



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

STUDIE ÚSPOR ENERGIE PRO RODINNÝ DŮM

ENERGY SAVING STUDY FOR FAMILY HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Procházka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Vojtěch Procházka**
Studijní program: Základy strojního inženýrství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23

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

Studie úspor energie pro rodinný dům

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřená na popis spotřeby energie v konkrétním rodinném domě a na hledání úspor. Student zmapuje energetické toky v domácnosti a navrhne změny, které povedou ke snížení ztrát energie a optimalizaci její spotřeby.

Cíle bakalářské práce:

Přehled možných opatření snižování energetické náročnosti rodinného domu.
Popis modelového domu a určení stávající spotřeby energie.
Výběr konkrétních opatření pro modelový dům.
Ekonomická rozvaha jednotlivých variant.

Seznam doporučené literatury:

BALÁŠ, Marek. Kotle a výměníky tepla. Vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2019. ISBN 978-80-214-5769-7.

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

ČSN EN 12831. Tepelné soustavy v budovách - výpočet tepelného výkonu. 1. Praha: Český normalizační institut.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato závěrečná práce se zabývá návrhem opatření proti tepelným ztrátám rodinného domu. Tyto ztráty se odvíjejí od kvality prvků, které jsou použity, aby bylo nechtěnému úniku tepla zabráněno. V první části jsou zmíněny základní charakteristiky těchto prvků a popis zdrojů tepla pro rodinný dům. V další části práce jsou pro konkrétní dům spočítány jeho tepelné ztráty a navržena opatření vedoucí k jejich snížení. Nakonec je provedeno ekonomické zhodnocení navržených změn.

Klíčová slova

Tepelné ztráty, vytápění, zdroje tepla, zateplení

ABSTRACT

This final thesis deals with the design of measures against heat loss of a family house. These losses depend on the quality of the elements that are used to prevent unwanted heat escape. In the first part, the basic characteristics of these elements and a description of heat sources for a family house are mentioned. In the next part of the work, heat losses are calculated for a specific house and measures leading to their reduction are proposed. Finally, an economic evaluation of the proposed changes is carried out.

Key words

Heat losses, heating, heat sources, insulation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PROCHÁZKA, Vojtěch. *Studie úspor energie pro rodinný dům* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/148990>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Marek Baláš.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem *bakalářskou* práci na téma **Studie úspor energie 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 tímto doc. Ing. Marku Balášovi, Ph.D. za vstřícný přístup, trpělivost, cenné rady a čas, který mi věnoval při konzultování závěrečné práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině a přátelům, kteří byli po celou dobu studia na VUT po mém boku.

OBSAH

ÚVOD	11
1 Přenos tepla	12
1.1 Vedení (kondukce)	12
1.2 Proudění (konvekce).....	12
1.3 Sálání (záření, radiace)	12
2 Prostup tepla.....	13
2.1 Tepelný odpor R.....	13
2.2 Součinitel prostupu tepla U	13
2.3 Součinitel tepelné vodivosti λ	14
3 Zateplení (izolace).....	15
3.1 Polystyren	15
3.2 Minerální izolace	16
3.3 PUR a PIR izolace	17
4 Okna.....	18
4.1 Plastová okna	18
4.2 Dřevěná okna	18
4.3 Hliníková okna	19
4.4 Kombinace materiálů rámu	19
5 Zdroje tepla pro vytápění	21
5.1 Plynové kotle	21
5.2 Elektrický kotel.....	22
5.3 Kotel na tuhá paliva	23
5.4 Kamna, krb	24
5.5 Tepelné čerpadlo.....	24
5.6 Fotovoltaická elektrárna	26
5.7 Kombinovaný způsob vytápění	26
6 Popis modelového domu.....	27
6.1 Aktuální zdroj tepla pro vytápění	27
7 Výpočet.....	28
7.1 Výpočet stávajícího stavu tepelných ztrát prostupem:	28
7.2 Návrhová tepelná ztráta větráním.....	31
7.3 Návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru.....	32
7.4 Celkový tepelný výkon budovy	33

7.5	Roční potřeba tepla pro vytápění, větrání a přípravu teplé vody.....	34
7.6	Roční náklady za plyn při stávající situaci	35
8	Opatření.....	37
8.1	Snížení teploty vytápění o 1 °C	37
8.2	Zateplení 200 mm a 300 mm EPS polystyrenu	37
8.3	Výměna oken.....	38
8.4	Kombinace výměny oken a zateplení	39
8.5	Návrh nového zdroje vytápění.....	39
9	Zhodnocení návrhů	43
	Závěr.....	45
	Seznam použitých zdrojů	46
	Seznam použitých zkratk a symbolů	51
	Seznam příloh.....	54

ÚVOD

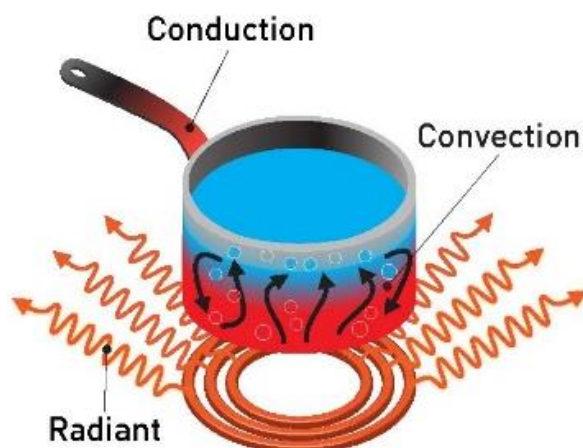
V poslední době jsou narůstající ceny energií často diskutovaným tématem. Bez elektrické energie nebo zemního plynu bychom si doma nebyli schopni ani uvařit. Při vaření se však spotřebuje pouze nepatrný zlomek z celkového množství energie, za kterou přijde vyúčtování. Část této energie je spotřebována na ohřev teplé vody a největší část padne na vytápění. Jaké jsou tedy možnosti, jak za tyto energie ušetřit? Které zdroje energie jsou pro vytápění nejvhodnější?

V první části práce se seznámíme s prvky, které se používají za účelem snížení tepelných ztrát, a tedy snížení množství energie potřebné k dodání tepla, které uniklo. Zmíníme nejběžnější výplně stavebních otvorů (okna) a rozebereme jejich tepelně izolační vlastnosti a představíme možnosti vytápění v závislosti na zdroji tepla. Je důležité si uvědomit, že u každého objektu budou požadavky na zdroj vytápění individuální. Z tohoto důvodu nelze jednoznačně zvolit nejlepší zdroj bez předchozí rozvahy a jasných požadavků. Abychom byli schopni navrhnout vhodný zdroj tepla pro konkrétní nemovitost, je třeba nejdříve zjistit její tepelné ztráty.

Cílem práce je ekonomická rozvaha nad navrženými opatřeními a zhodnocení návratnosti jednotlivých návrhů během příštích 10 let. Počáteční investice bývají dosti finančně náročné, a proto je důležité před samotnou realizací opatření zvážit, zda se vyplatí zainvestovat a provést změny (zateplit dům či pořídit nový kotel), nebo zda je v aktuální situaci vhodnější změny nedělat.

1 Přenos tepla

Přenos tepla je děj, při kterém se určité množství tepla přesouvá na jiné místo. Pokud mají dvě tělesa různou teplotu, děj zpravidla probíhá směrem z teplejšího tělesa na chladnější do té doby, dokud se teplota obou systémů nevyrovná. Teplu lze přenášet několika způsoby. Podle těchto způsobů je možné přenos rozdělit na vedení (kondukcí), proudění (konvekci) a sálání (záření neboli radiaci) [1].



Obrázek 1: Typy přenosu tepla [15]

1.1 Vedení (kondukcce)

Jedná se o způsob přenosu tepla, který je zprostředkován srážkami bezprostředně sousedících částic tělesa. Vedení může nastat v pevných, kapalných i plynných látkách. V praxi je typickým příkladem zahřátí neponořené části lžičky v horkém čaji. Tento jev trvá tak dlouho, dokud nejsou oba systémy, mezi kterými tepelná výměna probíhá, v rovnováze. Charakteristický pro vedení je součinitel tepelné vodivosti λ , který je čistě závislý na materiálu. O tom více v kapitole 2.3 [1,10].

1.2 Proudění (konvekce)

U tohoto způsobu je teplo přenášeno částicemi, které se mohou volně pohybovat. Z tohoto důvodu dochází ke konvekci u kapalných a plynných látek, kde nejsou částice vázány v krystalické mřížce. Není nutný přímý styk těles, mezi kterými výměna probíhá. Konvekci dělíme na přirozenou (volnou), která je založena pouze na rozdílných teplotách a nucenou, způsobenou rozdílem tlaků vytvořeným např. ventilátorem nebo čerpadlem. Příkladem volné konvekce je stoupání teplého vzduchu okolo radiátoru a pokles studeného. Intenzita výměny je vyšší u nuceného proudění [1,2,10]

1.3 Sálání (záření, radiace)

Pro přenos tepla zářením není podmínkou přímý dotyk těles a může probíhat i ve vakuu. Je uskutečňován elektromagnetickým vlněním (infracherveným zářením, světlem a ultrafialovým zářením), jehož podmínkou je teplota tělesa větší než absolutní nula (větší než 0 K). Čím je větší teplota tělesa, tím více vyzařuje. Tuto závislost popisuje Stefan-Boltzmannův zákon. Typickým příkladem je přenos energie od Slunce. [1,10]

Jelikož budou v bakalářské práci řešeny tepelné ztráty domu, budu v praktickém výpočtu nadále uvažovat výhradně vedení (skrz obálku domu) a proudění (větrání).

2 Prostup tepla

Abychom zamezili úniku tepla z vnitřních prostor, snažíme se dům izolovat od okolního prostředí a snížit tak jeho tepelné ztráty. Prostup je ovlivněn tloušťkou a rozměry stěny, jejím složením z hlediska použitých materiálů, jejich součinitelem tepelné vodivosti a rozdílem teplot mezi prostředími, kde je tepelná výměna uvažována. [3]

2.1 Tepelný odpor R

Udává míru izolační schopnosti. Jeho jednotkou je $[m^2 \cdot K/W]$. Celkový odpor konstrukce, přes kterou tepelný tok prochází, je dán součtem odporů jednotlivých vrstev, z nichž se konstrukce skládá a odporů při přestupu tepla.

$$R_T = R_{si} + R + R_{se}, \quad (2.1)$$

kde je

R_T celkový tepelný odpor, $(m^2 \cdot K/W)$

R_{si} odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce, $(m^2 \cdot K/W)$

R odpor konstrukce, $(m^2 \cdot K/W)$

R_{se} odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce. $(m^2 \cdot K/W)$

Tepelný odpor konstrukce R, respektive jednotlivých vrstev, se pro rovinné stěny vypočte dle vzorce

$$R = \frac{d}{\lambda}, \quad (2.2)$$

kde je

d tloušťka vrstvy v konstrukci, (m)

λ součinitel tepelné vodivosti. $(W/m \cdot K)$

Jelikož se součinitel tepelné vodivosti nachází ve jmenovateli, je odpor vrstvy tím lepší, čím menší tento koeficient je.

Odpory při přestupu tepla vznikají od vzduchových vrstev v bezprostřední blízkosti nad povrchem konstrukce. Tyto odpory se stanoví podle vztahu

$$R_{sx} = \frac{1}{h_x}, \quad (2.3)$$

kde je

h_x součinitel přestupu tepla. $(W/m^2 \cdot K)$

Ze vzorce (2.3) se dopočte odpor při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce. [3, 4, 52]

2.2 Součinitel prostupu tepla U

Udává množství tepla, které při teplotním rozdílu povrchů 1 K unikne skrz 1 m^2 konstrukce. Jedná se o převrácenou hodnotu tepelného odporu, tudíž jednotkou je $W/m^2 \cdot K$.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (2.4)$$

Tzv. U-hodnota zahrnuje všechny vlivy materiálů konstrukce, přilehlých vzduchových vrstev a vliv např. tepelných mostů, které je však možné – za předpokladu, že je jejich vliv menší, než 5 % součinitele prostupu tepla – zanedbat. Naopak při překročení této hranice je nutné jejich působení dále zohlednit. [3;6]

2.3 Součinitel tepelné vodivosti λ

Vyjadřuje schopnost materiálu vést teplo. Je definován jako množství tepla, jenž projde mezi dvěma protilehlými stěnami krychle o jednotkové hraně a teplotním rozdílu 1 K. Jeho jednotkou je W/m·K [5]. Tento součinitel je specifický pro každý materiál a příklad hodnot, kterých nabývá je uveden v tabulce (1). Tyto hodnoty jsou zjištěny experimentálně a pro pevné látky jsou závislé na teplotě.

Tabulka 1: Součinitelé tepelné vodivosti pro různé materiály při 20 °C [37]

Materiál	λ (W/m·K)
Stříbro	418
Hliník	229
Železo	73
Žula	2,9-4,0
Beton	1,5
Sklo	0,6-1,0
Cihla	0,28-1,2
Voda	0,6
Vzduch	0,026
Polystyren	0,16
Skelná vata	0,04

Z hodnot z tabulky vyplývá, že kovy jsou dobrými vodiči, naopak nekovy vykazují spíše izolační vlastnosti. Výborným izolantem je např. vzduch. Tohoto se využívá při výrobě oken - mezi jednotlivými skly okna je vzduchová mezera (dvojsklo, trojsklo), která tvoří další izolační vrstvu. O konkrétních izolačních prvcích více v kapitole č. 3.

3 Zateplení (izolace)

Obvodové stěny mají nejen nosnou a tepelně izolační funkci, jejich účelem je také ochrana proti vnějším klimatickým vlivům, proti hluku a v neposlední řadě utváří dojmy o domu z estetického hlediska na první pohled. Právě skladba těchto stěn hraje důležitou roli při výpočtu tepelných ztrát. Obvodová stěna domu je směrem z interiéru do exteriéru tvořena nosnou vrstvou (cihly, tvarovky) a poté vrstvou tepelné izolace. Při zateplování stávající konstrukce se mění tedy pouze tloušťka izolační vrstvy, do nosné konstrukce se již nezasahuje. Zateplit dům je však možné nejen z vnějšku, ale také z vnitřní strany (např. minerálními deskami), čímž se zmenší obytný prostor. V České republice je nejrozšířenější zateplovací systém používaný při zateplení venkovní části stěny zvaný ETICS (z angl. external thermal insulation composite system). Jedná se většinou o pěnový polystyren, minerální vlákna (desky nebo lamely), nebo o materiálech na bázi polyuretanu (PUR) a polyisokyanurátu (PIR). [14]

U stěn mezi jednotlivými pokoji nejsou požadované tak vysoké tepelně izolační vlastnosti, jelikož většina pokojů je vytápěna na podobnou, mnohdy stejnou teplotu. To znamená, že jednotlivé pokoje jsou vzájemně vůči sobě v teplotní rovnováze a z toho důvodu k prostupu tepla mezi nimi nedochází. Minimální požadavky na teplotu vytápění jednotlivých pokojů jsou dané normou.

Pro představu: v pokojích určených pro pobyt osob je požadovaná teplota 20 °C, v koupelně je tato hodnota o trochu vyšší, konkrétně 24 °C. Tyto hodnoty jsou však pouze výpočetní. Uživatel je schopný si sám regulovat teplotu v místnosti, ať už regulátorem spojeným přímo s kotlem, nebo modernějším způsobem – bezdrátově skrz mobilní telefon. V dnešní době je běžné, že výkon kotle se reguluje sám v závislosti na venkovní teplotě, případně dle nastavení režimu vytápění.

Systémy zateplení

3.1 Polystyren

Polystyren je užíván pro jeho nízkou cenu, skvělé tepelně izolační parametry a jednoduchost manipulace díky nízké hmotnosti a vhodnému tvaru. Vyrábí se zpěňováním perlí a dle způsobu výroby lze polystyreny dělit na pěnové neboli expandované (EPS) a extrudované (XPS).

- **EPS**

Pěnový polystyren je vyroben polymerací styrenu. Jednotlivé buňky expandovaného polystyrenu jsou uzavřené, avšak na rozdíl od XPS jsou mezi nimi vzduchové mezery (viz. Obrázek 4). To mu propůjčuje skvělé tepelně izolační vlastnosti, je lehčí, více nasáklavý a méně pevný. Z těchto důvodů je používán převážně na zateplení stěn. EPS je složením 2% polystyren a zbylými 98% vzduch. Součinitel tepelné vodivosti se pohybuje mezi 0,034 – 0,039 W/m·K [19]. [11,12]



Obrázek 2 EPS desky [23]

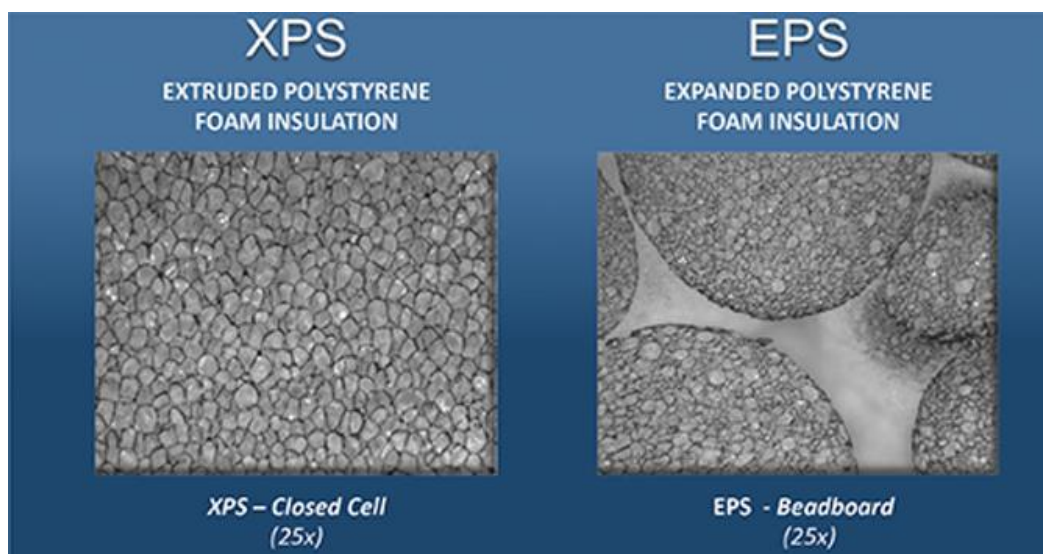
- **XPS**

Výroba extrudovaného polystyrenu probíhá vytlačováním taveniny krystalového polystyrenu. Ten je díky jeho uzavřeným buňkám méně náchylný k nasáknutí, do jisté míry vykazuje protipožární vlastnosti a garantuje větší pevnost a tvrdost. Na druhou stranu je méně odolný vůči UV záření. Z těchto důvodů je vhodné jeho použití do podlah nebo do základů. Součinitel tepelné vodivosti se pohybuje mezi 0,033 – 0,038 W/m·K [19]. [11]



Obrázek 3 XPS desky [24]

Rozdíl mezi uzavřenými buňkami struktury XPS a vzduchem vyplněnými buňkami EPS polystyrenu je znázorněn na obrázku č. 4.



Obrázek 4: Struktury polystyrenů [16]

3.2 Minerální izolace

Na rozdíl od polystyrenu, jehož výroba probíhá čistě syntetickým postupem, vnikají minerální izolace vznikají přírodní cestou. Na zateplení se používá opět z důvodu výborných parametrů, co se ochrany před nechtěným únikem tepla týče, dále pro její zvukově izolační vlastnosti a v neposlední řadě nehořlavost a nenasákavost. Konkrétně se jedná o skelnou nebo minerální vatu či kamennou vlnu. Tyto materiály, jak již jejich názvy napovídají, jsou vyrobeny převážně z písku, odpadového skla nebo vyvřelých hornin (čedič, dolomit, aj.), které se nejprve roztaví v peci a poté dochází za přidávání pojiva k vrstvení vlny na rozvlákňovacích strojích. Materiál se stlačí, vytvrdí se pojivo a vlna se upraví na výsledné rozměry. Přírodní materiály zajišťují vlně její stálost vůči vnějším vlivům. Kamenná minerální vlna se dá využít i při extrémních teplotách (až do 750 °C) [64]. Velkou výhodou při uskladnění a transportu poskytuje možnost je stlačit. Minerální vlna se využívá do konstrukcí, kde nedochází k její mechanické zátěži

(typicky stropů a podkroví), avšak má spoustu dalších využití přes izolaci komínů, v domácích spotřebičích (trouba, lednice), výplň protipožárních dveří, po solární kolektory. Součinitel tepelné vodivosti minerální vlny se pohybuje mezi 0,03 – 0,04 W/m·K. [13]



Obrázek 5 Kamenná minerální vlna [64]



Obrázek 6 Skelná minerální vata [64]

3.3 PUR a PIR izolace

Dalším materiálem používaným pro tepelnou izolaci, který se používá ve formě pěny nebo desek, je polyuretan (PUR) a polyisokianurát (PIR). Desky nabízí při velmi malé tloušťce výborné izolační hodnoty (pro PUR je $\lambda = 0,033 - 0,045$ W/m·K, pro PIR $\lambda = 0,021 - 0,023$ W/m·K) a vysokou pevnost v tlaku. Desky mají velmi nízkou hmotnost, tudíž nezatěžují konstrukci, a navíc je možnost je spojovat pomocí systému pero-drážka. Oba materiály mají velmi podobné vlastnosti, PIR izolace má vyšší pevnost v tlaku, menší tepelnou vodivost a je vhodnější ji použít pro větší tepelnou zátěž a splňuje tedy náročnější protipožární požadavky než PUR. Časté využití bývá jako výplň a izolaci spár a jiných těžko přístupných prostor, pro nadkroevní prostory u šikmých střech, aj. Polyuretanová pěna je buď měkká (známá spíše jako molitan) nebo tvrdá. Měkká se využívá při čalounění nábytku, tvrdá jako výplň panelů tepelných izolací. Nevýhodou oproti konvenčním způsobům zateplení (např. polystyrenu) je vyšší cena [38, 39, 40].



Obrázek 7 PUR desky [58]



Obrázek 8 Zateplení střechy PUR pěnou [57]



Obrázek 9 PIR desky [59]

4 Okna

V konstrukci domu se z mnoha důvodů vytváří otvory (okna, dveře, aj.), a to i na úkor toho, že přes ně uniká teplo. Okna zajišťují denní světlo a možnost větrání. Okno je tvořeno ze skla a okenního rámu, do něhož je uloženo. Zbylé části prostup tepla oknem neovlivňují zdaleka tolik jako rám a sklo, proto jim nadále nebude věnována pozornost.

Rozdělení oken dle materiálu rámu

4.1 Plastová okna

Plastová okna jsou většinou používána v panelových domech. Výhodou je nejnižší pořizovací cena a velmi nízká náročnost na údržbu. Naopak nevýhodou je, že samotný plast není dost tuhý, a proto je potřeba využít výtuh ke zvýšení pevnosti. Není proto možné vyrábět velkoformátová plastová okna. Jelikož má rám horší tepelněizolační vlastnosti než prosklená část, používá se pro výplň rámu PUR pěna či polystyrenové vložky.

Také z hlediska životního prostředí nejsou nejlepší volbou. Barevné provedení rámu plastových oken je velmi různorodé a může se lišit z vnitřní a vnější strany. Od bílé po design takový, aby vypadala jako dřevěná (viz. Obr. 10). Hodnoty prostupu tepla jsou u plastových oken krom závislosti na použitém druhu zasklení (dvojsklo/trojsklo) dále ovlivněny počtem komor v rámu, případně v křídle (viz. Tabulka 2). [33].



Obrázek 10 Plastové okno [34]



Obrázek 11 Skladba plastového rámu okna výrobce PKS [60]

4.2 Dřevěná okna

Nejpoužívanějším typem dřevěných oken jsou u nás tzv. eurookna. Ta jsou tvořena hranoly typicky ze tří nebo čtyř vrstev lepených dřevěných lamel (nejčastěji používanými dřevinami jsou smrk, borovice, dub, nebo dřevo ze stromu rodu Shorea označované „meranti“). Dřevěná okna jsou závislá na povrchové úpravě, bez níž jednoduše podléhají působení vnějších vlivů. Z tohoto důvodu je potřeba dřevěným ráům věnovat větší péči v podobě nátěru impregnačí a lazuroou, čímž se zajistí jejich delší životnost. Dřevěná okna mají velmi dobré tepelně izolační i akustické vlastnosti [33].



Obrázek 12 Dřevěné okno [35]



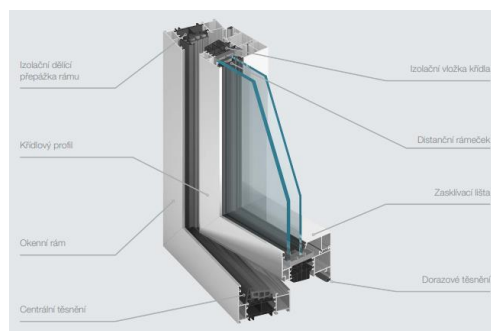
Obrázek 13 Skladba dřevěného rámu okna výrobce PKS [61]

4.3 Hliníková okna

Rámy z hliníku se pyšní velmi dlouhou životností, vysokou odolností a nutností minimální údržby. Díky značné pevnosti mohou tyto rámy nabídnout velmi úzký šířkový profil. Hodnota tepelného prostupu je stejně jako u plastových oken závislá na počtu komor a typu zasklení a je opět uvedena v tabulce č. 2. Hliníková okna jsou využívána pro moderní stavby a jejich předností, jak je z obrázku výše patrné je možnost rozměrově větších ploch (pro velké formáty oken). Na výběr je široká škála barevných provedení. [33]



Obrázek 14 Hliníkové okno [36]



Obrázek 15 Skladba hliníkového rámu okna výrobce PKS [62]

4.4 Kombinace materiálů rámu

Pro zlepšení vlastností, a především stálosti oken, se využívá kombinace výše zmíněných materiálů. Materiál odolnější vůči vlivům počasí se použije pro kontakt rámu s okolím a chrání tak zvenku materiál v kontaktu s interiérem. Kupříkladu hliník v kombinaci se dřevem zbavuje nutnosti povrchových úprav dřeva a uvnitř je zachován líbivý dekor dřeva. V kombinaci s plastem zaručuje plastové části rámu delší životnost [33].



Obrázek 16 Skladba dřevohliníkového rámu okna výrobce PKS [63]

Charakteristickou veličinou udávanou pro okna je prostup tepla U , zmíněný výše v kapitole 2.2. Výrobci oken většinou uvádějí pouze celkový prostup U_w pro celé okno, který je dále závislý na jednotlivých prostupech, U_f pro rám a U_g pro zasklení. Pro představu je zde tabulka shrnující nabídku výrobce Okna Macek rozdělenou dle materiálu rámu, zahrnující výše zmíněné faktory, jež ovlivňují výsledný tepelný prostup. Tabulka s uvedenými hodnotami zohledňuje pouze porovnání nabídky jednoho výrobce.

Tabulka 2 Porovnání vlastností okenních rámu výrobce Okna Macek [56]

	Typ zasklení	U_w [W/m ² K]	U_g [W/m ² K]	Komory	Lamely
plast	dvojsklo	1,3	1,1	5	
	trojsklo	1,1	0,7	5	
	trojsklo	0,88	0,5	6	
	trojsklo	0,85	0,5	7	
dřevo	dvojsklo	1,2	1,1		trojvrstvá
	trojsklo	0,93	0,7		čtyřvrstvá
	trojsklo	0,78	0,6		čtyřvrstvá
	trojsklo	0,72	0,5		čtyřvrstvá
hliník	dvojsklo	1,5	1,1	3	
	trojsklo	1,2	0,7	3	
	trojsklo	1,2	0,6	3	
	trojsklo	1,1	0,5	3	

Zajímavé je si povšimnout hodnoty U_g , jež není pro stejné typy zasklení stejná. To je způsobeno rozdílnou vzdáleností mezi jednotlivými tabulkami skla. V dnešní době je naprostým standardem dvojsklo, lepších izolačních vlastností se dosahuje použitím trojskla. Prostor mezi skly se ke snížení prostupu tepla vyplňuje plynem – vzduchem, argonem, kryptonem, nebo xenonem. Využití izolačního dvojskla, respektive trojskla, je znázorněno na obrázku č. 17. Čím dále jsou od sebe skla umístěna, tím lepších hodnot prostupu se dosáhne.

Při použití dvojskla tloušťky 24 mm, složení 4-16-4, je prostup sklem $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$,

při použití trojskla tloušťky 36 mm, složení 4-12-4-12-4, je U_g již $0,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

a při použití trojskla tloušťky 48 mm, složení 4-18-4-18-4, je hodnota $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ [65].



Obrázek 17 Řez izolačními skly [66]

5 Zdroje tepla pro vytápění

Tradičním zdrojem tepla nejen v rodinném domě je kotel. Při výběru kotle hraje významnou roli několik faktorů. Je důležité si položit otázky týkající se typu paliva, kterým se v kotli bude topit, jak velká tepelná ztráta musí být kotlem pokryta (tudíž jaký výkon musí kotel mít) zvážit všechny účely využití kotle, cenu, návratnost, rozměry a další.

Vytápění jde ruku v ruce se zateplením. Čím lépe zateplená budova je, tím lépe bude čelit tepelným ztrátám. Je tedy dobré mít ztráty dopředu spočítané, aby při výběru nového kotle nebyl jeho výkon zbytečně předimenzovaný.

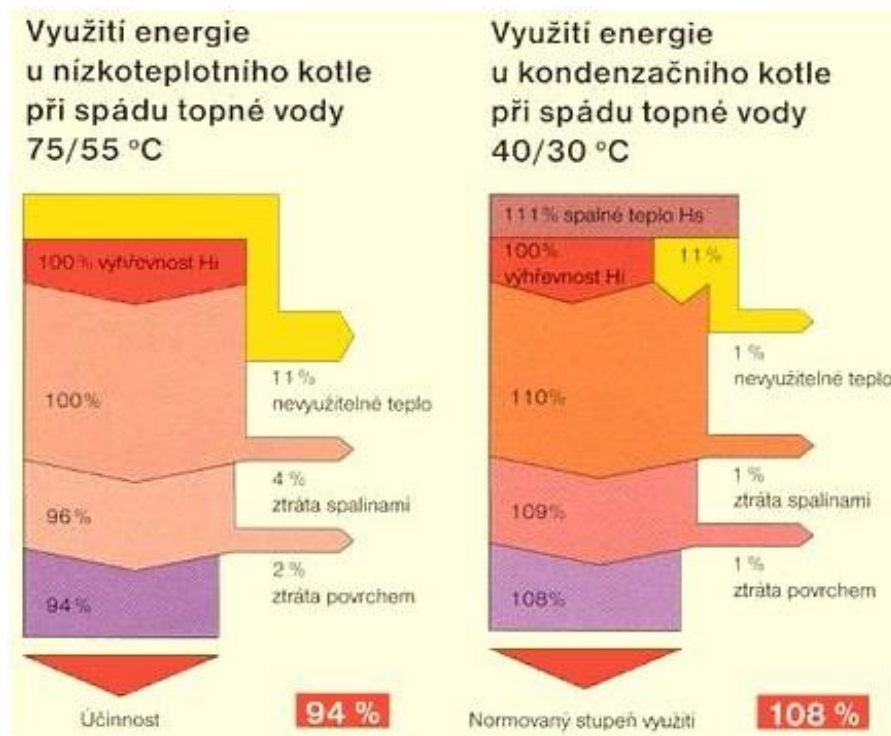
Typy kotlů dle zdroje tepla:

5.1 Plynové kotle

Teplu kotel produkuje spalováním zemního plynu. Jelikož při spalování plynu nedochází ke vzniku nespálených částic, dá se považovat vytápění plynem za ekologické. Značnou výhodou je plně automatizovaný provoz a také dostupnost zemního plynu. Nevýhodou však může být právě absence rozvodu zemního plynu, což by následně vedlo buď k pořízení zásobníku na palivo (tlakové nádoby na propan-butan) nebo k volbě kotle na alternativní typ paliva. Běžné výkony těchto kotlů se pohybují mezi 14 a 28 kW [17]. V dnešní době se nejčastěji setkáme s využitím plynového kondenzačního kotle, který má na rozdíl od běžného kotle, u kterého je účinnost mezi 84 % až 89 %, účinnost okolo 98 %. Tato účinnost je stanovena z celkového spalného tepla. Často je však možné se v kontextu s kondenzačním plynovým kotlem setkat s účinností vyšší než 100 % (okolo 109 %). V tomto případě je ale řeč o tzv. normovaném stupni využití, který je počítán z výhřevnosti. Kondenzační kotel totiž využívá nejen fyzického tepla spalin, ale dokáže zužitkovat i teplo uvolněné při kondenzaci vodní páry (latentní teplo), čímž výrazně snižuje spotřebu zemního plynu. Tento typ kotle je vhodné využít zejména pro novější domy, které nemají příliš vysokou tepelnou ztrátu z důvodu, že pracují s nižšími teplotami topné vody. Nevýhodou může být vyšší pořizovací cena a zajištění odvodu kondenzátu. [4,6,21]



Obrázek 18 Kondenzační plynový kotel [22]



Obrázek 19 Rozdíl mezi účinností a normovaným stupněm využití [21]

Často bývá požadavek na kotel kromě vytápění také ohřev vody. Plynové kotle se vyrábí ve třech konfiguracích v závislosti na místě ohřevu a uchování teplé vody. Jedná se o:

- Kotel s průtokovým ohřevem vody – teplá voda není skladována v žádném zásobníku, ohřívá se pouze voda, která kotlem právě protéká (při větším odběru je množství vody omezeno průtokem)
- Kotel s integrovaným zásobníkem vody – součástí kotle je vestavěný zásobník, ve kterém je připravena teplá voda pro přímý odběr
- Sestava kotle a zásobníku na ohřev vody – jelikož se již jedná o sestavu, toto řešení obsahuje externí zásobník. Výhodou však je možnost volby požadovaného objemu tohoto zásobníku [27]

5.2 Elektrický kotel

Další možností může být kotel elektrický. Přímotopné elektrokotle se vyznačují absencí zásobníku na vodu a jejich rozměry jsou tedy velmi kompaktní. Akumulační kotle naopak mají, jak název napovídá, akumulaci nádrží na vodu. Tento rozdíl pak hraje významnou roli, co se rozměrů kotle či reakční doby na změnu teploty týče. Běžné pracovní výkony jsou mezi 4-60 kW a jejich účinnost se pohybuje okolo 99 %. Použití elektrických kotlů je z ekonomického hlediska doporučováno pro méně energeticky náročné objekty. Výhodou je, že elektrokotel nevyžaduje přítomnost komínu, je nenáročný na obsluhu, má tichý chod a nižší pořizovací cenu. Nevýhoda je cena elektřiny [5].



Obrázek 20 Elektrický kotel [26]

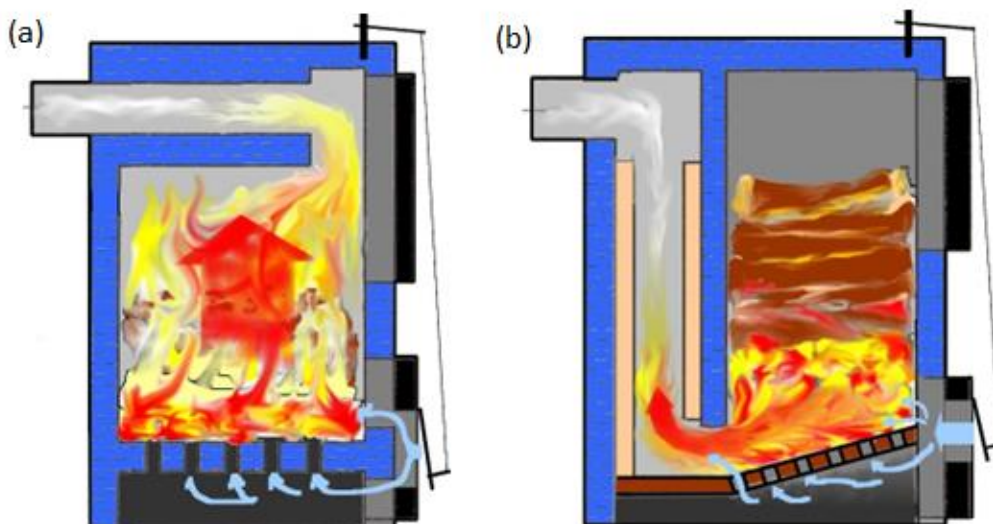
5.3 Kotel na tuhá paliva

V kotlích na tuhá paliva se spaluje např. dřevo, uhlí, či pelety. Pro správný chod by však systém měl obsahovat akumulaci nádrž. Kotle na tuhá paliva se dělí na prohořivací, odhořivací, zplyňovací, automatické a lokální topidla s výměníkem, díky kterému je možné vytopit celý dům, a nejen místnost ve které je lokální topidlo umístěno. Dříve byly kotle na tuhá paliva spojeny s diskomfortem v podobě přidávání spalného materiálu ručně. Dnes tento proces bývá automatizován a palivo do zásobníku se doplňuje ve větším množství a zřetelně delších časových intervalech. Rozdílem mezi prohořivacím a odhořivacím způsobem spalování je cesta, kudy odcházejí z kotle spaliny. U prohořivacího kotle procházejí spaliny přes aktuálně hořící vrstvu, zatímco odhořivací kotle odvádějí spaliny mimo tuto vrstvu (viz. Obrázek 16). Automatický kotel je mnohonásobně dražší než kotel s ručním přikládáním a jeho součástí je zásobník na palivo (viz. Obrázek 15).

Dalším typem je zplyňovací kotel, který má dva stupně spalování. Nejprve se většina paliva přemění za vysoké teploty na plyn, který se spálí ve druhé fázi. Účinnost se zvyšuje s teplotou při zplynění, jelikož plyn hoří mnohem snadněji a spálí se tak větší část paliva (zbude méně popela). Krom kotlů, pro které je výrobcem doporučen vhodný topný materiál pro konkrétní kotel, existují také kombinované kotle, v kterých jde topit kombinací více typů paliv (typickými kombinacemi jsou např. pelety s uhlím nebo pelety se dřevem). Značná nevýhoda tuhých paliv je jejich transport a skladování. Výhodou je však ekologická stránka vytápění biomasou, jelikož dřevo, pelety nebo brikety jsou na rozdíl od kupříkladu plynu obnovitelná surovina. Co se ceny za topný materiál týče, oproti ostatním typům paliva, vychází vytápění tuhými palivy velmi levně [28, 29, 51].



Obrázek 21 Automatický kotel na tuhá paliva se zásobníkem na pelety [50]



Obrázek 22 Schéma odchodu spalin u (a) prohořivacího kotle, (b) odhořivacího kotle [51]

5.4 Kamna, krb

Kamna či krb často bývají použity jako jediný zdroj tepla na chalupách či chatách. Lidé si je do rodinného domu pořizují kvůli estetické stránce a spíše jako podpůrný zdroj tepla během topné sezony, např. jako doplněk k vytápění plynem. Pokud jsou však kamna vybavena teplovodním výměníkem, je možnost ho propojit s otopnou soustavou a využít jako primární zdroj tepla pro vytápění a přípravu teplé vody. Opět je pro správnou funkci nutno připojit akumulaci nádrž. Odvod spalin je zajištěn pomocí komína. Často jsou k vidění tzv. krbová kamna (viz. Obr. 15) Rozdíl mezi krbovými kamny a krbovou vložkou je v umístění topidla v místnosti. Zatímco krbová kamna jsou volně postavená v prostoru, krbová vložka bývá typicky obezděna [25,49].



Obrázek 23 Rohová krbová kamna [25]

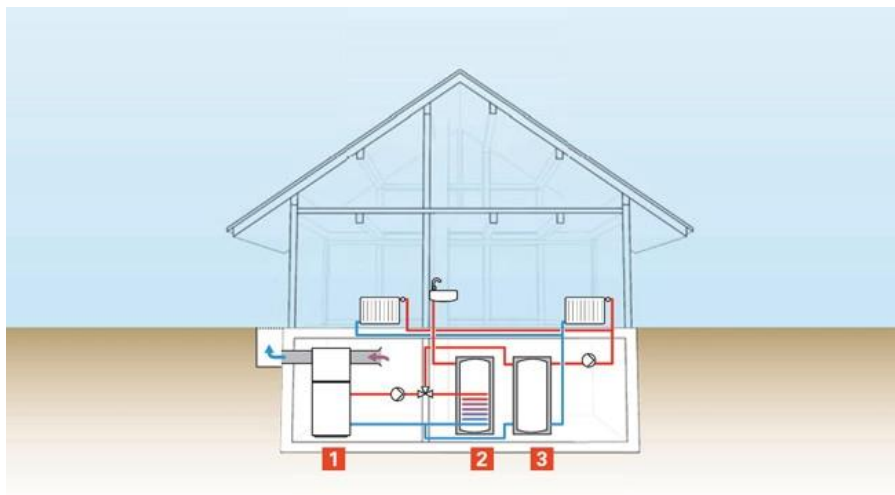
5.5 Tepelné čerpadlo

Trendem poslední doby je instalace tepelného čerpadla. Jeho využití díky nízkým provozním nákladům je tím výhodnější, čím větší tepelnou ztrátu objekt má. Navzdory velké počáteční investici je za předpokladu správného využití očekávána jeho návratnost v průběhu

následujících 10 let. Tepelné čerpadlo by se svou podstatou dalo přirovnat obrácené funkci lednice – odebírá energii z okolí a přeměňuje ji na teplo. Tepelné čerpadlo převede odebrané teplo z okolí na vyšší teplotní hladinu, díky čemuž je možné ho předat dále a využít. V místě, odkud se teplo přijímá se např. za pomoci ventilu sníží tlak čili teplota vypařování kapaliny poklesne pod teplotu okolí a kapalina se vypaří, při čemž odebere teplo z okolního prostředí a v plynném skupenství doputuje do akumulární nádoby, kde se tlak pomocí kompresoru opět zvýší a kapalněním plynu vzniklé latentní teplo se předá do zásobníku, odkud pak zahřátá kapalina pokračuje do radiátorů, nebo se uschová v akumulární nádrži. Účinnost tepelného čerpadla je dána tzv. topným faktorem COP, který udává, kolik kWh tepelné energie za každou spotřebovanou kWh elektrické energie lze získat. Znamená to tedy, že při topném faktoru 3 získáme z 1 kWh elektrické energie 3 kWh tepelné energie. Topný faktor je závislý na teplotě prostředí, odkud teplo odebíráme a při nižší teplotě je nižší i topný faktor. Provozní náklady se zvyšují úměrně dle teplotního rozdílu mezi prostředím odkud je teplo odebíráno a prostředím, kam je vedeno. Nejnižší náklady na provoz lze uvažovat pro TČ země/voda, které je připojené např. k podlahovému topení, jenž se nevytápí na vysoké teploty. [70, 71, 72, 73]

- **Tepelné čerpadlo vzduch/voda**

Energie z tohoto typu tepelného čerpadla je získávána ze vzduchu, a to dokonce i při teplotě do $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ze vzduchu se předá do vodního okruhu, kterým se objekt vytápí. Existují dvě různá provedení, a to kompaktní a splitové. Kompaktní provedení znamená, že celá jednotka sestává pouze z jednoho kusu. Druhé, tzv. splitové, je rozdělené, tvořené vnější a vnitřní jednotkou, které jsou mezi sebou propojeny. Výhodou TČ vzduch/voda je nenáročná instalace, jelikož není potřeba hloubit vrty a náklady na jeho provoz jsou nízké. Pro naše podnebí je tento typ čerpadla nejvhodnější i přes to, že má nižší účinnost, než čerpadlo země/voda. Topný faktor u čerpadla vzduch/voda velmi kolísá v závislosti na měnící se vnější teplotě. [30, 32]



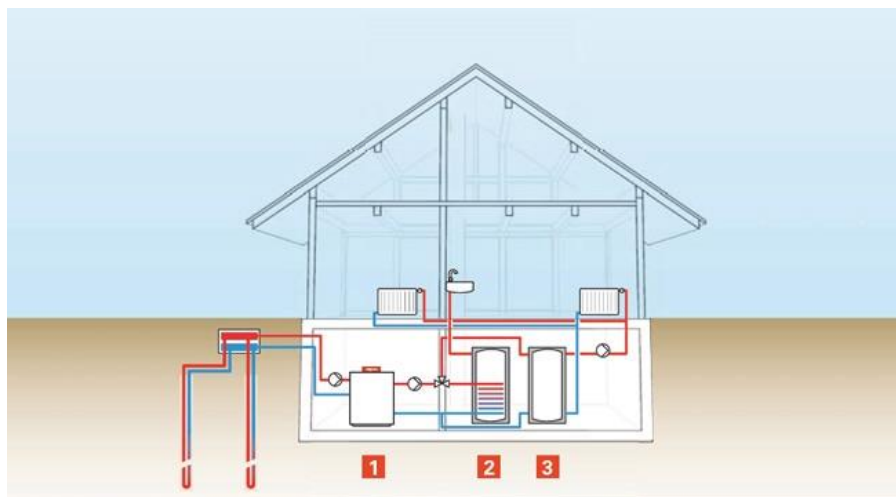
Obrázek 24 Schéma soustavy tepelného čerpadla vzduch/voda [32]

1. Tepelné čerpadlo
2. Zásobník pro ohřev teplé vody
3. Akumulační zásobník topné vody

- **Tepelné čerpadlo země/voda**

Teplo je získáváno ze zemních kolektorů nebo podzemních vrtů a vedeno do vnitřní jednotky, kde ho za pomoci tepelného výměníku předá chladivě, jenž je stlačeno kompresorem, čímž dojde k nárůstu teploty a energie se předá do topné vody. Tento typ čerpadla má stálý výkon, jelikož kolektory jsou umístěny pod zemí, kde se celoročně drží stálá teplota,

avšak instalace těchto podzemních systémů může být náročnější a v případě kolektorů je zapotřebí rozměrově větší plocha. Pro získání 1 kW energie je zapotřebí přibližně 30 m² kolektorů, nebo 12 m vrtu. Topný faktor je po celý rok vysoký a dosahuje hodnot až 4,8. Na obrázku 25 je zobrazeno využití hlubinných vrtů pro získávání tepla z půdy. Soustava využívající zemní kolektory je podobná této, jen trubky, které jsou vyplněné nemrznoucí kapalinou jsou blíže povrchu. Tepelné čerpadlo lze také použít jako klimatizaci. [30, 31]



Obrázek 25 Schéma soustavy tepelného čerpadla země/voda využívající vrtů [31]

1. Tepelné čerpadlo
2. Zásobník pro ohřev vody
3. Akumulační zásobník topné vody

5.6 Fotovoltaická elektrárna

Jedním ze způsobů získávání energie z obnovitelných zdrojů je využití slunečního záření. K přijímání této energie se využívají fotovoltaické panely, ke kterým je připojený střídač neboli měnič. Panely vyrábí stejnosměrný proud a ten je měničem převeden na námi využitelnou elektřinu (230/400 V, 50 Hz), nebo je energie využita na ohřev TUV (pokud jsou na sebe systémy napojeny). Solárními panely lze také využít pro ohřev teplé vody. Výkon fotovoltaické panelu je 100-173 Wp/m². Jedná se o špičkový výkon neboli výkon při optimálních podmínkách. Optimální podmínky jsou ty, u kterých světlo intenzity 1000 W/m² při teplotě 25 °C dopadá kolmo na panel. Celkový výkon je přímo úměrný počtu panelů. Jejich životnost je mezi 25–35 lety. [74]

5.7 Kombinovaný způsob vytápění

Kombinace více zdrojů tepla přináší mnoho výhod. Mezi ně patří např. nezávislost na jednom typu paliva, možnost rychlé reakce na aktuální situaci (nepříznivý vývoj cen paliva), aj. Typické je např. využití kotle na tuhá paliva na vytápění a elektrokotle na ohřev teplé užitkové vody. Vytápění tuhými palivy je velmi ekonomické a elektrokotel zajistí pohotovostní ohřátí vody. Další vhodnou kombinací může být propojení tepelného čerpadla a fotovoltaiky. Nejenže energie potřebná pro provoz tepelného čerpadla se zároveň generuje solárními panely, elektronika dokáže také vyhodnotit přetoky od fotovoltaiky a využije je na ohřev teplé užitkové vody, tudíž tepelné čerpadlo vyrovnává menší teplotní rozdíl a spotřebuje menší množství elektrické energie. Navíc lze na pořízení tepelného čerpadla a fotovoltaiky požádat o dotace, což výrazně sníží vstupní náklady. [75]

6 Popis modelového domu

Modelový dům se nachází ve východní části obce Kanice. Je orientovaný na jihovýchod, tzn. vchodové dveře směřují tímto směrem, a dům samotný je postavený na severní části pozemku. Toto umístění je zvoleno z důvodu, že nejnvýhodnější rozložení je mít zahradu na jižní straně pozemku kvůli době, po kterou na ni dopadá sluneční svit.

Jedná se o větší rodinný dům se dvěma nadzemními podlažími se šikmou sedlovou střechou. V prvním podlaží se nachází 8 vytápěných místností o rozloze 112,23 m² a nevytápěná garáž s plochou 49,6 m². Ve druhém podlaží je 7 vytápěných místností (114,41 m²) a nevytápěná půda stejně velká jako garáž.

6.1 Aktuální zdroj tepla pro vytápění

Aktuálně se v domě nachází 2 zdroje vytápění – kondenzační plynový kotel a krbová vložka. Krbová vložka je z pohledu výpočtu zanedbatelná, protože je používána pouze jako podpůrný zdroj tepla. Není připojený na centrální topení a její používání není nijak pravidelné, slouží spíše pro navození určité atmosféry, pohodlí a zvyšuje celkovou útulnost místnosti.

Primárním zdrojem je kondenzační plynový kotel Nuvola3 Comfort HT o jmenovitém výkonu 33 kW, který pracuje v rozmezí 10,2 kW – 30,3 kW. Tento kotel je zároveň využíváný pro ohřev teplé užitkové vody, a proto má tak vysoký výkon. Objem zásobníku na TUV je 45 l. Důležité specifikace jsou uvedeny v tabulce č. 3.[20].

Tabulka 3 Specifikace aktuálního zdroje vytápění [20]



Jmenovitý tepelný výkon topení při tepelném spádu 50/30 °C	30,3 kW
Minimální tepelný výkon topení při tepelném spádu 50/30 °C	10,2 kW
Rozsah regulace topné vody	20/80 °C
Rozsah regulace TUV	35/60 °C
Objem zásobníku	45 l
Jmenovitá účinnost 50/30 °C	105 %
Maximální přetlak okruhu topení	3 bar
Maximální přetlak okruhu TUV	8 bar

Obrázek 26: Kotel Nuvola3 Comfort HT [20]

7 Výpočet

Výpočet byl proveden dle normy ČSN EN 12831-1:2017. Pro požadovanou přesnost jsem použil Základní metodu – tepelný výkon pro místnosti, funkční části budov a budovy. [77]

Pro výpočet je nezbytné znát veškeré rozměry – půdorysy jednotlivých místností, plochu stěn, velikost oken a střechy, dále skladby jednotlivých obvodových konstrukcí atd. Vstupní údaje byly získány z poskytnutých výkresů nemovitosti a z dodaného technického popisu budovy. Vlastní výpočet v excelovské tabulce a slepá matrice jsou přiloženy v příloze.

7.1 Výpočet stávajícího stavu tepelných ztrát prostupem:

Pro ukázkový výpočet jsem zvolil místnost 1.8, na které lze ukázat výpočet prostupu do zeminy a zároveň je obklopen sousedními místnostmi a také dochází k prostupu přímo do venkovního prostředí.

- Měrný tepelný tok prostupem přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie}$:

$$H_{T,ie} = \sum_k (A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}), \quad (7.1)$$

kde je

$H_{T,ie}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) (W/K)
přímo do venkovního prostředí (e),

A_k plocha stavební části (k), (m²)

U_k součinitel prostupu tepla stavební částí (k), (W/m²·K)

ΔU_{TB} přírážka na vliv tepelných vazeb, (W/m²·K)

$f_{U,k}$ opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, (-)

$f_{ie,k}$ teplotní opravný činitel. (-)

$$H_{T,ie} = 23,98 \cdot (0,22 + 0,05) \cdot 1 \cdot 1 + 3 \cdot (1,1 + 0,05) \cdot 1 \cdot 1 = 6,475 + 3,45 = 9,925 \text{ W/K}$$

Součinitel prostupu tepla U_k byl vypočten dle vzorce (7.2)

$$U_k = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}, \quad (7.2)$$

kde je

R_{si} odpor při přestupu tepla na vnitřní straně, (m²·K/W)

R odpor konstrukce, (m²·K/W)

R_{se} odpor při přestupu tepla na vnější straně. (m²·K/W)

Hodnoty R_{si} a R_{se} byly určeny dle normy podle směru tepelného toku, kudy je prostup tepla uvažován. Pro obvodové zdivo (vodorovný směr tepelného toku) udává norma hodnoty $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ a $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Odpor konstrukce byl vypočten dle rovnice (7.3)

$$R = \frac{d}{\lambda}, \quad (7.3)$$

kde je

d tloušťka vrstvy v konstrukci, (m)

λ součinitel tepelné vodivosti. (W/m·K)

Ukázkový výpočet pro obvodové zdivo uveden v tabulce č. (4).

Tabulka 4 Výpočet součinitele prostupu tepla U_k pro obvodovou stěnu

Obvodové zdivo						
Číslo	Materiál	d [m]	λ [W/m·K]	R [m ² ·K/W]	ΣR [m ² ·K/W]	
						4,35
1	interiérová omítka	0,01	0,87	0,01	R_{si} [m ² ·K/W]	0,13
2	keramická tvárnice Porotherm 30	0,3	0,17	1,76	R_{si} [m ² ·K/W]	0,04
3	EPS 70F	0,1	0,039	2,56	R_T [m ² ·K/W]	4,52
4	exteriérová omítka	0,01	0,74	0,01	U_k [W/m ² ·K]	0,22

Přirážka na vliv tepelných vazeb byla zvolena opět dle normy. V závislosti na kritériích výběru byla budova zařazena mezi nové budovy s optimalizovanými tepelnými vazbami v souladu s obecně s uznávanou praxí a přirážka tedy činí $\Delta U_{TB} = 0,05 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Dále zde vystupují opravní činitelé. Jedná se o činitel $f_{U,k}$, jenž byl dle normy stanoven $f_{U,k} = 1$ a činitel $f_{ie,k}$, který se určí dle vztahu

$$f_{ix,k} = f_1 + f_2, \quad (7.4)$$

kde je

$f_{ix,k}$ teplotní opravný činitel pro výpočet teplotně korigovaných měrných (-)

tepelných toků z vytápěného prostoru (i) do jiného prostředí nebo prostoru (x) přes stavební část (k), umožňující stanovení rozdílu mezi

- teplotou prostoru (x) a venkovní výpočtovou teplotou a
- vnitřní výpočtovou teplotou a průměrnou vnitřní povrchovou teplotou stavební části (k),

f_1 opravný činitel zohledňující rozdíl mezi teplotou sousedního (-)

prostředí nebo prostoru (x) a venkovní výpočtovou teplotou,

f_2 opravný činitel zohledňující rozdíl mezi vnitřní výpočtovou (-)

teplotou prostoru (i) a průměrnou povrchovou teplotu stavební části (k).

$$f_1 = \frac{\theta_{int,i} - \theta_x}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \quad (7.5)$$

kde je

$\theta_{int,i}$ vnitřní výpočtová teplota uvažovaného vytápěného prostoru (i), (°C)

θ_x teplota sousedního prostoru nebo prostředí (x), (°C)

θ_e venkovní výpočtová teplota. (°C)

$$f_2 = \frac{\theta_{int,k}^* - \theta_{int,i}}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \quad (7.6)$$

kde je

$\theta_{int,k}^*$ průměrná vnitřní povrchová teplota stavební části (k) (°C)

Z normy bylo zvoleno při přechodu z interiéru ven $f_1 = 1$ a z důvodu výšky všech místností menší než 4 m pak $f_2 = 0$. Opravný činitel $f_{ie,k}$ je za těchto předpokladů roven 1.

Opravný činitel byl dle normy určen $f_{U,k} = 1$.

- **Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedního vytápěného prostoru (a) $H_{T,ia}$**

$$H_{T,ia} = \sum_k \langle A_k \cdot U_k \cdot f_{ia,k} \rangle, \quad (7.7)$$

kde je

A_k plocha stavební části (k), (m²)

$f_{ia,k}$ teplotní opravný činitel. (-)

Součinitel prostupu tepla U_k i teplotní opravný činitel dopočteny stejně jako v předchozím výpočtu.

$$\begin{aligned} H_{T,ia} &= 5,01 \cdot 0,50 \cdot 0 + 2,97 \cdot 0,69 \cdot 0 + 7,76 \cdot 0,69 \cdot (-0,125) + 19,04 \cdot 1,82 \cdot 0 \\ &= -0,669 \text{ W/K} \end{aligned}$$

- **Měrný tepelný tok prostupem do zeminy $H_{T,ig}$**

$$H_{T,ig} = f_{\theta_{ann}} \cdot \sum_k \langle A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k} \rangle, \quad (7.8)$$

kde je

$H_{t,ig}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) (W/K)

$f_{\theta_{ann}}$ opravný činitel zohledňující vliv změny venkovní teploty v průběhu roku (-)

A_k plocha stavební části (k), (m²)

$f_{GW,k}$ opravný činitel zohledňující vliv spodní vody (-)

$f_{ig,k}$ teplotní opravný činitel (-)

$U_{equiv,k}$ ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části (k) v kontaktu se zeminou (W/m²·K)

Opravný činitel $f_{\theta_{ann}} = 1,45$ byl na základě národní poznámky převzat z normy, zohlednění vlivu spodní vody bylo v normě uvedeno $f_{GW,k} = 1$, jelikož hladina spodní vody je více než 1 m pod úrovní základové desky a $f_{ig,k}$ dopočteno dle vzorců (7.4 – 7.6). Pro výpočet tohoto

teplotního opravného činitele byla použita průměrná venkovní teplota za otopné období, která dle normy odpovídá pro Brno 4 °C. $U_{equiv,k}=0,26 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ bylo dopočteno dle normy.

$$f_1 = \frac{\theta_{int,i} - \theta_x}{\theta_{int,i} - \theta_e} = \frac{20 - 4}{20 - (-12)} = 0,5$$

$$f_2 = 0$$

$$f_{ig,k} = f_1 + f_2 = 0,5 + 0 = 0,5$$

$$H_{T,ig} = 1,45 \cdot 19,04 \cdot 0,26 \cdot 0,5 \cdot 1 = 3,589 \text{ W/K}$$

- **Výpočet návrhové tepelné ztráty prostupem $\Phi_{T,i}$**

Výpočet je založen na měrných tepelných tocích prostupem a teplotním rozdílu mezi jednotlivými prostory, ať už vytápěnými, či nevytápěnými. Výpočet vychází ze vzorce

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,iaBE} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), \quad (7.9)$$

kde je

$\Phi_{T,i}$	(celková) návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru,	(W)
$H_{T,ie}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) přímo do venkovního prostředí (e),	(W/K)
$H_{T,ia}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedních vytápěných prostor (a),	(W/K)
$H_{T,iae}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí přes nevytápěné prostory (ae),	(W/K)
$H_{T,iaBE}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedních funkčních částí budovy (aBE),	(W/K)
$H_{T,ig}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g),	(W/K)
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota,	(°C)
θ_e	venkovní výpočtová teplota.	(°C)

$$\Phi_{T,i} = (9,925 + (-0,669) + 0 + 0 + 3,589) \cdot (20 - (-12)) = 411,02 \text{ W}$$

7.2 Návrhová tepelná ztráta větráním

- **Tepelná ztráta větráním místnosti**

$$\Phi_{V,i} = \rho \cdot c_p \cdot q_{v,min,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), \quad (7.10)$$

kde je

$\Phi_{V,i}$	tepelná ztráta větráním místnosti (i),	(W)
--------------	--	-----

ρ	hustota vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě $\theta_{int,i}$,	(kg/m ³)
C_p	měrná tepelná kapacita vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě $\theta_{int,i}$,	(Wh/kg·K)
$q_{v,min,i}$	minimální objemový průtok vzduchu místnosti (i)	(m ³ /h)

$$\Phi_{V,i} = 0,34 \cdot 24,75 \cdot (20 - (-12)) = 269,28 \text{ W}$$

- **Minimální objemový průtok vzduchu**

$$q_{v,min,i} = n_{min,i} \cdot V_i, \quad (7.11)$$

kde je

$q_{v,min,i}$	minimální objemový průtok vzduchu místnosti (i),	(m ³ /h)
$n_{min,i}$	minimální intenzita větrání místnosti (i),	(h ⁻¹)
V_i	vnitřní objem (objem vzduchu) místnosti (i)	(m ³)

$$q_{v,min,i} = n_{min,i} \cdot V_i = 0,5 \cdot 49,5 = 24,75 \text{ m}^3/\text{h}$$

7.3 Návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru

V tomto výpočtu jsou uvažovány pouze vytápěné místnosti domu, u nevytápěných místností (v tomto případě se jedná o garáž, půdu a prostor nad garáží) je uvažována teplota 10 °C a do celkových tepelných ztrát budovy nejsou ztráty těchto místností zahrnuty. Celkový tepelný výkon byl stanoven dle rovnice (7.12).

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i} - \Phi_{gain,i}, \quad (7.12)$$

kde je

$\Phi_{HL,i}$	návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru (i),	(W)
$\Phi_{T,i}$	(celková) návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru (i),	(W)
$\Phi_{V,i}$	návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i),	(W)
$\Phi_{hu,i}$	volitelný dodatečný zátopový tepelný výkon vytápěného prostoru (i) v případě přerušovaného vytápění,	(W)
$\Phi_{gain,i}$	trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru (i), které se vyskytují při venkovních výpočtových podmínkách	(W)

Zátopový tepelný výkon a trvalé tepelné zisky jsou pro výpočet zanedbány, celkový tepelný výkon tedy bude sumou tepelné ztráty prostupem $\Phi_{T,i}$ a tepelné ztráty větráním $\Phi_{V,i}$.

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i} - \Phi_{gain,i} = 411,02 + 269,28 + 0 - 0 = 680,3 \text{ W}$$

7.4 Celkový tepelný výkon budovy

V tabulce č. 5 je souhrn tepelných výkonů jednotlivých místností a jejich suma pro získání celkového tepelného výkonu budovy. Ten vyšel 6 732,06 W. Když se přihlédne ke stáří a rozměrům domu, hodnota okolo 7 kW byla očekávána. Podrobný výpočet jednotlivých místností viz. Příloha 3.

Tabulka 5 Výsledky výpočtu celkového tepelného výkonu

Místnost	Tepelný výkon pro tepelné ztráty prostupem $\phi_{T,i}$ [W]	Tepelný výkon pro tepelné ztráty větráním $\phi_{V,i}$ [W]	Celkový tepelný výkon $\phi_{HL,i}$ [W]
1.1	1021,104	575,39	1596,49
1.2	201,191	151,88	353,08
1.3	76,486	38,20	114,68
1.4	231,589	112,00	343,58
1.5	203,067	60,55	263,61
1.6	90,593	0,00	90,59
1.7	154,189	0,00	154,19
1.8	411,019	269,28	680,30
2.1	478,242	312,53	790,77
2.2	299,901	245,94	545,84
2.3	253,323	351,80	605,13
2.4	183,209	0,00	183,21
2.5	146,016	241,37	387,39
2.6	22,873	0,00	22,87
2.7	401,539	198,78	600,32
Celkový výkon budovy	4174,34	2557,72	6732,06

7.5 Roční potřeba tepla pro vytápění, větrání a přípravu teplé vody

Výpočet byl proveden za pomoci kalkulátoru na portálu tzb-info.cz. Do výpočtu vstupuje vypočtený celkový tepelný výkon domu a požadavky na ohřev teplé vody. Online kalkulátor dle polohy nemovitosti stanoví délku topného období, venkovní výpočtovou teplotu a další nezbytné parametry. Zbylé parametry voleny dle doporučení na téže webové stránce [41].

Lokalita [\(Tabulka\)](#)

Město: Délka topného období: [dny]

Venkovní výpočtová teplota $t_e = -12$ °C Prům. teplota během otopného období $t_{es} = 4.4$ °C

$t_{em} = 12$ °C
 $t_{em} = 13$ °C
 $t_{em} = 15$ °C

Vytápění

Tepelná ztráta objektu $Q_c = 6,73206$ kW

Průměrná vnitřní výpočtová teplota $t_{is} = 21$ °C

Vytápěcí denostupně
 $D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 3851$ K.dny

Opravné součinitele a účinnosti systému

$e_i = 0.75$ $\eta_o = 0.95$

$e_t = 0.90$ $\eta_r = 0.95$

$e_d = 1.00$

Opravný součinitel ε

$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0.675$

$\varepsilon = 0.675$

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$$

50.8 GJ/rok

$Q_{VYT,r} = (14.1 \text{ MWh/rok})$

Ohřev teplé vody

$t_1 = 10$ °C $\rho = 1000$ kg/m³

$t_2 = 55$ °C $c = 4186$ J/kgK

$V_{2p} = 0.328$ m³/den

Koeficient energetických ztrát systému $z = 0.5$

Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody

$$Q_{TUV,d} = (1+z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 25.7 \text{ kWh}$$

Teplota studené vody v létě $t_{svl} = 15$ °C

Teplota studené vody v zimě $t_{svz} = 5$ °C

Počet pracovních dní soustavy v roce $N = 365$ [dny]

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

$Q_{TUV,r} = (29.4 \text{ GJ/rok})$
 8.2 MWh/rok

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody

$$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} = (80.2 \text{ GJ/rok})$$

22.3 MWh/rok

Obrázek 27 Celková roční potřeba energie [41]

7.6 Roční náklady za plyn při stávající situaci

- **Spotřeba energie s přihlédnutím k účinnostem systému a zdroje vytápění**

$$Q_{H,dis,r} = \frac{Q_r}{\eta_{H,em} \cdot \eta_{H,dis}}, \quad (7.13)$$

kde je

$Q_{H,dis,r}$ spotřeba energie v distribučním systému vytápění, (kWh)

Q_r spotřeba energie za rok, (kWh)

$\eta_{H,em}$ účinnost systému pro sdílení tepla mezi (-)

vytápěným prostředím a otopnými prvky,

$\eta_{H,dis}$ účinnost systému pro distribuci tepla. (-)

Každý kotel má určitou účinnost neboli schopnost využít určitou část energie z celkové energie dodané. Množství energie využitě kotlem je ve výpočtu zohledněno veličinou $\eta_{H,em}$. Další faktor, který se ve výpočtu projevil jsou ztráty distribučního systému. Z tabulky na stránce tzb-info.cz lze pro vybraný modelový dům určit účinnost systému pro distribuci tepla $\eta_{H,dis} = 0,93$. [53]

Horní index popisuje variantu opatření.

$$Q_{H,dis,r}^{(0)} = \frac{Q_r^{(0)}}{\eta_{H,em}^{(0)} \cdot \eta_{H,dis}} = \frac{22300}{1,05 \cdot 0,93} = 22\,836,66 \text{ kWh}$$

- **Množství dodané energie (plynem)**

$$Q_{H,dis,r} = V_p \cdot k \cdot H_{s,x}, \quad (7.14)$$

kde je

$Q_{H,dis,r}$ množství dodané energie, (kWh)

V_p spotřeba paliva, (m^3)

k přepočtový objemový koeficient, (-)

$H_{s,x}$ výhřevnost. (kWh/ m^3)

Podle nápovědy na tzb-info.cz je přepočtový objemový koeficient pro normální podmínky $k=1$ [48].

Výhřevnost zemního plynu je $H_{s,plyn}=33,48 \text{ MJ}/m^3 = 9,3 \text{ kWh}/m^3$ [47].

Po vyjádření spotřeby paliva ze vzorce 7.14 je možné dopočítat množství potřebného paliva pro vytvoření potřebné energie:

$$V_p^{(0)} = \frac{Q_{H,dis,r}^{(0)}}{k \cdot H_{s,plyn}} = \frac{22836,66}{1 \cdot 9,3} = 2\,455,55 \text{ m}^3$$

- **Celkové provozní roční náklady**

Cena plynu k 22. 5. 2023 je u dodavatele e.on 22,34 Kč/m³ a měsíční poplatek dodavateli 157,30 Kč [68]. Pro tuto cenovou nabídku vyšly roční náklady na vytápění a ohřev vody távajícím plynovým kondenzačním kotlem

$$N_{\text{provozní}} = V_p \cdot c_{\text{plyn}} + m \cdot c_{\text{plyn,m}}, \quad (7.15)$$

kde je

$N_{\text{provozní}}$	provozní náklady na vytápění za stávající konfigurace,	(Kč)
c_{plyn}	cena za 1 m ³ plynu,	(Kč/m ³)
m	počet měsíců, kdy je plyn odebírán,	(-)
$c_{\text{plyn,m}}$	měsíční poplatek dodavateli.	(Kč/měsíc)

$$N_{\text{provozní}}^{(0)} = V_p^{(0)} \cdot c_{\text{plyn}} + m \cdot c_{\text{plyn,m}} = 2455,55 \cdot 22,34 + 12 \cdot 157,30 = 56\,745 \text{ Kč}$$

S použitím aktuálního zdroje vytápění, stálou cenou za plyn a beze změny zateplení či jakýchkoliv jiných opatření a ovlivňujících faktorů, činí roční výdaj za vytápění a ohřev teplé užitkové vody 56 745 Kč.

Stejný výpočet s novými hodnotami spotřeby energie za rok proveden pro všechna opatření beze změny zdroje tepla.

8 Opatření

Navrhnutá opatření byla rozdělena do dvou kategorií. První kategorie byla založena na snížení tepelného výkonu budovy a bude zahrnovat opatření beze změny stávajícího zdroje vytápění. Druhý typ opatření bude naopak pouze změna zdroje vytápění. Návržnost těchto návrhů byla po konzultaci s vedoucím práce posouzena pro období 10 let. Cena energií je vzhledem k jejímu nepředvídatelnému vývoji uvažována stále konstantní bez jakéhokoliv meziročního vývoje.

V rámci změn bez výměny kotle byla napočítána výměna oken, zateplení fasády přidavnou vrstvou EPS polystyrenu a snížení teploty, na kterou se jednotlivé pokoje budou vytápět. Jelikož budova není stará a její celkový tepelný výkon není vysoký, změny spadající do první kategorie, jak ukazují následující tabulky, nemají za následek nijak markantní snížení tepelného výkonu a návratnost těchto opatření je velmi dlouhá.

8.1 Snížení teploty vytápění o 1 °C

Prvním opatřením je redukce cílové teploty vytápění pokojů. Tato změna je bez finančních pořizovacích nákladů, avšak jako jediná svým způsobem zasáhne do pohodlí obyvatel domu, jelikož ji mohou pocitově vnímat. Celkový výkon po této změně vyšel 6475,5 W. Změna tepelného výkonu je však oproti zbylým návrhům nejmenší a činí rozdíl 256,57 W (snížení tepelného výkonu o 3,8 %). Na druhou stranu je to jediné opatření, kterým je možné ušetřit.

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody $Q_r=21,7$ MWh/rok (vypočteno pomocí kalkulátoru na stránkách tzb-info.cz).

$$Q_{H,dis,r}^{(1)} = \frac{Q_r^{(1)}}{\eta_{H,em}^{(1)} \cdot \eta_{H,dis}} = \frac{21\,700}{1,05 \cdot 0,93} = 22\,222,22 \text{ kWh}$$

$$V_p^{(1)} = \frac{Q_{H,dis,r}^{(1)}}{k \cdot H_{s,plyn}} = \frac{22\,222,22}{1 \cdot 9,3} = 2\,389,49 \text{ m}^3$$

$$N_{provozní}^{(1)} = V_p^{(1)} \cdot c_{plyn} + m \cdot c_{plyn,m} = 2\,389,49 \cdot 22,34 + 12 \cdot 157,30 = 55\,269 \text{ Kč}$$

Úspora za energie činí 1 476 Kč/rok.

8.2 Zateplení 200 mm a 300 mm EPS polystyrenu

Dalším opatřením je zesílení obvodových stěn o dalších 100 mm, respektive 200 mm polystyrenu. Použit byl polystyren o stejných tepelných vlastnostech jako stávající a hodnota U obvodové stěny se díky této změně snížila z $0,22 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ na $0,14 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, respektive $0,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Snížení ztráty bylo o 295,9 W (4,4 %), respektive 443,9 W (6,6 %). Zateplením pomocí 300 mm EPS se dosáhne nejlepší úspory ze všech navržených samostatných opatření beze změny zdroje vytápění.

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody $Q_r=21,6$ MWh/rok (vypočteno pomocí kalkulátoru na stránkách tzb-info.cz).

$$Q_{H,dis,r}^{(2)} = \frac{Q_r^{(2)}}{\eta_{H,em}^{(2)} \cdot \eta_{H,dis}} = \frac{21\,600}{1,05 \cdot 0,93} = 22\,119,81 \text{ kWh}$$

$$V_p^{(2)} = \frac{Q_{H,dis,r}^{(2)}}{k \cdot H_{s,plyn}} = \frac{22\,119,81}{1 \cdot 9,3} = 2\,378,47 \text{ m}^3$$

$$N_{\text{provozní}}^{(2)} = V_p^{(2)} \cdot c_{\text{plyn}} + m \cdot c_{\text{plyn},m} = 2\,378,47 \cdot 22,34 + 12 \cdot 157,30 = 55\,023 \text{ Kč}$$

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody $Q_r=21,3$ MWh/rok (vypočteno pomocí kalkulátoru na stránkách tzb-info.cz).

$$Q_{H,dis,r}^{(3)} = \frac{Q_r^{(3)}}{\eta_{H,em}^{(3)} \cdot \eta_{H,dis}} = \frac{21\,700}{1,05 \cdot 0,93} = 21\,812,60 \text{ kWh}$$

$$V_p^{(3)} = \frac{Q_{H,dis,r}^{(3)}}{k \cdot H_{s,plyn}} = \frac{21\,812,60}{1 \cdot 9,3} = 2\,345,44 \text{ m}^3$$

$$N_{\text{provozní}}^{(3)} = V_p^{(3)} \cdot c_{\text{plyn}} + m \cdot c_{\text{plyn},m} = 2\,389,49 \cdot 22,34 + 12 \cdot 157,30 = 54\,285 \text{ Kč}$$

Plocha obvodových stěn, která by se zateplovala je $115,37 \text{ m}^2$. Znamená to tedy, že na zateplení bude potřeba 116 m^2 polystyrenu. 1 m^2 EPS polystyrenu tloušťky 200 mm stojí 288 Kč a ten samý polystyren s tloušťkou 300 mm stojí 432 Kč [55].

Počáteční investice za materiál je v případě tenčí varianty 33 408 Kč, v případě tlustějšího polystyrenu je to pak 50 112 Kč. Dále by bylo potřeba koupit omítku a zaplatit řemeslníkovi za práci. Úspora za energie po zateplení pomocí polystyrenu byla napočítána na 1 722 Kč, respektive 2468 Kč za rok. Již z těchto čísel je zřejmé, že pouze náklady za polystyren by se vracely 20 let, tudíž zateplení pomocí polystyrenu není vhodná volba.

8.3 Výměna oken

Dle technického popisu domu, který jsem pro výpočet dostal, byla použita plastová sedmikomorová okna s izolačním dvojsklem a celkovým tepelným prostupem $U_w=1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Všechna okna v domě byla výměna za energeticky výhodnější a dle rozměrů jednotlivých oken dopočítány nové hodnoty tepelných prostupů. Při výpočtu bylo použito trojsklo s prostupem $U_g=0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Nová okna jsou od firmy DAFE-PLAST, rám je plastový, sedmikomorový, avšak zasklení je tentokrát provedeno izolačním trojsklem. Celkový výkon budovy po výměně oken vyšel 6364,59 W. Úspora tepelných ztrát je 367,47 W, což odpovídá změně o 5,5 %.

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody $Q_r=21,5$ MWh/rok (vypočteno pomocí kalkulátoru na stránkách tzb-info.cz).

$$Q_{H,dis,r}^{(4)} = \frac{Q_r^{(4)}}{\eta_{H,em}^{(4)} \cdot \eta_{H,dis}} = \frac{21\,500}{1,05 \cdot 0,93} = 22\,017,41 \text{ kWh}$$

$$V_p^{(4)} = \frac{Q_{H,dis,r}^{(4)}}{k \cdot H_{s,plyn}} = \frac{22\,017,41}{1 \cdot 9,3} = 2\,367,46 \text{ m}^3$$

$$N_{\text{provozní}}^{(4)} = V_p^{(4)} \cdot c_{\text{plyn}} + m \cdot c_{\text{plyn},m} = 2\,367,46 \cdot 22,34 + 12 \cdot 157,30 = 54\,777 \text{ Kč}$$

Úspora za energie činí 1 968 Kč/rok.

Cenová nabídka na výměnu oken včetně demontáže a likvidace starých oken a montáže nových byla provedena firmou DAFE-PLAST. Celková částka činí 305 475 Kč. Pokud by se v domě pouze vyměnila okna, návratnost tohoto opatření by byla 155 let. Výměna oken tedy vhodné řešení rozhodně není.

8.4 Kombinace výměny oken a zateplení

Posledním návrhem před změnou zdroje vytápění je kombinace dvou výše zmíněných návrhů.

Pro zjištění rozdílu tepelného výkonu před a po provedení tohoto opatření stačí pouze sečíst dílčí rozdíly od zateplení a od výměny oken. Pokud tedy skombinujeme výměnu oken se zateplením polystyrenem šířky 200 mm, tepelná ztráta se sníží o 663,4 W, což odpovídá zlepšení o 9,85 %. Při kombinaci s tlustějším polystyrenem je to už 811,4 W. To znamená, že tepelný výkon se sníží o 12,05 % oproti původnímu stavu bez zateplení.

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody při zateplení 200 mm EPS a výměně oken je $Q_T=20,9$ MWh/rok (vypočteno pomocí kalkulátoru na stránkách tzb-info.cz).

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody při zateplení 300 mm EPS a výměně oken je $Q_T=2,6$ MWh/rok (vypočteno pomocí kalkulátoru na stránkách tzb-info.cz).

Dle stejného postupu jako v předchozích opatřeních byla vypočtena roční úspora za energie, a to 3 444 Kč pro variantu zateplení s tenčím polystyrenem a 5 913 Kč pro polystyren tloušťky 300 mm.

Návratnost těchto opatření je však v řádu desítek let, konkrétně 98 let v případě použití tenčího a 60 let v případě tlustšího polystyrenu. Stále je potřeba mít na paměti předpoklad, že polystyren byl přípevněn svépomocí a byl zanedbán výdaj za omítku.

8.5 Návrh nového zdroje vytápění

Ekonomičtější a mající větší pravděpodobnost dřívější návratnosti je druhá kategorie opatření. Pro velkou diverzitu výsledků a ukázkou kontrastu mezi jednotlivými palivy byly zvoleny 3 konvenční kotle, každý na jiný druh paliva. Vybrán byl nový, vhodnější plynový kondenzační kotel, elektrokotel a kotel na tuhá paliva spalující hnědé uhlí. Pro porovnání nových kotlů byl uvažován předpoklad stejné ceny za instalaci a dopravu jednotlivých kotlů a uvažovaný byl původní stav domu (bez zateplení, či výměny oken). Navrhnuté byly pouze samostatné kotle, uvažované jako primární zdroj vytápění a zároveň na ohřev TUV, aby by vidět kontrast v cenách a návratnosti a výsledek šel vztáhnout na konkrétní palivo. Kombinace více zdrojů ve výpočtu z tohoto důvodu zahrnuté nebyly.

- **Kondenzační plynový kotel**

První obměna zdroje vytápění je náhrada znovu za plynový kondenzační kotel, tentokrát však s optimálnějšími rozmezími výkonů, mezi nimiž kotel pracuje. Aktuální kotel je pro daný dům naprosto předimenzovaný, jeho minimální výkon je 10,2 kW. To se ve výpočtu sice nijak neprojeví, jelikož v něm výkon kotle vůbec nevystupuje, ovšem projeví se to v realitě: z důvodu, že ne vždy se bude třeba využít tak vysoký výkon kotle a starý kotel pod 10,2 kW pracovat neumí, zatímco nový pracuje již od 1,8 kW. Pořizovací cena kotle je 38 623 Kč [42]. Kotel nemá uvedenou účinnost při konkrétních teplotních spádech, proto je výpočet proveden pro rozmezí účinností kotle, tedy pro 99 % a pro 106 %. Jelikož se počítá se stejnou roční potřebou energie a stejnou cenou plynu, hraje ve výpočtu jedinou podstatnou roli výkon kotle. Vyjdou tedy vyšší roční náklady na provoz při účinnosti pouhých 99 % než při aktuálním kotli, avšak pro účinnost 106 % vyjde roční náklad menší. Jelikož umí nový kotel pracovat již od 2 kW, je rozhodně vhodnější volbou namísto kotle stávajícího.

Tabulka 6 Specifikace kotle Thermona THERM 18 KDZ [42]



Minimální tepelný výkon topení při tepelném spádu 50/30 °C	1,8 kW
Jmenovitý tepelný výkon topení při tepelném spádu 50/30 °C	19,0 kW
Maximální výstupní teplota topné vody	80 °C
Objem zásobníku	7 l
Účinnost	99 – 106 %
Maximální přetlak okruhu topení	3 bar

Obrázek 28 Nový plynový kondenzační kotel [42]

Výpočet proveden totožně jako při stávajícím zdroji tepla (rovnice 7.13 – 7.15) a cena plynu byla použita též stejná.

$$Q_{H,dis,r}^{(5)} = \frac{Q_r^{(5)}}{\eta_{H,em}^{(5)} \cdot \eta_{H,dis}} = \frac{22300}{0,99 \cdot 0,93} = 24220,7 \text{ kWh}$$

$$V_p^{(5)} = \frac{Q_{H,dis,r}^{(5)}}{k \cdot H_{s,plyn}} = \frac{24220,7}{1 \cdot 9,3} = 2604,38 \text{ m}^3$$

$$N_{provozní}^{(5)} = V_p^{(5)} \cdot c_{plyn} + m \cdot c_{plyn,m} = 2604,38 \cdot 22,34 + 12 \cdot 157,30 = 60\,069 \text{ Kč}$$

Pro účinnost 99 % je roční náklad za plyn 60 069 Kč.

$$Q_{H,dis,r}^{(6)} = \frac{Q_r^{(6)}}{\eta_{H,em}^{(6)} \cdot \eta_{H,dis}} = \frac{22300}{1,06 \cdot 0,93} = 22621,2 \text{ kWh}$$

$$V_p^{(6)} = \frac{Q_{H,dis,r}^{(6)}}{k \cdot H_{s,plyn}} = \frac{22621,2}{1 \cdot 9,3} = 2432,4 \text{ m}^3$$

$$N_{provozní}^{(6)} = V_p^{(6)} \cdot c_{plyn} + m \cdot c_{plyn,m} = 2432,4 \cdot 22,34 + 12 \cdot 157,30 = 56\,227,4 \text{ Kč}$$

Při uvažování nejvyšší možné účinnosti, tedy 106 %, vyjde roční provoz kotle na 56 227,4 Kč.

Reálná cena se tedy nachází někde mezi těmito dvěma cenovkami.

- **Elektrický kotel**

Jako další alternativa byl zvolen elektrický kotel Protherm RAY 12 KE. Specifikace kotle jsou uvedené v tabulce č. 7 a jeho pořizovací cena činí 16 395 Kč [44]. Elektrokotel pracuje od 2 kW do 12 kW, a to s účinností 99,5 %.

Tabulka 7 Specifikace kotle Protherm RAY 12 KE [43]



Obrázek 29 Nový elektrický kotel [44]

Minimální tepelný výkon topení	2 kW
Maximální tepelný výkon topení	12 kW
Rozsah regulace topné vody	25/85 °C
Objem zásobníku	8 l
Jmenovitá účinnost	99,5 %
Maximální přetlak okruhu topení	3 bar

Cena elektřiny je k 25. 5. 2023 od dodavatele e.on 4,71 Kč/kWh a měsíční poplatek dodavateli činí 119,79 Kč [68]. U elektřiny neexistuje nic jako výhřevnost, a tak pro výpočet ročních nákladů za topení elektrokotlem vystačí pouze rovnice (7.13) a (7.15).

$$Q_{H,dis,r}^{(7)} = \frac{Q_r^{(7)}}{\eta_{H,em}^{(7)} \cdot \eta_{H,dis}} = \frac{22300}{0,995 \cdot 0,93} = 24\,098,99 \text{ kWh}$$

$$N_{provozní}^{(7)} = Q_{H,dis,r}^{(7)} \cdot c_{plyn} + m \cdot c_{plyn,m} = 24098,99 \cdot 4,71 + 12 \cdot 119,79 = 114\,944 \text{ Kč}$$

Roční náklady na vytápění a ohřev teplé vody jsou 114 944 Kč.

- **Kotel na tuhá paliva**

Jako poslední zdroj tepla byl vybrán kotel spalující hnědé uhlí. Z finančních důvodů se nejedná o automatický kotel, nýbrž s ručním příkládáním. Konkrétně jde o kotel firmy Opop, varianta H412 EKO-U. Ten cenově vychází na 39 295 Kč a bude doplněn akumulací nádrží Dražice NADO 1000/140 v2 o objemu 1000 l. Nádrž umožňuje ohřev TUV a její cena je 26 340 Kč. [69]. K nádrži je nutné dokoupit izolaci, která pro tuto konkrétní nádrž vychází na 7 240 Kč [76]. Celková pořizovací cena je tedy 72 875 Kč.

Tabulka 8 Specifikace kotle Opop H412 EKO-U [46]



Obrázek 30 Nový kotel na tuhá paliva [46]

Jmenovitý výkon	12 kW
Účinnost	85,90 %
Doporučené palivo	Hnědé uhlí ořech 1

Pro výhřevnost existují také jednotky (kWh/kg). Záleží, v čem se měří množství potřebného paliva.

Výhřevnost hnědého uhlí je $H_{s,uhlí} = 17,6 \text{ MJ/kg} = 4,89 \text{ kWh/m}^3$ cena za tunu hnědého uhlí ořech 1 je 6290 Kč [54].

Výpočet vychází opět z rovnic (7.13 – 7.15), s rozdílem, že výhřevnost je vztažena na kg paliva.

$$Q_{H,dis,r}^{(8)} = \frac{Q_r^{(8)}}{\eta_{H,em}^{(8)} \cdot \eta_{H,dis}} = \frac{22300}{0,859 \cdot 0,93} = 27914,43 \text{ kWh}$$

$$m_p^{(8)} = \frac{Q_{H,dis,r}^{(8)}}{k \cdot H_{s,uhlí}} = \frac{27914,43}{1 \cdot 4,89} = 5708,47 \text{ kg} = 5,70847 \text{ t}$$

$$N_{provozní}^{(8)} = m_p^{(8)} \cdot c_{plyn} + m \cdot c_{plyn,m} = 5,70847 \cdot 6290 = 35\,853 \text{ Kč}$$

Roční náklady na vytápění uhlím činí pouhých 35 853 Kč.

9 Zhodnocení návrhů

K situaci bylo přistupováno ze dvou různých úhlů pohledu. Jedna cesta vedla směrem lepšího zateplení a s ním spojeným snížením tepelného výkonu, druhým řešením bylo navržení jiného zdroje tepla. Vzhledem k nevyzpytatelně se měnícím cenám za plyn/elektrinu je ekonomické zhodnocení a návratnost počítána pro aktuální cenu a nepředpokládá se její vývoj v průběhu dalších let.

V tabulce č. 9 jsou shrnuty celkové ztráty domu v závislosti na provedených opatřeních, potřebné množství zemního plynu V_p na rok vytápění, náklady za plyn a následně roční úspory. Z těchto navržených opatření však mají všechna tak vysoké vstupní náklady, že jejich návratnost je spíše v desetiletích než v jednotkách let, a tudíž tato opatření nedoporučuji. Snížení teploty vytápění (konkrétně o 1 °C) však počáteční náklady žádné nemá a je díky němu možné uspořit každý rok 1 476 Kč. Počáteční investice a doba návratnosti jsou uvedeny přímo u jednotlivých opatření v kapitole č. 8.

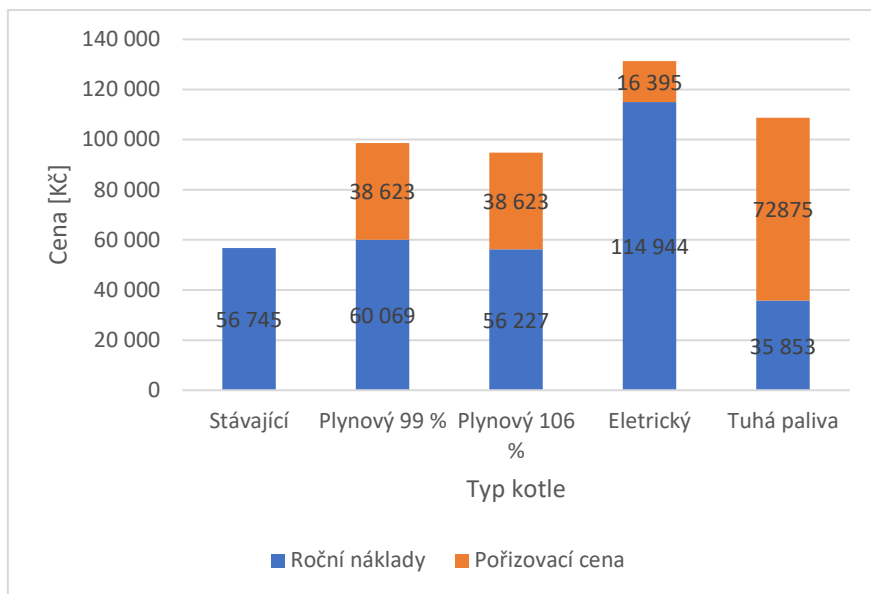
Tabulka 9 Výsledky opatření beze změny zdroje tepla

		Stávající stav	Snížení teploty vytápění	EPS 200 mm	EPS 300 mm	Výměna oken	EPS 200 mm + výměna oken	EPS 300 mm + výměna oken
$\Phi_{HL,i}$	W	6 732,10	6 475,50	6 436,20	6 288,20	6 364,60	6 068,70	5 920,70
$Q_{H,dis,r}$	kWh	22 836,66	22 222,22	22 119,82	21 812,60	22 017,41	21 402,97	21 095,75
V_p	m ³	2 455,55	2 389,49	2 378,48	2 345,44	2 367,46	2 301,39	2 268,35
Investice	Kč	0	0	33 408	50 112	305 475	338 883	388 995
$N_{provozní}$	Kč	56 745	55 269	55 023	54 285	54 777	53 301	50 832
Úspora	Kč	-	1 476	1 722	2 460	1 968	3 444	5 913

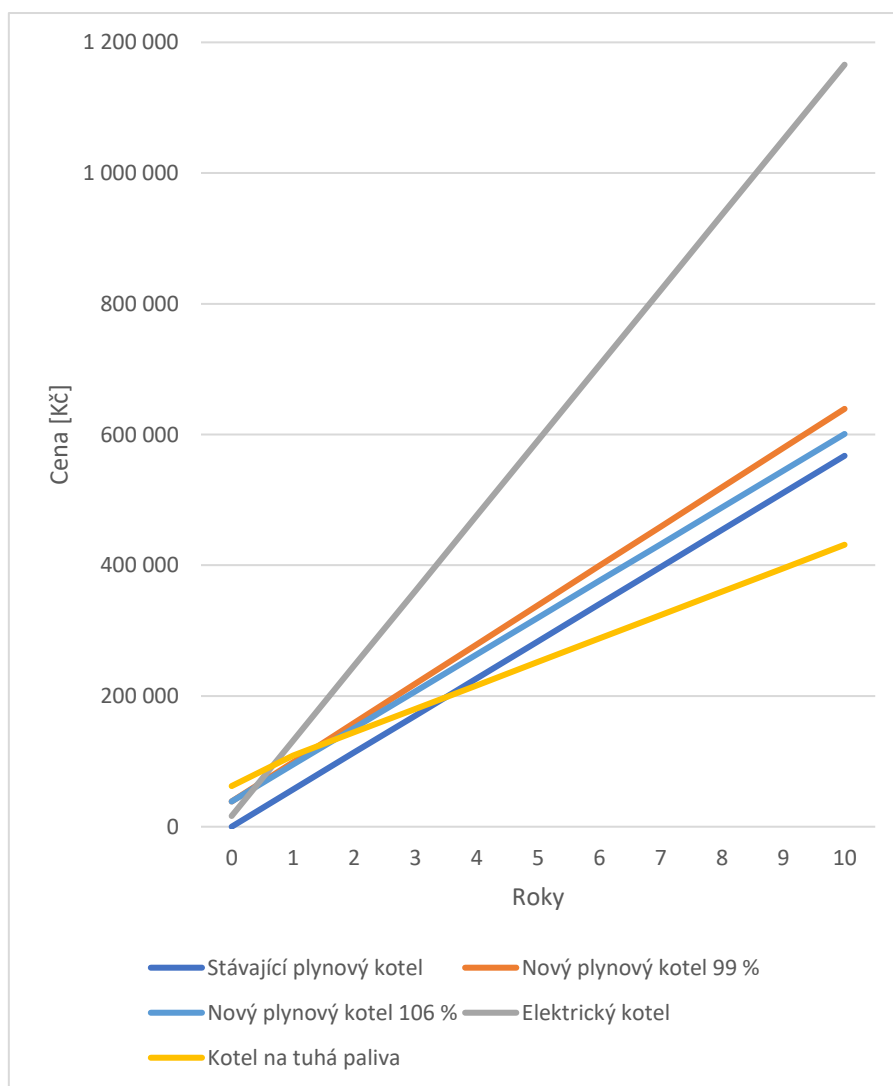
Pro výměnu kotlů bylo zvoleno grafické porovnání. Na obrázku č. 31 jsou uvedeny roční náklady na vytápění různými kotli a jejich pořizovací cena. Nejnižší jsou náklady na tuhá paliva, konkrétně hnědé uhlí. Rok vytápění pomocí hnědého uhlí vyjde na 35 853 Kč, ale je závislý na neustálém přikládání, dovozu a skladování hnědého uhlí. Naopak nejdražší možná varianta je vytápět elektrokotlem. Ten přesáhl za jeden rok používání cenu 100 000 Kč, a to pouze za cenu elektřiny za jeho provoz. Tento fakt je způsobený velkým nárůstem ceny za elektrinu. Na druhou stranu má kotel na elektrinu nejnižší pořizovací cenu.

Plynový kotel je z pohledu ceny za plyn i pořizovací ceny střední cestou oproti zbylým dvou zmíněným zdrojům. Z důvodu nízkých ztrát domu a předpokladu, že přes letní měsíce bude kotel primárně používán pouze pro ohřev TUV, nikoliv vytápění, je nejrozumnějším řešením pořízení nového plynového kotle. Tento návrh bohužel není podložen výpočtem, vychází pouze z teorie o funkci tohoto typu kotle.

Obrázek č. 32 zobrazuje vývoj celkových nákladů za vytápění po dobu 10 let od pořízení nového kotle. Jediný kotel, který se podle tohoto grafu z ekonomického hlediska vyplatí oproti stávajícímu zdroji vytápění je kotel na tuhá paliva. Jeho návratnost vychází již po 4 letech používání a po uplynutí 10 let stojí jeho provoz 431 405 Kč.



Obrázek 31 Náklady na pořízení a rok provozu navržených kotlů bez stavebních úprav



Obrázek 32 Porovnání nákladů na vytápění po dobu 10 let bez stavebních úprav

Závěr

Cíle této práce spočívaly v popisu opatření snižování náročnosti rodinného domu a ve výpočtu vybraných variant pro konkrétní objekt včetně ekonomické rozvahy. Tyto cíle byly naplněny, ovšem návratnost většiny opatření je kvůli poněkud vysoké pořizovací ceně velmi dlouhá. Bakalářská práce průřezově zabíhá do materiálů používaných při zateplení, problematiky oken a v neposlední řadě dává náhled o konvenčních kotlích.

Ve druhé části práce je následně provedený praktický výpočet doplněný excelovskou tabulkou s kompletním výpočtem tepelného výkonu modelového domu základní metodou dle normy ČSN EN 12831-1. Celkový tepelný výkon domu se skládá ze ztráty prostupem a ztráty větráním a vyšel 6 732,06 W. Po zahrnutí energie potřebné pro ohřev teplé užitkové vody byla zjištěna roční potřeba energie pro rodinný dům a z ní dopočteny náklady na vytápění.

Poslední část práce tvoří návrh konkrétních opatření a jejich ekonomické zhodnocení. Prvním opatřením bylo pouze snížit cílovou teplotu vytápění o 1 °C. Tato změna je velmi malá, i přesto však díky nulovým počátečním ušetří každý rok 1476 Kč. Společně s kotlem na tuhá paliva jsou tyto dvě opatření jako jediná finančně výhodná.

Pokud bych měl posoudit konečné výsledky s očekávanými, odhadované hodnoty se od vypočtených nijak zásadně nelišily. Ze stavebních úprav bych pro modelový dům nevybral ani jedno z navržených opatření. Z variant zdrojů tepla bych zvolil nový kondenzační plynový kotel, který je lépe přizpůsoben tepelným ztrátám.

Seznam použitých zdrojů

1. Molekulová fyzika a termika – Přenos tepla. *ePubli webová knihovna* [online]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/264/08.html>
2. Sdílení tepla prouděním (konvekce): s účinnostmi od 24.03. 2020 (online). Autor: Milan Jahoda, Microsoft® PowerPoint® 2010, dostupné z: <https://uchi.vscht.cz/files/uzel/53360/0011~~MzRQ8Pb3C3P1dnYFAA.pdf?redirected>
3. Prostup tepla stavební konstrukcí: TZB.cz. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci>
4. Tepelný odpor R: TZB.cz. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/312-tepelny-odpor-r>
5. Součinitel tepelné vodivosti: TZB.cz. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/311-soucinitel-tepelne-vodivosti>
6. Součinitel prostupu tepla: TZB.cz. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/315-soucinitel-prostupu-tepla>
7. Jak vybrat plynový kotel – Viessmann: [online]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/jak-vybrat-plynovy-kotel.html>
8. Elektrokotle – jednoduchost a efektivita – Viessmann: [online]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/elektrokotle.html>
9. Plynové kondenzační kotle pro obytné budovy – Viessmann: [online]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/plynove-kotle/plynove-kondenzacni-kotle.html>
10. VAVERKA, Jiří, Josef CHYBÍK a František MRLÍK. *Stavební fyzika*. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN isbn80-214-1649-1.
11. What is the difference between EPS and XPS insulation? And what about PIR/PUR? - Soprema United Kingdom. [online]. Dostupné z: <https://www.soprema.co.uk/en/article/sopravoice/what-is-the-difference-between-xps-and-eps-insulation>
12. Coleman S.I. - Pěnový polystyren EPS v nabídce pro ploché střechy nebo fasády.. *Coleman S.I. - Coleman S.I. materiály pro střechy, fasády a izolace* [online]. Copyright © Všechna práva vyhrazena. [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: [https://www.coleman.cz/zbozi/tepelna-izolace/penovy-polystyren-\(eps\)](https://www.coleman.cz/zbozi/tepelna-izolace/penovy-polystyren-(eps))
13. Minerální izolace | Co je minerální vlna a vata? Co je skelná vata?. *Nehořlavá tepelná izolace | Asociace výrobců minerální izolace (AVMI)* [online]. Dostupné z: <https://www.avmi.cz/co-je-mineralni-izolace>
14. Zateplovací systémy ETICS: TZB.cz. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/303-zateplovaci-systemy-etics>
15. File:Heat Radiation Transparent 2 (26046216082).jpg. (2020, September 10). *Wikimedia Commons, the free media repository*. Retrieved 19:41, March 27, 2023
16. The Difference XPS v EPS | R-Wall . *R-Wall | Insulated Concrete Formwork | United Kingdom* [online]. Dostupné z: <https://www.r-wall.co.uk/difference-xps-v-eps>
17. Plynový kotel a plynový ohřívač vody – Poradme.se. [online]. Dostupné z: http://poradme.se/index.php?title=Plynov%C3%BD_kotel_a_plynov%C3%BD_oh%C5%99%C3%ADva%C4%8D_vody
18. Hliníková okna | ham.cz. *H&M | Kvalitní okna, dveře, zimní zahrady a zastřešení na míru.* | ham.cz [online]. Copyright © 2011 [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: https://www.ham.cz/produkty/hlinikova-okna?gclid=Cj0KCQjwuLShBhCARIsAFod4fI4jGJYb0sD5niDcsXc6LFFVlusJGRJxh2m3WP4EpNzzw1Ks-vNodgEaAhjOEALw_wcB

-
19. Extrudovaný vs. expandovaný polystyren – kde jsou rozdíly | stavimbydlim.cz. *stavimbydlim.cz* / [online]. Copyright © StavímBydlím.cz 2023 [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <https://stavimbydlim.cz/extrudovany-vs-expandovany-polystyren-kde-jsou-rozdily/>
 20. Nuvola3 Comfort HT - Plynové kotle BAXI. *Plynové kotle BAXI - Plynové kotle BAXI* [online]. Copyright © 2023 [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <https://www.baxi.cz/archiv-kotlu-baxi/nuvola3-comfort-ht/>
 21. Kondenzační kotle – Thermo servis Králův Dvůr, Beroun, topení, voda, plyn, kanalizace, regulace, solární systémy. *Thermo servis Králův Dvůr, Beroun, topení, voda, plyn, kanalizace, regulace, solární systémy – Thermo servis Králův Dvůr, Beroun, topení, voda, plyn, kanalizace, regulace, solární systémy* [online]. Copyright © Copyright Thermo servis Králův Dvůr [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <https://thermoservis-kd.cz/kondenzacni-kotle/>
 22. Kondenzační kotel: Zjistěte, jak funguje - Plyn.cz. *Plyn.cz - vše co potřebujete vědět v oblasti energetiky - Plyn.cz* [online]. Copyright © 2023 [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <https://www.plyn.cz/kondenzacni-kotel-zjistete-jak-funguje>
 23. Tepelná izolace Isover EPS 70 F 40 mm (6 m²/bal.). *Stavebniny DEK* [online]. Copyright © 2023 DEK a.s. [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: https://www.dek.cz/produkty/detail/1460403000-eps-70f-40mm-500x1000-dek-isover-6m2-bal?gclid=Cj0KCQjwIumhBhCIARIsABO6p-yBCq3gyh4F_g9122MRuLQk-dJHOtTh9dyKGFuWQVYvAj_XI5dUVNUaAswLEALw_wcB
 24. Tepelná izolace DEK XPS I 300 kPa 140 mm (2,25 m²/bal.). *Stavebniny DEK* [online]. Copyright © 2023 DEK a.s. [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: https://www.dek.cz/produkty/detail/1420361160-xps-dek-300kpa-140mm-fibran-etics-gf-i-2-25m2-bal?gclid=Cj0KCQjwIumhBhCIARIsABO6p-wrn_V0kMU68RRscfwU_gLN_sS4s_IAXOMvgInklsUb6S7SMrwjFz4aAmwEEALw_wcB
 25. Krbová kamna s teplovodním výměníkem – 1. část | TOPIN. *TOPIN - Topenářství instalace* [online]. Copyright © Topin Media, s. r. o. Autorská práva jsou vyhrazena a vykonává je vydavatel [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <https://www.topin.cz/clanky/krbova-kamna-s-teplovodnim-vymenikem-1-cast-detail-6522>
 26. Elektrický kotel - skvělá volba pro váš domov | TOPIN. *TOPIN - Topenářství instalace* [online]. Copyright © Topin Media, s. r. o. Autorská práva jsou vyhrazena a vykonává je vydavatel [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <https://www.topin.cz/clanky/elektricky-kotel-skvela-volba-pro-vas-domov-detail-2393>
 27. Jak správně vybrat plynový kotel: Srovnejto.cz. *Srovnejto.cz* [online]. Dostupné z: <https://www.srovnejto.cz/blog/jak-spravne-vybrat-plynovy-kotel/>
 28. *Vše o dřevěných palivech: pelety, brikety, dřevo* | Česká peleta [online]. Dostupné z: <https://ceska-peleta.cz/kotle-a-kamna/>
 29. Mohou být krbová kamna s výměníkem záložním zdrojem tepla pro rodinný dům? | TOPIN. *TOPIN - Topenářství instalace* [online]. Copyright © Topin Media, s. r. o. Autorská práva jsou vyhrazena a vykonává je vydavatel [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <https://www.topin.cz/clanky/mohou-byt-krbova-kamna-s-vymenikem-zaloznim-zdrojem-tepla-pro-rodinny-dum-detail-7430>
 30. Proč tepelná čerpadla : Regulus. *Regulus - Úsporné topení* [online]. Copyright © Copyright Regulus s r.o. 2015 [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/tepelna-cerpadla-regulus#druhy-tepelnych-cerpadel>
-

-
31. Tepelná čerpadla země/voda: Viessmann [online]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/tepelna-cerpadla/tepelna-cerpadla-zemevoda.html>
 32. Tepelná čerpadla vzduch/voda: Viessmann [online]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/tepelna-cerpadla/tepelna-cerpadla-vzduchvoda.html>
 33. *Vlastníma rukama* [online]. Dostupné z: <https://www.vlastnimarukama.cz/druhy-okna-a-jejich-vyhody/>
 34. ČESKÉSTAVBY.cz. ČESKÉSTAVBY.cz - vše o stavbě, zahradě a bydlení [online]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky-foto/plastova-okna-vyzaduji-peclivy-vyber-profilu-a-precizni-montaz-23272.html>
 35. *Truhlářství Vojtěšek* [online]. Dostupné z: <http://truhlarstvi-vojtesek.cz/eurookna.php>
 36. OKNA.EU - Plastová, hliníková a dřevěná okna [online]. Dostupné z: <https://www.okna.eu/realizace-hlinikova-okna>
 37. Tepelná vodivost – Multimediaexpo.cz. *Multimediální česká otevřená encyklopedie - Multimediaexpo.cz* [online]. Dostupné z: http://www.multimediaexpo.cz/mmecz/index.php/Tepeln%C3%A1_vodivost
 38. Proč PIR? Vše o izolaci | UNILIN Insulation | Unilin Insulation. [online]. Dostupné z: <https://www.unilininsulation.com/cs-cz/vse-o-izolaci/proc-pir>
 39. Znáte rozdíl mezi PIR a PUR pěnou? | Izolace-info.cz. *Tepelné izolace – info portál o tepelných izolacích a zateplení | Izolace-info.cz* [online]. Dostupné z: <https://www.isolace-info.cz/technicke-informace/zateplovani-obecne-informace/22692-znate-rozdil-mezi-pir-a-pur-penou-a.html>
 40. Izolace PUR, PIR a fenolická pěna: TBZ.cz. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/299-izolace-pur-pir-a-fenolicka-pena>
 41. Výpočet potřeby tepla pro vytápění, větrání a přípravu teplé vody: TBZ.cz. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapani-vetrani-a-pripravu-teple-vody>
 42. THERM 18 KDZ kondenzační kotel s připojením na externí zásobník TUV, 10106 - NejlevnějšíTBZ.cz. *Vítejte v našem obchodě - NejlevnějšíTBZ.cz* [online]. Dostupné z: https://www.nejlevnejsitzb.cz/therm-18-kdz-kondenzacni-kotel-s-pripojenim-na-externi-zasobnik-tuv--10106/?gclid=Cj0KCQjwyLGjBhDKARIsAFRNgW-Yn6f0i1QD75rD0GNjO_rToTtvrJgyo4ol2CVQz6JiTo9rtQ1GU0aAtA6EALw_wcB
 43. *Stavebniny DEK* [online]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/produkty/detail/6000165702-protherm-ray-12-ke-kotel-elektricky-0010023672>
 44. Elektrický kotel Protherm RAY 12 KE: <https://www.pro-topeni.cz> . Dostupné z: https://www.pro-topeni.cz/eshop-protherm-ray-12-ke-2-0-12-0kw.html?gclid=CjwKCAjwpayjBhAnEiwA-7ena3WqhiDUQQIEuxShwGYG1cFWIzfhJaK6HN8x94vOTrwdh0QuQ6wUfxoC23YQAvD_BwE
 45. PROTHERM VEQ 75/2 B: <https://www.pro-topeni.cz> . Dostupné z: <https://www.pro-topeni.cz/eshop-protherm-veq-752-b.html>
 46. *Stavebniny DEK* [online]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/produkty/detail/6000165994-opop-h412-eko-u-kotel-na-hnede-uhli-5-trida>
 47. Výhřevnosti paliv: TBZ.cz. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>
 48. PŘEPOČET SPOTŘEBY ZEMNÍHO PLYNU NA kWh - NÁPOVĚDA: TBZ.cz. Dostupné z: https://vytapani.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000095_help.html#k
-

-
49. Krbová kamna nebo krbová vložka? - Topsis. *Krby a kamna plná emocí - Topsis* [online]. Copyright © 2023 TOPSYS Praha, spol. s r.o. [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <https://www.topsis.cz/blog/krbova-kamna-nebo-krbova-vlozka>
 50. Využijte při pořizování nového kotle státní dotaci - ČESKÉSTAVBY.cz. *ČESKÉSTAVBY.cz - vše o stavbě, zahradě a bydlení* [online]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/vyuzijte-pri-porizovani-noveho-kotle-statni-dotaci-22268.html>
 51. Typy teplovodních kotlů na pevná paliva: TZB.cz. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vymeny-kotlu/19079-typy-teplovodnich-kotlu-na-pevna-paliva>
 52. Odpor při přestupu tepla: TZB.cz. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/314-odpor-pri-prestupu-tepla#odpornavnitnistrane>
 53. Výpočet dodané energie pro vytápění, výpočty pro energetického specialistu (III): TBZ.cz Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/22432-vypocet-dodane-energie-pro-vytapeni>
 54. Bílinský Ořech 1 - Ledvice | Havelka - prodejce paliv. *Havelka - prodejce paliv* [online]. Copyright © Havelka UHELNÉ SKLADY s.r.o. [cit. 24.05.2023]. Dostupné z: <http://www.havelka.cz/bilinsky-orech-1-ledvice/>
 55. Tepelná izolace DCD Ideal EPS 70 F 200 mm – Stavebniny DEK. Dostupné z: <https://www.dek.cz/produkty/detail/1470160719-eps-70f-200mm-500x1000-dek-austrotherm-1m2-bal>
 56. Okna na míru s množstevní slevou až 60%, 42 poboček | Okna Macek. Okna, dveře a garážová vrata, 42 poboček | Okna Macek [online]. Copyright © 1996 [cit. 25.05.2023]. Dostupné z: <https://www.oknamacek.cz/okna>
 57. PUR IZOLACE SOFT | Izolace-info.cz. Tepelné izolace – info portál o tepelných izolacích a zateplení | Izolace-info.cz [online]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/katalog/polyuretan/pur-izolace/740735-izolace-z-lehke-polyuretanove-peny-pur-izolace-soft-p.html>
 58. PUR desky | Polyuretanová izolační deska | TPD PUR 30/40 NEW Therm. Zateplovací systémy | Betonové stěrky | Barvy a omítky | KABE Farben [online]. Copyright © [cit. 25.05.2023]. Dostupné z: <https://www.kabefarben.cz/produkt/pur-desky-polyuretanova-izolacni-deska-tpd-30-40-new-therm-system/>
 59. Izolační panel z PIR pěny, Puren FD – L | Levné izolace | STAVTEse.cz. Krytiny, Okna, Izolace | STAVTEse.cz - Levný materiál pro Vaši střechu. [online]. Dostupné z: <https://stavtese.cz/produkt/pir-puren-fd-l/>
 60. Plastové výrobky – PKS-okna-prospekt-produkty-plast.pdf k 10.02.2023 in Adobe Indesign 18.0, cit. 26.5.2023. Dostupné z: https://www.pksokna.cz/data/dokumenty-ke-stazeni/ke-stazeni/PKS-Okna_prospekt_produkty_plast.pdf
 61. Dřevěné výrobky – PKS-okna-prospekt-produkty-drevo.pdf k 14.3.2022 in Adobe Indesign 17.1, cit. 26.5.2023. Dostupné z: https://www.pksokna.cz/data/dokumenty-ke-stazeni/ke-stazeni/PKS-Okna_prospekt_produkty_drevo.pdf
 62. Hliníkové výrobky - PKS-okna-prospekt-produkty-drevo.pdf k 3.3.2022 in Adobe Indesign 17.1, cit. 26.5.2023. Dostupné z: https://www.pksokna.cz/data/dokumenty-ke-stazeni/ke-stazeni/PKS-Okna_prospekt_produkty_hlinik.pdf
 63. Dřevohliníkové výrobky - PKS-okna-prospekt-produkty-drevo.pdf k 14.3.2022 in Adobe Indesign 17.1, cit. 26.5.2023. Dostupné z: https://www.pksokna.cz/data/dokumenty-ke-stazeni/ke-stazeni/PKS-Okna_prospekt_produkty_drevohlinik.pdf
 64. Jak na to: Zateplení střechy | HOME . *HOME - byt/dům/styl/zahrada* [online]. Copyright © 2021 [cit. 26.05.2023]. Dostupné z: <https://homebydleni.cz/dum/stavebni-materialy/jak-na-to-zatepleni-strechy/>
-

-
65. Skla pro plastová okna, balkonové dveře | Okna Macek. *Okna, dveře a garážová vrata, 42 poboček | Okna Macek* [online]. Copyright © 1996 [cit. 26.05.2023]. Dostupné z: <https://www.oknamacek.cz/okna/plastova-okna/skla>
66. Výroba izolačních skel | Sklenářství Brno FLOTIS s.r.o.. *Sklenářství Brno FLOTIS s.r.o. - DOPRAVA ZDARMA* [online]. Copyright © 2005 [cit. 26.05.2023]. Dostupné z: <https://www.flotis.cz/nabidka/vyroba-izolacnich-skel/>
67. Cena plynu 2023 (Aktuální ceník plynu) | Ušetřeno.cz. [online]. Copyright © [cit. 26.05.2023]. Dostupné z: <https://www.usetreno.cz/energie-plyn/cena-plynu/>
68. Cena elektřiny 2023 (Aktuální ceníky elektřiny) | Ušetřeno.cz. [online]. Copyright © [cit. 26.05.2023]. Dostupné z: <https://www.usetreno.cz/energie-elektrina/cena-elektriny/>
69. Akumulační nádrž Dražice NADO 1000/140 v2 - HORNBACH. *HORNBACH | hobby e-shop č. 1 pro váš projekt* [online]. Dostupné z: https://www.hornbach.cz/p/akumulacni-nadrz-drazice-nado-1000-140-v2/6258743/?wt_mc=cz.paid.sea.google.alwayson_assortment.pla.roas8_novinky.184_08643897..&wt_cc1=18408643897&wt_cc2=&wt_cc3=&wt_cc4=&wt_cc6=6258743&wt_cc7=&gclid=CjwKCAjwscGjBhAXEiwAswQqNBLXk0sbhHMbInZnzwnXK7-BcLSV-gL0i4b8qAzBirz4zcvMJi8nDhoCYGQQA vD_BwE
70. Tepelná čerpadla – Viessmann. [online]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/tepelna-čerpadla.html>
71. Princip tepelného čerpadla – Tepelná čerpadla IVT. *Tepelná čerpadla IVT – švédská kvalita pro vaše pohodlí* [online]. Copyright © 2003 [cit. 26.05.2023]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/princip-tepelnych-čerpadel>
72. Tepelná čerpadla – schémata: 1. základní spojení s akumulčním zásobníkem: TBZ.cz. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/2820-tepelna-čerpadla-teorie-a-schemata-i>
73. Jak funguje tepelné čerpadlo? – Viessmann. [online]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/tepelne-čerpadlo-princip.html>
74. Fotovoltaika – obecně i konkrétně: Nemačej.cz. Dostupné z: <https://www.nemačej.cz/fotovoltaicky-jev-a-ideální-podmínky-pro-solární-elektrárny.php>
75. Kombinace tepelného čerpadla a fotovoltaiky | Woltair. *Expertí na tepelná čerpadla a fotovoltaiku | Woltair* [online]. Dostupné z: <https://www.woltair.cz/blog/fotovoltaika/kombinace-tepelneho-čerpadla-a-fotovoltaiky>
76. Izolace Neodul pro akumulční nádrž Dražice NAD 1000v2 - HORNBACH. *HORNBACH | hobby e-shop č. 1 pro váš projekt* [online]. Dostupné z: <https://www.hornbach.cz/p/izolace-neodul-pro-akumulacni-nadrz-drazice-nad-1000v2/10568461/>
77. ČSN EN 12831. Tepelné soustavy v budovách - výpočet tepelného výkonu. 1. Praha: Český normalizační institut.
-

Seznam použitých zkratk a symbolů

A_k	plocha stavební části (k)	(m ²)
C_p	měrná tepelná kapacita vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě $\theta_{int,i}$	(Wh/kg·K)
c_{plyn}	cena za 1 m ³ plynu	(Kč/m ³)
$c_{plyn,m}$	měsíční poplatek dodavateli	(Kč/měsíc)
d	tloušťka vrstvy	(m)
$f_{GW,k}$	opravný činitel zohledňující vliv spodní vody	(-)
$f_{ia,k}$	teplotní opravný činitel	(-)
$f_{ie,k}$	teplotní opravný činitel	(-)
$f_{ig,k}$	teplotní opravný činitel	(-)
$f_{ix,k}$	teplotní opravný činitel pro výpočet teplotně korigovaných měrných tepelných toků z vytápěného prostoru (i) do jiného prostředí nebo prostoru (x) přes stavební část (k), umožňující stanovení rozdílu mezi - teplotou prostoru (x) a venkovní výpočtovou teplotou a - vnitřní výpočtovou teplotou a průměrnou vnitřní povrchovou teplotou stavební části (k),	(-)
$f_{U,k}$	opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy	(-)
f_1	opravný činitel zohledňující rozdíl mezi teplotou sousedního prostředí nebo prostoru (x) a venkovní výpočtovou teplotou	(-)
f_2	opravný činitel zohledňující rozdíl mezi vnitřní výpočtovou teplotou prostoru (i) a průměrnou povrchovou teplotou stavební části (k)	(-)
$f_{\theta ann}$	opravný činitel zohledňující vliv změny venkovní teploty v průběhu roku	(-)
$H_{s,x}$	výhřevnost	(kWh/m ³)
$H_{T,ie}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) přímo do venkovního prostředí (e)	(W/K)
$H_{T,ia}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedních vytápěných prostor (a)	(W/K)
$H_{T,iaBE}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedních funkčních částí budovy (aBE)	(W/K)
$H_{T,iae}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí přes nevytápěné prostory (ae)	(W/K)

$H_{T,ig}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g)	(W/K)
h_x	součinitel přestupu tepla	(W/m ² ·K)
k	přepočtový objemový koeficient	(-)
m_p	spotřeba paliva	(kg)
$q_{V,min,i}$	minimální objemový průtok vzduchu místnosti (i)	(m ³ /h)
m	počet měsíců, kdy je plyn odebírán	(-)
$n_{min,i}$	minimální intenzita větrání místnosti (i)	(h ⁻¹)
$N_{provozní}$	provozní náklady na vytápění za stávající konfigurace	(Kč)
$Q_{H,dis,r}$	spotřeba energie v distribučním systému vytápění	(kWh)
Q_r	spotřeba energie za rok	(kWh)
R	odpor konstrukce	(m ² ·K/W)
R_{se}	odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	(m ² ·K/W)
R_{si}	odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	(m ² ·K/W)
R_T	celkový tepelný odpor	(m ² ·K/W)
U	součinitel prostupu tepla	(W/m ² ·K)
$U_{equiv,k}$	ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části (k) v kontaktu se zeminou	(W/m ² ·K)
U_f	součinitel prostupu tepla rámem okna	(W/m ² ·K)
U_g	součinitel prostupu tepla sklem okna	(W/m ² ·K)
U_k	součinitel prostupu tepla stavební částí (k)	(W/m ² ·K)
U_w	součinitel prostupu tepla oknem	(W/m ² ·K)
V_i	vnitřní objem (objem vzduchu) místnosti (i)	(m ³)
V_p	spotřeba paliva	(m ³)
λ	součinitel tepelné vodivosti	(W/m·K)
ΔU_{TB}	přirážka na vliv tepelných vazeb	(W/m ² ·K)
$\eta_{H,em}$	účinnost systému pro sdílení tepla mezi vytápěným prostředím a otopnými prvky	(-)
$\eta_{H,dis}$	účinnost systému pro distribuci tepla	(-)
$\Phi_{gain,i}$	trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru (i), které se vyskytují	(W)
$\Phi_{HL,i}$	návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru (i),	(W)
$\Phi_{hu,i}$	volitelný dodatečný zátopový tepelný výkon vytápěného prostoru (i) v případě přerušovaného vytápění,	(W)

$\Phi_{T,i}$	(celková) návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru (i),	(W)
$\Phi_{V,i}$	návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i), při venkovních výpočtových podmínkách	(W)
θ_e	venkovní výpočtová teplota	(°C)
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota uvažovaného vytápěného prostoru (i)	(°C)
θ_x	teplota sousedního prostoru nebo prostředí (x)	(°C)
$\theta_{int,k}^*$	průměrná vnitřní povrchová teplota stavební části (k)	(°C)
ρ	hustota vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě $\theta_{int,i}$	(kg/m ³)

Seznam příloh

Příloha 1 – Půdorys 1. NP

Příloha 2 – Půdorys 2. NP

Příloha 3 – Výpočet tepelných ztrát v MS Excel (pouze v elektronické verzi)

Příloha 2

PŮDORYS 2.NP

