Znázornění pro variantu 3 v kombinaci s TČ typu AWB-M-E-AC 221.C8 nalezneme na Obr. 29, kde jsou v grafu zaneseny hodnoty jmenovitého a maximálního výkonu TČ a tepelné ztráty v závislosti na vnější teplotě.



Obr. 29 – Průběh TZ objektu se zateplením var. 3 a char. výkonů TČ AWB-M-E-AC 221.C8

Stejným způsobem byly určeny teploty bivalence pro všechny kombinace zateplení a navržených TČ. Výsledné hodnoty jsou shrnuty v tabulce 19.

Na základě bivalentní teploty a četnosti dnů s příslušnými venkovními teplotami byl rozdělen roční podíl pokrytí potřeby tepla TČ a elektrickým ohříváčem. Procentuální hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 19 – Parametry hodnocené při návrhu TČ

		P _{jm} [kW]	Pokrytí TZ [%]	Teplota biv. [°C]	Pokrytí spotřeby energie [%]	
					TČ	Elektrický ohříváč
Varianta 1	AWB-E-AC 221.C13	11,00	72,4	-1	98,1	1,9
	AWB-E-AC 221.C10	9,67	63,7	0	97,9	2,1
	AWB-M-E-AC 221.C10	9,35	61,6	0	97,2	2,8
Varianta 2	AWB-M-E-AC 221.C10	9,35	99,5	-10	99,8	0,2
	AWB-M-E-AC 221.C8	6,41	68,2	-3	98,8	1,2
Varianta 3	AWB-M-E-AC 221.C10	9,35	104,1	-11	99,8	0,2
	AWB-M-E-AC 221.C8	6,41	71,4	-4	99,1	0,9

U kombinací variant 2 a 3 s TČ typu AWB-M-E-AC 221.C10 je na první pohled vidět, že TČ je značně předdimenzované a při běžném provozu tedy nebude pracovat s optimálními provozními parametry z důvodů uvedených v kapitole 362.2.4. Firma Viessmann v tomto případě nenabízí TČ, které by svým výkonem zapadlo do rozmezí jmenovitých výkonů TČ C.10 a C.8, a jelikož cílem práce je porovnat ekonomiku provozu různých typů TČ při jednotlivých kombinacích zateplení, bylo navzdory nevhodnému dimenzování tepelné čerpadlo ponecháno.

V celé diplomové práci je třeba rozlišovat pojmy „potřeba energie“, „vypočítaná spotřeba energie“ a „dodaná energie“. Výklad těchto pojmů dle MPO ČR č. 782013 Sb. je shrnuto v následující tabulce.

Tabulka 20 – terminologie dle MPO ČR č. 782013 Sb. [61]

Potřeba energie	Energie potřebná na daný účel (vytápění, chlazení, příprava teplé vody...) za předpokladu 100 % účinnosti všech technických systémů. Jde o teoretickou hodnotu bez vlivu energetických ztrát v technických systémech.
Vypočtená spotřeba energie	Energie potřebná na daný účel s vlivem účinností všech technických systémů. Vypočte se z potřeby energie a zahrnuje vliv účinnosti zdrojů, distribuce a sdílení energie.
Dodaná energie	Předpokládaná celková spotřeba energie na daný účel. Stanoví se jako součet vypočtené spotřeby energie a pomocné energie. Tato hodnota se může více či méně blížit skutečné spotřebě energie v budově.

Při vyhodnocení jednotlivých zdrojů tepla z hlediska ekonomického musíme stanovit počáteční investici a roční poplatek za dodanou elektřinu. Ceny TČ jsou uvedeny v tabulce 15. Určující hodnota pro stanovení ročních nákladů na elektřinu je celková dodaná energie. Při použití TČ v sobě tato hodnota slučuje elektřinu ze sítě a také získanou energii z nízkonpotenciálního zdroje tepla (vzduch). Dle tepelného a chladicího faktoru a dalších

parametrů použitého tepelného čerpadla je určen podíl dodané energie pro elektřinu ze sítě a energii z prostředí.

Cena elektřiny se poté stanovuje z hodnoty dodané energie se sítě. Z ceníku dodavatele elektřiny E.ON byla stanovena roční cena za elektřinu pro tarif D57d, který je určen pro RD s tepelným čerpadlem. Tento tarif má operativní dobu platnosti nízkého tarifu, nejméně však 20 h denně. Roční cena elektřiny se mění se spotřebou energie a další pohyblivou složkou jsou měsíční poplatky. Při stanovování měsíčních poplatků bylo nutné určit proudovou hodnotu hlavního jističe, dle kterého se odvíjela výsledná částka. Po konzultaci se specialistou bylo stanoveno, že pro všechna tepelná čerpadla lze použít proudovou hodnotu hlavního jističe 25 A.

Výsledné vypočtené hodnoty dodaných energií a roční poplatky za elektřinu jsou v tabulce 21.

Tabulka 21 – Celková dodaná energie a roční cena za elektřinu [63]

		Celková dodaná energie [GJ]		Roční cena elektřiny
		Elektřina ze sítě	Energie z prostředí	[Kč]
Varianta 1	AWB-E-AC 221.C13	18,781	29,668	34 800
	AWB-E-AC 221.C10	18,962	29,426	35 083
	AWB-M-E-AC 221.C10	19,475	28,915	35 886
Varianta 2	AWB-M-E-AC 221.C10	14,085	15,463	27 455
	AWB-M-E-AC 221.C8	14,119	15,235	27 509
Varianta 3	AWB-M-E-AC 221.C10	13,267	15,388	26 176
	AWB-M-E-AC 221.C8	13,299	15,208	26 226

Výsledky odpovídají předpokladům, že TČ s nižším SCOP a také menším jmenovitým výkonem pokryje menší procento TZ a bude tedy častěji spínat bivalentní zdroj, z čehož vyplývá vyšší spotřeba elektrické energie. Ovšem lze také vidět, že rozdíl není tak markantní, jak bychom očekávali, proto se podíváme podrobněji do výsledků výpočtu, přesněji na spotřebu energie na vytápění a chlazení.

Při porovnávání tepelných čerpadel z hlediska spotřeby energie na chlazení a vytápění pozorujeme zejména o kolik se liší jednotlivé SCOP a EER TČ a také, jak moc se odlišuje rozdělení celkového pokrytí energie na vytápění a ohřev TUV mezi TČ a elektrickým ohřivačem.

U varianty 2 máme navržena pouze dvě tepelná čerpadla C.8 a jednofázové C.10. Rozdíl jejich SCOP činí 0,04 a el. ohřivač pokrývá 1,2 % nebo 0,2 % celkové roční spotřeby energie. U TČ C.8 způsobí vyšší podíl el. spirály a nižší topný faktor vyšší spotřebu energie ze sítě. V režimu chlazení dosahuje rozdíl EER hodnoty 0,2, což je výrazně vyšší hodnota než u rozdílu SCOP. Rozdíl mezi vypočítanou hodnotou spotřeby energie na chlazení u TČ C.8 a C.10 bude tedy výrazně větší než rozdíl mezi vypočítanou hodnotou spotřeby energie na vytápění. A jelikož menší TČ disponuje vyšším EER, v celkovém důsledku z toho vyplyne úspora el. energie ve prospěch méně výkonného TČ C.8.

U varianty 3 pozorujeme obdobné výsledky, pouze rozdíl mezi vypočítanou spotřebou energie na vytápění u těchto dvou TČ je výrazně menší. Způsobeno je to menším vzájemným rozdílem mezi pokrytím celkové roční energie topnou spirálou, která činí 0,2 % a 0,9 %.

Při výpočtu spotřeby energie na chlazení nastává naprosto stejná situace jako ve variantě 2, proto opět dojde k významné úspoře spotřeby energie u TČ C.8.

Z výše zmíněných důvodů se tedy výhoda jako vyšší výkon a lepší SCOP většího TČ částečně kompenzuje lepším chladicím faktorem méně výkonného TČ. Pro znázornění jsou hodnoty uvedeny v tabulce 22.

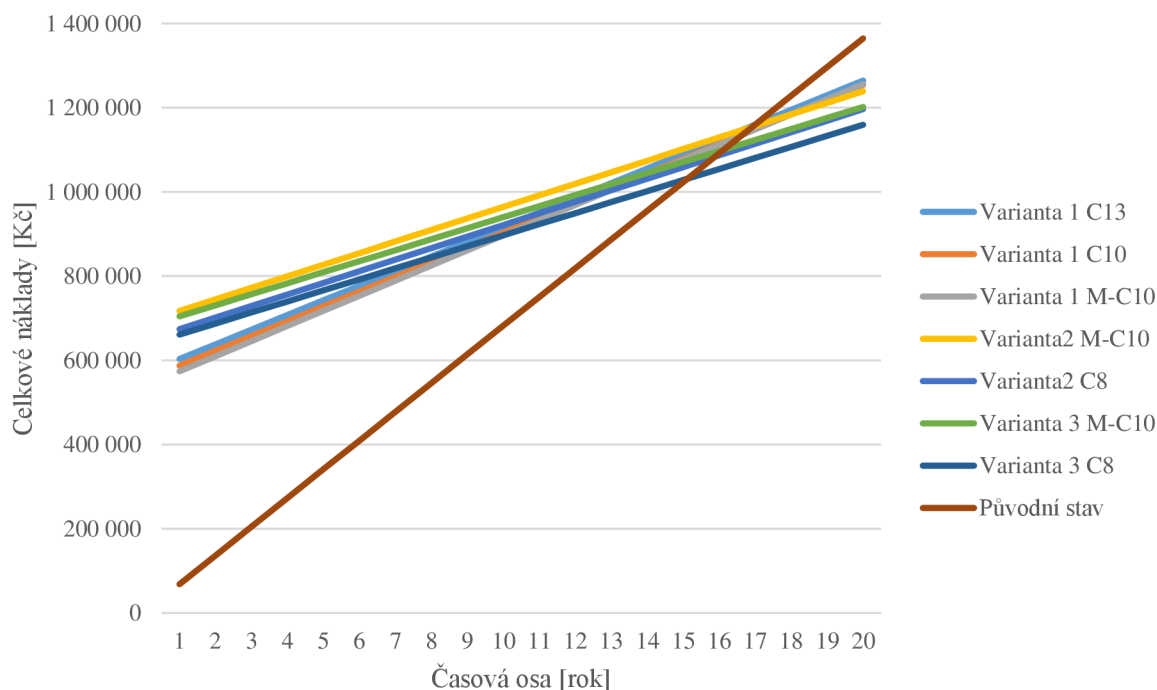
Tabulka 22 – Potřeba energie, vypočtená spotřeba energie a celková roční dodaná energie pro jednotlivé varianty s TČ

		Potřeba energie [GJ/rok]		Vypočtená spotřeba energie [GJ/rok]		Celková roční dodaná energie [MWh/rok]		
		vytápění	chlazení	vytápění	chlazení	el. ze sítě	energie prostředí	Celkem
Varianta 1	AWB-E-AC 221.C13	117,907	11,659	145,666	6,677	18,781	29,668	48,449
	AWB-E-AC 221.C10	117,907	11,659	145,668	6,453	18,962	29,426	48,388
	AWB-M-E-AC 221.C10	117,907	11,659	145,678	6,453	19,475	28,915	48,390
Varianta 2	AWB-M-E-AC 221.C10	58,261	20,454	71,962	11,320	14,085	15,463	29,548
	AWB-M-E-AC 221.C8	58,261	20,454	71,972	10,613	14,119	15,235	29,354
Varianta 3	AWB-M-E-AC 221.C10	57,946	15,604	71,575	8,636	13,267	15,388	28,655
	AWB-M-E-AC 221.C8	57,946	15,604	71,581	8,097	13,299	15,208	28,507

Dle předchozí úvahy lze konstatovat, že použití výkonnějšího TČ by bylo výhodnější v případě, že není využíváno na chlazení budovy v letních měsících.

4.3 Celkové ekonomicko-technické vyhodnocení

V této diplomové práci bylo navrženo celkem 7 možností stavebních úprav pro snížení tepelných ztrát v kombinaci s navržením zdroje tepla a chladu. Na Obr. 30 jsou do grafu zaneseny náklady na jednotlivé varianty v časovém horizontu. Počátek časové osy je v roce jedna, který znázorňuje první rok provozu od stavební úpravy a výměny zdroje. Tomuto roku náleží hodnota na svislé ose, která je součtem vstupní investice to TČ se vším příslušenstvím a celkové roční ceny za elektřinu. Každým dalším rokem se k počáteční ceně přičítá pouze cena za elektřinu.



Obr. 30 – Celkové ekonomické vyhodnocení všech variant

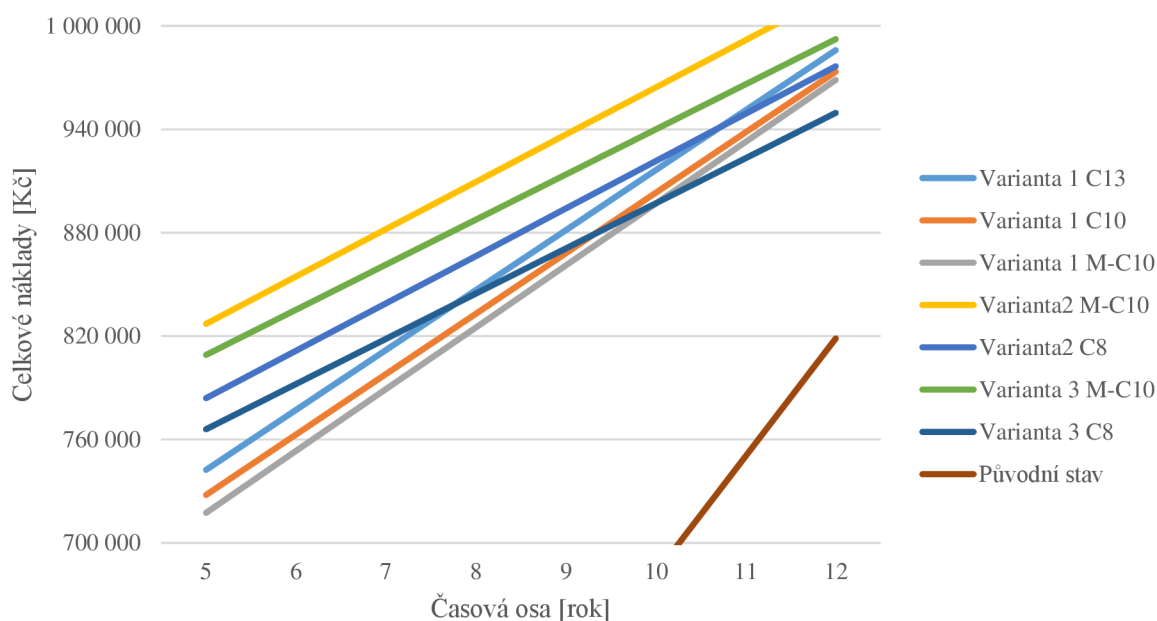
Z grafu výše je zřejmé, že nejnižší návratnost náleží variantě zateplení 3 v kombinaci s TČ typu AWB-M-E-AC 221.C8. Vstupní investice činí 661 046 Kč a roční cena elektřiny je 26 226 Kč. Návratnost této varianty byla vypočítána na přibližně 15,2 let. Při kombinaci této varianty zateplení a TČ C.8 můžeme považovat toto TČ za vhodně dimenzované. Jelikož bude pracovat při jeho optimálních parametrech budeme uvažovat s životností přibližně 20 let. Při této životnosti může být finanční úspora až přes 200 000 Kč. Ovšem je třeba počítat s tím, že TČ jsou často poruchová zařízení, hlavně při neodborné instalaci, a je možné, že bude třeba vynaložit určitou částku peněz na servisování a opravy.

V závěsu jsou téměř se stejnou návratností 16 let varianty 2 a 3 s TČ C.8 a jednofázové C.10. Variantu 2 s TČ C.8 můžeme v rámci návrhu TČ posuzovat jako vhodnou kombinaci v rámci dimenzování TČ, lze tedy také očekávat životnost přibližně 20 let. Finanční úspora po vypršení předpokládané životnosti by činila přibližně 167 000 Kč.

Varianta 3 s TČ AWB-M-E-AC 221.C10 se zdá být rovnocenná s předchozí zmíněnou. Pokud bychom nejvíc toto TČ nepoužívali pro chlazení, pravděpodobně by i spotřeba elektřiny byla výrazně nižší než v nejuvhodnější kombinaci (Varianta3 + AWB-M-E-AC 221.C8).

Zásadním problémem této kombinace je však příliš vysoký výkon TČ, které v důsledku nevyužití bude pracovat pod jmenovitými hodnotami a také se bude snižovat jeho životnost z důvodu častého cyklování. Na základě těchto argumentů bych při konečném rozhodování toto TČ pro zmíněnou variantu zateplení nedoporučila.

Varianta 1 má v kombinaci se všemi tepelnými čerpadly nejnížší počáteční investici. Roční cena za elektřinu bude ovšem z důvodu vyšších TZ výrazně vyšší než u jiných variant zateplení, a proto toto řešení není příliš ekonomické, což ukazuje níže Obr. 31. Charakteristiky celkové investované částky jsou pro variantu 1 výrazně strmější, a proto se přibližně za 10 let celková zaplacená částka vyrovná s jinými variantami a dále se oproti nim dostává do finanční ztráty.



Obr. 31 – Detail grafu z obr. 30

Celkově ovšem můžeme říct, že všech sedm navržených variant se dle výpočtu ekonomicky vyplatí a vstupní investice se nám navrátí do konce předpokládané životnosti TČ i zateplení.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo ekonomické a technické vyhodnocení navržených kombinací variant zateplení spolu s vhodným výběrem zdroje tepla a chladu. V úvodu byl vysvětlen pojem tepelné ztráty objektu a ve stručnosti bylo představeno, jak se v průběhu minulých desetiletí měnily tepelně-izolační vlastnosti konstrukcí budov. V teoretické rovině byly popsány tepelné ztráty stěnami, pro které byly zvažovány možnosti zateplení vnitřní i vnější. Z praxe víme, že izolace vnitřní je využívána velmi zřídka. V kapitole 1.2 je vysvětleno jaký je důvod upřednostňování vnějšího zateplení. Pro vnější zateplení byly blíže rozebrány dva typy provedení (kontaktní a bezkontaktní) a uvedeny byly materiály, které se k danému účelu využívají. V současnosti nejpoužívanějším způsobem zateplení jsou kontaktní zateplovací systémy, ale pro přehled byly v dalších kapitolách uvedeny i novější a méně známé materiály (aerogelové izolační materiály a VIP panely), které mají výborné tepelně izolační vlastnosti, ale nenachází zatím běžného použití v praxi kvůli jejich vysoké pořizovací ceně.

Kapitola 1.3 byla věnována možnostem zateplení plochých a šikmých střech, kde jsme se zaměřili na problémy s umístěním izolačních materiálů v oblasti krokví. Velice důležitým prvkem konstrukce jsou otvorové výplně, o kterých pojednává následující kapitola. Zde byl rozebrán nejen součinitel prostupu tepla, ale také solární faktor, který značně ovlivňuje velikost solárních zisků.

V druhé polovině teoretické části byly popsány provozní charakteristiky vybraných zdrojů tepla. V současnosti je v modelovém domě instalován atmosférický plynový kotel, proto je zde zařazen popis principu funkce plynových kotlů a varianty jejich provedení. Jako nový zdroj tepla a chladu byla vybrána tepelná čerpadla vzduch/voda. Těmto zařízením se věnuje celá podkapitola 2.2, ve které byl popsán princip funkce tepelných čerpadel a základní parametry jako topný faktor COP, sezónní topný faktor SCOP a chladicí faktor EER. Důležitou podkapitolu práce tvoří oblast dimenzování tepelného čerpadla, kde byli čtenáři seznámeni s hlavními zásadami návrhu správného tepelného čerpadla. S tím souvisí také volba vhodné otopné a chladicí soustavy, jak je popsáno v kapitole 2.4.

Nosnou částí diplomové práce byl výpočet tepelných ztrát tří navržených variant zateplení modelového rodinného domu. V první variantě bylo navrženo zateplení obvodové stěny a výměna dvou dveří do exteriéru. Tepelné ztráty po zateplení činila 15,19 kW a vstupní investice se započítáním finanční podpory z dotačního programu NZÚ byla 173 724 Kč. V druhé variantě byla zateplena OS, stěny přilehlé k nevytápěnému, podlaha ke garáži a k nevytápěnému suterénu a na střechu byla navržena tepelná izolace z EPS. Dále byla opět provedena výměna starých dveří, a navíc byly vyměněny sklobetonové otvorové výplně za plastové výplně s izolačním dvojsklem. Tepelné ztráty klesly na 9,4 kW a vstupní investice činila 325 533 Kč. Třetí varianta zateplení se lišila od předchozí především kvůli celkové výměně původních otvorových výplní za plastová okna s izolačním trojsklem. Objekt s touto variantou zateplení má tepelné ztráty 8,98 kW, přičemž vstupní investice byla 313 918 Kč.

Každá varianta zateplení je charakteristická svými tepelnými ztrátami a těm bylo přizpůsobeno dimenzování nové zdroje tepla. Tepelná čerpadla od firmy Viessmann typu Vitocal 222-S nabízí také možnost chlazení a výběr z několika rozdílných

výkonnostních tříd. Z těchto tepelných čerpadel byla pro každou variantu zateplení vybrána 2-3 tepelná čerpadla, která byla posléze posuzována z hlediska správného dimenzování, a především z ekonomického hlediska. Zde byly rozhodující náklady na samotný nákup a instalaci TČ a náklady spojené s platbou za dodanou elektrickou energii.

Výpočet tepelných ztrát i celkové roční dodané energie na vytápění, ohřev teplé užitkové vody a chlazení probíhal v programu Energie 2019. Výsledné porovnání bylo provedeno pomocí grafického znázornění, ve kterém je na svislé ose znázorněna počáteční investice za tepelné čerpadlo a zateplení. K této částce se každým dalším rokem připočítává roční cena na dodanou energii. Je třeba říct, že ani jedna z navržených variant není pro investora ztrátová, ovšem nejvýhodnější kombinací se dle výpočtu jeví varianta zateplení 3 spolu s tepelným čerpadlem Vitocal 222-S AWB-M-E-AC 221.C8, u níž je vypočítána doba návratnosti přibližně 15 let.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ŠUBRT, Roman. Co je tepelná ztráta objektu a výpočet potřeby tepla na vytápění. In: *Revitalizace.com* [online]. 2011 [vid. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://www.revitalizace.com/teorie-vypocty/co-je-tepelna-ztrata-objektu-a-vypocet-potreby-tepla-na-vytapeni/>
- [2] *Tepelné izolace. Rady, tipy, informace* [online]. Praha: Pražská energetika. 2011 [vid. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4831718-Tepelne-izolace-rady-tipy-informace.html>
- [3] *Příručka typologií obytných budov s příklady opatření ke snížení jejich energetické náročnosti* [online]. Praha: STÚ-K. 2011. Dostupné z: https://episcopo.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure_untill2012/CZ_TABULA_TypologyBrochure_STU-K_2011.pdf
- [4] TZB-info. *TZB-info* [online]. [vid. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/>
- [5] ČSN EN 12831. *Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie*. 2005
- [6] 4. Stavebně fyzikální problematika plochých střech. *fast10.vsb.cz* [online]. nedatováno [vid. 2020-01-21]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps4/4.html>
- [7] ŠÁLA, Jiří. O vnitřním zateplení. *Alternativní energie* [online]. 2001 [vid. 2020-01-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/540-o-vnitrnim-zatepleni>
- [8] PETRYL, Zdeněk. Co je tepelný most, kde a jak vzniká. In: *Estav.cz* [online]. nedatováno [vid. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/5952.co-je-tepelny-most-kde-a-jak-vznika>
- [9] SEDLÁČEK, Jiří. Přednosti vnitřního a venkovního zateplení. In: *tzb-info* [online]. 2004 [vid. 2020-01-25]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/1840-prednosti-vnitriho-a-venkovniho-zatepleni>
- [10] HEJHÁLEK, Jiří. Tepelná izolace. Přehled, materiály, druhy a způsoby použití. *stavebnictvi3000.cz* [online]. 2019 [vid. 2020-01-22]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/tepelna-izolace-velky-prehled>
- [11] Porovnejte kontaktní a bezkontaktní zateplení. In: *České stavby.cz* [online]. 2010 [vid. 2020-01-22]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/zateplovaci-systemy-6254.html>
- [12] 19 faktů o provětrávané fasádě, které musíte znát. *G TRADE* [online]. [vid. 2020-01-22]. Dostupné z: <https://www.gtrade.cz/fakta-o-provetravane-fasade>
- [13] Provětrávaná fasáda - jednoduchý postup. *stavebniny-rychle.cz* [online]. 2015 [vid. 2020-01-22]. Dostupné z: http://www.stavebniny-rychle.cz/data/mod_redaction_adv/cats/7/down/postup-pri-realizaci-provetravane-fasady.jpg
- [14] Zateplovací systémy ETICS. *tzb-info* [online]. [vid. 2020-01-22]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/303-zateplovaci-systemy-etics>
- [15] Zateplovací systém s minerálním izolantem. *mm-servis.cz* [online]. [vid. 2020-01-27]. Dostupné z: <http://www.mm-servis.cz/cs/detail/760-Zateplovaci-system-s-mineralnim-izolantem.html>
- [16] HEJHÁLEK, Jiří. Šedý polystyren. Tepelná izolace nové generace. *stavebnictvi3000.cz* [online]. 2019 [vid. 2020-01-25]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/sedy-polystyren-tepelna-izolace-nove-generace>
- [17] Fasádní polystyren šedý EPS NEO 70 fasáda 20 mm DCD IDEAL. *nonstopstavebniny.cz* [online]. [vid. 2020-01-25]. Dostupné z: <https://www.nonstopstavebniny.cz/12883-fasadni-polystyren-sedy-eps-neo-70-fasada-20-mm-dcd->

- ideal.html?gclid=CjwKCAiA66_xBRBhEiwAhrMuLZVKWyHMvY2K1gq1AH3nJW3d5FQczIgUQRnSL44kh54-4hcilY7kmxoCTugQAvD_BwE
- [18] Zateplení šedým polystyrenem. *centrum-zatepleni.cz* [online]. 2012 [vid. 2020-01-25]. Dostupné z: <https://www.centrum-zatepleni.cz/zatepleni-sedym-eps/>
- [19] VEJRAŽKOVÁ, Ivana. Aerogel - izolační materiál budoucnosti? In: *enviweb.cz* [online]. 2011 [vid. 2020-01-24]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/84815>
- [20] ŠÍPKOVÁ, Veronika, Šárka KORBELOVÁ, Jiří LABUDEK a Michal KRAUS. *Stavební tepelné izolace pro svislé konstrukce* [online]. 1. vydání. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2014 [vid. 2020-01-24]. ISBN 978-80-248-3661-4. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/technicke-informace/zateplovani-obecne-informace/20479-stavebni-tepelne-izolace-cast-iii-aerogel-a-vakuova-izolace-a.html#.XisXX2hKhPZ>
- [21] KANELLOS, Michael. Aspen Aerogels And World's Best Insulation Flounders In IPO. In: *forbes* [online]. 2014 [vid. 2020-01-24]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/michaelkanellos/2014/06/16/aspen-aerogels-and-worlds-best-insulation-flounders-in-ipo/#5bf298f27944>
- [22] GREEN, Jetson. Jetson Green - Ultra-Thin Super Insulation with Aerogel. *jetsongreen* [online]. 2010 [vid. 2020-01-24]. Dostupné z: <http://www.jetsongreen.com/2010/02/aerogel-ultra-thin-super-insulation.html>
- [23] Kingspan OPTIM-R je izolační systém nové generace. *Kingspan* [online]. [vid. 2020-01-25]. Dostupné z: <https://www.kingspan.com/cz/cs-cz/produkty/izolace/izolacni-desky/optim-r>
- [24] Izolace plochých střech. In: *izolace-info* [online]. 2011 [vid. 2020-01-26]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/technicke-informace/zatepleni-strechy/7823-izolace-plochych-strech-a.html#.Xi3KrWhKhPY>
- [25] 5. Ploché střechy. *fast10.vsb.cz* [online]. nedatováno [vid. 2020-01-26]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps4/5.html>
- [26] PETR, Vacek. Jak se vyhnout chybám v zateplení šikmé střechy. In: *tzb-info* [online]. 2015 [vid. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/strechy/13185-jak-se-vyhnut-chybam-v-zatepleni-sikme-strechy>
- [27] ŠUBRT, Roman. Zateplování šikmé střechy | *Izolace-info.cz*. In: *izolace-info* [online]. nedatováno [vid. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/technicke-informace/zateplovani-sikme-strechy/>
- [28] ŠUBRT, Roman. Otvorové výplně. *tzb-info* [online]. 2012 [vid. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/6945-otvorove-vyplne>
- [29] RADIM, Kolář. *BH10 - Tepelná technika budov* [online]. 2012 [vid. 2020-02-09]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/pst/kolar.r/souc_prostupu_okno.htm
- [30] Index prostupu tepla přes okno – Uw. *slovaktual.cz* [online]. [vid. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.slovaktual.cz/spolecnost/slovník-pojmu/index-prostupu-tepla-pres-okno-uw/>
- [31] Lineární součinitel prostupu tepla přes distanční rámeček – ψ . *slovaktual.cz* [online]. [vid. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.slovaktual.cz/spolecnost/slovník-pojmu/linearni-soucinitel-prostupu-tepla-pres-distančni-rameček/>
- [32] Distanční rámeček. Důležitá součást izolačního skla. *slovaktual.cz* [online]. 2019 [vid. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.slovaktual.cz/clanky/distančni-ramik-dolezita-sucast-izolacneho-skla/>
- [33] VEKA AG. Jak vybrat kvalitní okno? Existuje šest zásadních kritérií. In: *tzb-info* [online]. 2017 [vid. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/fasadni->

- okna/15376-jak-vybrat-kvalitni-okno-existuje-sest-zasadnich-kriterii
- [34] DECEUNINCK. Přehledný rádce pro výběr oken, II. díl. In: *tzb-info* [online]. 2018 [vid. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/16179-rychly-radce-pro-vyber-oken-ii>
- [35] AMBROŽOVÁ, Iva a Petr HORÁK. Stanovení tepelných zisků zasklení ze slunečního záření v energetickém hodnocení budov. In: *tzb-info* [online]. 2012 [vid. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/8972-stanoveni-tepelnych-zisku-zaskleni-ze-slunceniho-zareni-v-energetickem-hodnoceni-budov>
- [36] SVOBODA, Zbyněk. *Energie 2019*. Praha: K-CAD. 2019
- [37] Světelná propustnost – LT. *slovaktual.cz* [online]. [vid. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.slovaktual.cz/spolecnost/slovník-pojmu/svetelna-propustnost-lt/>
- [38] JIROUTKOVÁ, Iveta. Technické parametry oken – o čem se nemluví. In: *tzb-info* [online]. 2013 [vid. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/9551-technicke-parametry-oken-o-cem-se-nemluvi>
- [39] Termochromické povlaky skla s oxidem vanadičitým. In: *sciencemag.cz* [online]. 2017 [vid. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://sciencemag.cz/termochromicke-povlaky-s-oxidem-vanadicitym/>
- [40] BAŠTA, Jiří. Volba teplotního spádu. In: *tzb-info* [online]. 2001 [vid. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/525-volba-teplotniho-spadu>
- [41] LÁZŇOVSKÝ, Miroslav. *Vytápění rodinných domků*. B.m.: Nakladatelství T. Malina, 1996. ISBN 80-901975-2-3.
- [42] VALENTA, Vladimír. Účinnost plynových kotlů při cyklování. In: *tzb-info* [online]. 2014 [vid. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem/10826-ucinnost-plynovych-kotlu-pri-cyklovani>
- [43] VAVŘIČKA, Roman. *Kondenzační kotle*. Vyškov: Quantum. 2010
- [44] BAŠTA, Jiří. Normovaný stupeň využití v praxi. In: *tzb-info* [online]. 2009 [vid. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/5344-normovany-stupen-vyuziti-v-praxi>
- [45] Úvod do tepelných čerpadel. *cne.cz* [online]. [vid. 2020-02-24]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/tepelna-cerpadla/uvod-do-tepelnych-cerpadel/>
- [46] Časté omyly a bludy o tepelných čerpadlech. *abeveda-cerpadel.cz* [online]. [vid. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/omyly-a-bludy>
- [47] *Projekční příručka – Tepelná čerpadla*. Chrástany: Viessmann. 2011
- [48] KUČHYNKA, Lubomír. AC Heating: Faktory ovlivňující účinnost tepelných čerpadel. In: *tzb-info* [online]. nedatováno, 2012 [vid. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/9147-ac-heating-faktory-ovlivnujici-ucinnost-tepelnych-cerpadel>
- [49] DŘÍMAL, Petr. *Tepelná čerpadla, geotermální energie* [online]. Brno: Code Creator, 2016 [vid. 2020-02-24]. ISBN 978-80-88058-05-2. Dostupné z: <https://publi.cz/books/93/02.html#2-4>
- [50] *Projekční návod - Vitocal*. Chrástany: Viessmann. 2019
- [51] MATUŠKA, Tomáš. Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP. In: *tzb-info* [online]. 2015 [vid. 2020-03-04]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivite-tepelnych-cerpadel-cop-a-scop>
- [52] SEDLÁŘ, Jan. Hodnocení SCOP tepelných čerpadel pro vytápění. In: *tzb-info* [online]. 2015 [vid. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13507-hodnoceni-scop-tepelnych-cerpadel-pro-vytapani>

- [53] PAVELEK, Milan. *Termomechanika pro studenty strojních fakult*. Brno: VUT Brno. 2013
- [54] COP a ERR. *cmc-heating.cz* [online]. [vid. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://www.cmc-heating.cz/poradna/cop-a-err/>
- [55] KALETA, Ján a Aleš KISZA. Význam akumulární/ taktovací nádoby u tepelného čerpadla vzduch-voda. In: *tzb-info* [online]. 2012 [vid. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/9113-vyznam-akumulacni-taktovaci-nadoby-u-tepelneho-cerpadla-vzduch-voda>
- [56] HONZÍK, Jiří. Tepelná čerpadla vzduch-voda a akumulární nádoby. In: *tzb-info* [online]. 2012 [vid. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/8980-tepelna-cerpadla-vzduch-voda-a-akumulacni-nadoby>
- [57] HONZÍK, Jiří. Dimenzování tepelného čerpadla vzduch-voda, bivalentní/záložní zdroj. In: *tzb-info* [online]. 2011 [vid. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/7995-dimenzovani-tepelneho-cerpadla-vzduch-voda-bivalentni-zalozni-zdroj>
- [58] TVRDÝ, Miloslav. *Bivalentní systém s tepelným čerpadlem vzduch-voda* [online]. Brno, 2008. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6662
- [59] MATUŠKA, Tomáš, Jan SCHWARZER a Bořivoj ŠOUREK. Tepelná čerpadla - teorie a schémata (VI). In: *tzb-info* [online]. 2005 [vid. 2020-03-09]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/2962-tepelna-cerpadla-teorie-a-schemata-vi>
- [60] IVAR CS. Stěnové teplovodní vytápění. In: *tzb-info* [online]. 2012 [vid. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/9350-stenove-teplovodni-vytapani>
- [61] SVOBODA, Zbyněk. *Stavební tepelná technika ENERGIE 2019*. Praha: K-CAD. 2019
- [62] *Ceník Komplet plyn 36 Únor 2020* [online]. nedatováno [vid. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/-a190335---zhjJS75s/cenik-komplet-plyn-36-unor-2020-distribucni-uzemi-gasnet-pdf>
- [63] *Ceník Komplet elektrina II* [online]. nedatováno [vid. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/-a188849---pCsQ9Zvq/cenik-komplet-elektrina-ii-distribucni-uzemi-e-on-pdf>
- [64] Výhřevnosti paliv. *tzb-info* [online]. [vid. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>
- [65] Přehled cen krbového dřeva. *tzb-info* [online]. [vid. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/118-prehled-cen-krboveho-dreva>
- [66] KOLEKTIV AUTORŮ (STÁTNI FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ). Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z podprogramu Nová zelená úsporám Rodinné domy v rámci 3. výzvy k podávání žádostí. 2020.
- [67] Toptechnika online nabídka. *toptechnika.cz* [online]. [vid. 2020-06-11]. Dostupné z: <http://www.toptechnika.cz/produkty>
- [68] Isover eshop - tepelné izolace online. *e-isover.cz* [online]. [vid. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.e-isover.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ZNAČKA ¹	JEDNOTKA	NÁZEV
A_f	[m ²]	Celková plocha rámu
A_g	[m ²]	Celková plocha zasklení
A_{0i}	[GJ]	Práce spotřebovaná pro provoz systému
$A_{f.int}$	[m ²]	Celková podlahová plocha zóny stanovená z vnitřních rozměrů
b_H	[h/rok]	Doba provozní pohotovosti
$b_{k,j}$	[-]	Činitel teplotní redukce pro k-tý objemový tok větráním v j-tém měsíci
b_{VK}	[h/rok]	Doba plného využití kotle
c	[J/kgK]	Měrná tepelná kapacita
c_w	[J/kgK]	Měrná tepelná kapacita vody
COP	[-]	Topný faktor
$COP_{H,gen,t}$	[-]	Roční provozní topný faktor t-tého tepelného čerpadla
CPP		Cihla plná pálená
D	[m]	Tloušťka vrstvy
EER	[-]	Chladicí faktor
EP	[GJ]	Celková roční dodaná energie
EP_C	[GJ]	Spotřeba energie na chlazení za rok
EP_H	[GJ]	Spotřeba energie na vytápění za rok
EP_L	[GJ]	Spotřeba energie na osvětlení a spotřebiče za rok
EP_W	[GJ]	Spotřeba energie na ohřev TUV za rok
$e_{r,z}$	[-]	Specifický součinitel elektrického příkonu chlazení kondenzátoru závislý na typu zpětného chlazení
f_{ap}	[-]	Časový podíl provozu spotřebičů v hodnocené zóně
$f_{r,z}$	[-]	Střední součinitel provozu zpětného chlazení

¹ Pokud se v textu práce objevuje první písmeno ve spodním indexu W daná veličina přísluší ohřevu teplé užitkové vody. Písmeno C označuje děj chlazení.

f_H	[-]	Podíl z $Q_{H,dis,j}$ připadající na příslušný zdroj tepla
$f_{H,ctl}$	[-]	Korekční činitel typu čerpadla
$f_{H,j}$	[-]	Časový podíl provozu otopné soustavy v j-tém měsíci
g	[%,-]	Solární faktor
h	[kJ/kg]	Měrná entalpie
H_{CK}	[h/rok]	Počet hodin v režimu zahřívání skříně kompresoru
H_d	[W/K]	Měrný tepelný tok konstrukcemi mezi vytápěným prostorem a vnějším vzduchem
$H_{g,j}$	[W/K]	Měrný tepelný tok konstrukcemi ve styku se zemínou v j-tém měsíci
H_{OFF}	[h/rok]	Počet hodin ve vypnutém stavu
H_{SB}	[h/rok]	Počet hodin v pohotovostním režimu
H_{TO}	[h/rok]	Počet hodin ve vypnutém stavu na termostatu
$H_{T,j}$	[W/K]	Měrný tepelný tok prostupem v j-tém měsíci
H_u	[W/K]	Měrný tepelný tok konstrukcemi přilehlými k nevytápěným prostorům
$H_{V,j}$	[W/K]	Měrný tepelný tok větráním v j-tém měsíci
l_g	[m]	Viditelný obvod zasklení
L_r	[%,-]	Světelná odrazivost
L_t	[%,-]	Světelná propustnost
m	[ks]	Počet tepelných čerpadel
n	[ks]	Počet ostatních zdrojů tepla
p_d	[Pa]	Parciální tlak vodních par
p_d''	[Pa]	Parciální tlak vodních par při nasycení
P_{CK}	[kW]	Příkon v režimu zahřívání skříně kompresoru
$P_{H,p}$	[W]	Instalovaný elektrický příkon čerpadel
$P_{H,em}$	[W]	Instalovaný el. příkon systému emise energie
$P_{H,ctl}$	[W]	Instalovaný elektrický příkon všech systémů měření a regulace
P_{jm}	[kW]	Jmenovitý výkon TČ
P_{OFF}	[kW]	Příkon ve vypnutém stavu

P_{SB}	[kW]	Příkon jednotky v pohotovostním režimu
P_{TO}	[kW]	Příkon jednotky ve vypnutém stavu na termostatu
q_{ap}	[W/m ²]	Průměrná produkce tepla spotřebiči v zóně
q_B	[-]	Pohotovostní ztráta
$q_{V,k,j}$	[m ³ /s]	k-tý objemový tok vzduchu vstupující do hodnocené zóny v j-tém měsíci
Q_C	[GJ]	Chlad odevzdaný systémem TČ
Q_h	[GJ]	Potřeba tepla na vytápění za otopnou sezónu
Q_H	[GJ]	Teplo odevzdané systémem TČ
$Q_{W,tn,j}$	[GJ]	Potřeba tepla na pokrytí ztráty zásobníku TUV v j-tém měsíci
$Q_{W,net,j}$	[GJ]	Potřeba tepla na pokrytí ztráty rozvodů TUV v j-tém měsíci
$Q_{W,cir,j}$	[GJ]	Potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát systému cirkulace TUV v j-tém měsíci
$Q_{H,dis,j}$	[GJ]	Vypočtená spotřeba energie v distribučním systému vytápění v j-tém měsíci
$Q_{H,gn,j}$	[GJ]	Velikost tepelných zisků v j-tém měsíci
$Q_{H,hp,t,j}$	[GJ]	Energie získaná z okolního prostředí v j-tém měsíci t-tým TČ
$Q_{H,ht,j}$	[GJ]	Potřeba tepla na pokrytí tepelné ztráty v j-tém měsíci
$Q_{H,nd,j}$	[GJ]	Potřeba tepla na vytápění v j-tém měsíci
$Q_{H,fuel,j}$	[GJ]	Spotřeba energie jednotlivých zdrojů tepla v j-tém měsíci
$Q_{H,aux,j}$	[GJ]	Pomocná energie na vytápění v j-tém měsíci
$Q_{int,j}$	[GJ]	Vnitřní zisky v j-tém měsíci
$Q_{int,ap,j}$	[GJ]	Tepelný zisk od spotřebičů
$Q_{H,sol,j}$	[GJ]	Solární zisky v j-tém měsíci
R	[m ² K/W]	Tepelný odpor konstrukce
Ro	[kg/m ³]	Objemová hmotnost vrstvy
R_{se}	[m ² K/W]	Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru
R_{si}	[m ² K/W]	Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru

R_w	[dB]	Index vzduchové neprůzvučnosti
SCOP	[-]	Sezónní topný faktor
t_e	[°C]	Teplota konstrukce na straně exteriéru
t_i	[°C]	Teplota konstrukce na straně interiéru
t_j	[s]	Délka j-tého měsíce
U	[W/m ² ·K]	Součinitel prostupu tepla
U_f	[W/m ² ·K]	Součinitel prostupu tepla rámu
U_g	[W/m ² ·K]	Součinitel prostupu tepla zasklení
U_w	[W/m ² ·K]	Součinitel prostupu tepla celým oknem
λ	[W/m·K]	Součinitel tepelné vodivosti
λ_D	[W/m·K]	Deklarovaný součinitel tepelné vodivosti
λ_u	[W/m·K]	Výpočtový součinitel tepelné vodivosti
$\theta_{e,j}$	[°C]	Průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu
θ_i	[°C]	Vnitřní návrhová teplota
$\theta_{W,h}$	[°C]	Průměrná roční teplota teplé vody v místě přípravy
$\theta_{W,c}$	[°C]	Průměrná roční teplota přiváděné studené vody
V_W	[m ³]	Roční potřeba teplé vody
ρ_W	[kg/m ³]	Hustota vody
$\Phi_{lt,j}$	[W]	Průměrný příkon elektřiny na osvětlení v j-tém měsíci
W_{lt}	[Wh]	Roční potřeba elektřiny na osvětlení
$W_{lt,A}$	[Wh/m ²]	Odhadnutá měrná roční dodaná energie na osvětlení v zóně
$\eta_{C,ls,j}$	[-]	Faktor využitelnosti tepelných ztrát
η_a	[%]	Roční stupeň využití zdroje tepla
η_k	[%]	Účinnost kotle při jmenovitém výkonu
η_k	[%]	Normovaný stupeň využití kotle
$\eta_{\varphi,i}$	[%]	Stupeň využití při dílčím zatížení ve výkonové periodě
$\eta_{H,em}$	[-]	Účinnost sdílení tepla mezi vyt. prostředím a distribučními prvky otopné soustavy
$\eta_{H,dis}$	[-]	Účinnosti systému distribuce tepla

$\eta_{H,gen,z}$	[-]	Celková průměrná účinnost výroby tepla z-tým zdrojem tepla
$\eta_{H,gn}$	[-]	Faktor využitelnosti tepelných zisků
ψ_g	[W/m·K]	Lineární činitel prostupu tepla přes distanční rámeček

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Schéma tepelných ztrát [3]	13
Obr. 2 – Průběhy teplot a parciálních tlaků vzdušných par [7]	16
Obr. 3 – Tepelné mosty při vnitřním zateplení [10]	17
Obr. 4 – Skladba bezkontaktního zateplovacího systému [14]	18
Obr. 5 – kladba systému ETICS [16]	19
Obr. 6 – Desky šedého polystyrenu v různých tloušťkách [18]	20
Obr. 7 – Průchod tepelného záření šedým polystyrenem [19]	20
Obr. 8 – Pórovitá struktura aerogelu [22]	21
Obr. 9 – Aerogelové tepelné izolace [23]	21
Obr. 10 – Vakuový izolační panel [24]	22
Obr. 11 – Pořadí vrstev jednoplášťových a dvouplášťových zateplených plochých střech [26]	23
Obr. 12 – Zateplení šikmé střechy mezi a pod krokvy [28]	23
Obr. 13 – Zateplení šikmé střechy nad krokvy [28]	23
Obr. 14 – Srovnání průběhu teplot při použití teplého a studeného distančního rámečku [33] 25	
Obr. 15 – Schéma kotle s atmosférickým hořákem a) s přerušovačem tahu b) s regulací tahu ventilátorem [42]	28
Obr. 16 – Závislost stupně využití kotle na jeho vytiženosti pro klasický, nízkoteplotní a kondenzační kotel [44]	29
Obr. 17 – Schéma tepelného čerpadla [48]	31
Obr. 18 – p – h diagram chladicího oběhu [49]	32
Obr. 19 – Schéma zapojení TČ jako zdroje tepla	33
Obr. 20 – Závislost COP na teplotě vnějšího vzduchu pro teploty v otopné soustavě 35 °C, 45°C a 55°C [51]	33
Obr. 21 – Závislost COP na teplotním rozdílu mezi výstupní teplotou otopného systému a vstupní teplotou zdroje [48]	34
Obr. 22 – Schéma zapojení TČ a funkce jednotlivých součástí v režimu chlazení [54]	35
Obr. 23 – Závislost EER na teplotě vnějšího vzduchu pro teploty v chladícím systému 18 °C a 7 °C [51]	36
Obr. 24 – Regulace tepelného výkonu TČ vzduch/voda [48]	37
Obr. 25 – Výkon TČ a tepelné ztráty objektu v závislosti na venkovní teplotě [53]	38
Obr. 26 – Schéma zapojení a graf pokrytí spotřeb tepla TČ a bivalentním zdrojem [59, 60].	38
Obr. 27 – Půdorys 1NP	42
Obr. 28 – Půdorys 2NP	42
Obr. 29 – Průběh TZ objektu se zateplením var. 3 a char. výkonů TČ AWB-M-E-AC 221.C8	60
Obr. 30 – Celkové ekonomické vyhodnocení všech variant	64
Obr. 31 – Detail grafu z obr. 30	65

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Typy konstrukcí dle časového období pro samostatně stojící rodinný dům [4] ..	14
Tabulka 2 – Typy otvorových výplní dle časového období pro rodinný dům [4]	15
Tabulka 3 – Součinitel prostupu tepla pro různé typy zasklení [37]	26
Tabulka 4 – Světelná propustnost v závislosti na typu zasklení	26
Tabulka 5 – Označení standardizovaných podmínek pro uvádění COP TČ [52]	34
Tabulka 6 – Skladba a izolační vlastnosti modelové zdi	45
Tabulka 7 – Výsledné měrné tepelné toky pro modelový dům v původním stavu	46
Tabulka 8 – Souhrn měsíčních tepelných zisků pro variantu 1 tepelně izolačních opatření ...	46
Tabulka 9 – Výsledná roční dodaná energie na vytápění pro modelový dům v původním stavu	47
Tabulka 10 – Výsledná roční dodaná energie na přípravu TUV pro modelový dům v původním stavu	49
Tabulka 11 – Měsíční hodnoty veličiny vypočítaných při stanovení roční dodané energie na chlazení pro variantu 1 s TČ typu AWBT-E-AC 221.C13	51
Tabulka 12 – Roční dodaná energie pro modelový dům v původním stavu vypočítaná v programu Energie 2019	53
Tabulka 13 – Dodaná energie rozdělená dle energonositelů a celková cena energie pro původní stav objektu [63–66]	54
Tabulka 14 – Požadované parametry v oblasti podpory A programu NZÚ a výše podpory [67]	55
Tabulka 15 – Výběr technických dat jednotlivých TČ a jejich pořizovací cena [51, 68]	56
Tabulka 16 – Porovnání char. veličin pro prostup tepla konstrukcemi u jednotlivých variant	57
Tabulka 17 – Srovnání cen zateplení a výměny otvorových výplní všech variant [67, 69]	58
Tabulka 18 – Parametry otvorových výplní, solární zisky a potřeba energie na chlazení	60
Tabulka 19 – Parametry hodnocené při návrhu TČ	61
Tabulka 20 – terminologie dle MPO ČR č. 782013 Sb. [62]	61
Tabulka 21 – Celková dodaná energie a roční cena za elektřinu [64]	62
Tabulka 22 – Potřeba energie, vypočtená spotřeba energie a celková roční dodaná energie pro jednotlivé varianty s TČ	63

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha A – Podrobný výpočet roční dodané energie všech variant zateplení s příslušnými zdroji tepla a chladu
- Příloha B – Cenová nabídka otvorových výplní a tepelných čerpadel