

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU S VYUŽITÍM
ALTERNATIVNÍCH ZDROJŮ ENERGIE



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Jirásek** Jméno: **Jáchym** Osobní číslo: **465365**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Teoretický základ strojínského inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Využití alternativních zdrojů energie pro vytápění rodinného domu

Název bakalářské práce anglicky:

Use of Alternative Energy Sources for Heating of a Family House

Pokyny pro vypracování:

Studie využití návrhu alternativních zdrojů energie pro dosažení standardu tzv. budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Alternativní zdroje energie budou navrženy pro maximální využití potřeby tepla na vytápění a přípravu teplé vody v hodnoceném rodinném domě. Jako bivalentní zdroj tepla bude uvažováno s plynovým kondenzačním kotlem nebo využitím elektrické energie s akumulací.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

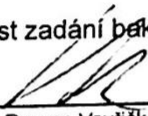
Ing. Roman Vavříčka, Ph.D., ústav techniky prostředí FS

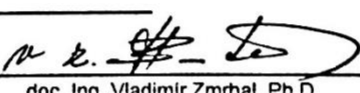
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

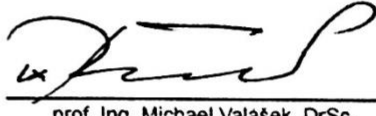
Datum zadání bakalářské práce: **24.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24.06.2019**

Platnost zadání bakalářské práce:


Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

24.4.2019

Datum převzetí zadání


Podpis studenta

SOUHRN

Nové legislativní požadavky zvyšují nároky na energetickou náročnost budov. A to jak u novostaveb, tak i u rekonstrukcí stávajících budov. Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi splnění požadavku na tzv. budovu s téměř nulovou spotřebou energie v případě rodinného domu.

Práce vysvětluje jednotlivá kritéria příslušné legislativy na dosažení tohoto požadavku. Byla vytvořena modelová budova odpovídající současným trendům ve stavebnictví. Pro vytápění a přípravu teplé vody bylo uvažováno jak s konvenčním plynovým kotlem, tak i tepelným čerpadlem využívající energii okolního prostředí. Zdroje tepla byly porovnány i z hlediska finančních nákladů. Zároveň došlo k zhodnocení vlivu rozdílných klimatických dat na tepelnou bilanci tepelného čerpadla.

Stanoveného cíle se podařilo dosáhnout navrženým řešením v obou případech. Kromě snížení energetické náročnosti došlo i k úspoře financí na provoz objektu oproti referenční budově.

SUMMARY

Due to the new legislation the demands on building energy performance have been rising. It concerns those newly built as well as the reconstructed ones. This bachelor's thesis deals with possibilities of meeting the so called „nearly zero-energy building“ requirements in a case of a family detached house.

The thesis explains the criteria which legislation sets in order to meet those requirements. A model building has been created which corresponds to the standard current trends in building industry. Both the conventional gas boiler and the heat pump using the environment energy have been considered as options for heating of the house and warming the water. The heat sources have been compared with regard to the financial costs. At the same time the influence which the different climate data will have on the energy balance of the heat pump has been assessed.

The task set has been successfully reached by solutions suggested for both options. Apart from decreasing the energy performance of the building, there were even decreased the financial expenses of the model building compared with the the reference one.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU S VYUŽITÍM ALTERNATIVNÍCH ZDROJŮ ENERGIE“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Vavříčky, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 18. 6. 2019

Jáchym Jirásek

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu této bakalářské práce Ing. Romanu Vavříčkovi, Ph.D. za veškeré odborné konzultace a vedení při zpracování této bakalářské práce.

OBSAH

SOUPIS POUŽITÉHO ZNAČENÍ	1
1. ÚVOD.....	4
2. BUDOVY S TĚMĚŘ NULOVOU SPOTŘEBOU ENERGIE	4
2.1. Definice.....	5
2.2. Závaznost a platnost	6
3. SPECIFIKACE BUDOVY	7
3.1. Obecný popis	7
3.4. Technické zařízení budovy	12
4. VLASTNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ.....	15
4.1. Výpočet součinitele prostupu tepla.....	15
5. KLIMATICKÁ DATA.....	19
6. ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ.....	21
6.1. Tepelné ztráty	21
6.2. Tepelné zisky.....	23
6.3. Potřeba tepla a spotřeba energie.....	26
7. ENERGIE NA PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY	27
8. ENERGIE NA VĚTRÁNÍ.....	28
9. ENERGIE NA OSVĚTLENÍ.....	29
10. POMOCNÉ ENERGIE	29
11. VYHODNOCENÍ SPOTŘEBY ENERGIE	30
12. NÁKLADY.....	31
12.1. Investiční náklady.....	31
12.2. Provozní náklady.....	31
12.3. Porovnání variant.....	32
13. ZÁVĚR	33
POUŽITÁ LITERATURA A DALŠÍ ZDROJE.....	36
SEZNAM PŘÍLOH	40
PŘÍLOHY	41

SOUPIS POUŽITÉHO ZNAČENÍ

A	plocha stavební části	[m ²]
$A_{poh,np}$	pohledová plocha neprůhledné stavební konstrukce	[m ²]
$A_{poh,p}$	pohledová plocha průhledné konstrukce	[m ²]
A_{sol}	solární sběrná plocha	[m ²]
$A_{sol,np}$	solární sběrná plocha neprůhledné stavební konstrukce	[m ²]
$A_{sol,p}$	solární sběrná plocha průhledné stavební konstrukce	[m ²]
B'	charakteristický parametr	[m]
COP	topný faktor	[-]
F	konverzní faktor primární neobnovitelné energie	[-]
$H_{T,e}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy	[W/K]
$H_{T,g}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	[W/K]
H_V	měrný tepelný tok větráním	[W/K]
I_{sol}	intenzita solárního záření	[kWh/m ²]
O	obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí	[m]
P_{SFP}	měrný elektrický příkon ventilátorů systému nuceného větrání	[W.s/m ³]
$Q_{H,gn}$	tepelné zisky	[kWh]
$Q_{H,ht}$	celková potřeba tepla na vytápění	[kWh]
$Q_{H,int}$	vnitřní tepelné zisky	[kWh]
$Q_{H,nd}$	potřeba tepla na vytápění	[kWh]
$Q_{H,tr}$	tepelná ztráta prostupem	[kWh]
$Q_{H,ve}$	tepelná ztráta větráním	[kWh]
Q_{os}	tepelné zisky na osobu	[W/os]
Q_r	sálání vůči obloze	[kWh]
Q_{sol}	tepelné zisky z oslunění	[kWh]
Q_{sp}	tepelné zisky na bytovou jednotku	[W]
$Q_{TV/měsíc}$	potřeba tepla na přípravu teplé vody	[kWh]

R_f	tepelný odpor podlahy	[m ² .K/W]
R_{se}	tepelný odpor na vnější straně konstrukce	[m ² .K/W]
R_{si}	tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce	[m ² .K/W]
S	plocha podlahy	[m ²]
$SCOP$	sezonní topný faktor	[-]
U	součinitel prostupu tepla stavební konstrukce	[W/m ² .K]
U_{equiv}	ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební konstrukcí v kontaktu se zeminou	[W/m ² .K]
U_{np}	součinitel prostupu tepla neprůhledné stavební konstrukce	[W/m ² .K]
$U_{podlahy}$	součinitel prostupu tepla podlahou	[W/m ² .K]
V	vnitřní objem vytápěného prostoru	[m ³]
V_p	potřeba teplé vody na osobu	[l/den]
a_H	bezrozměrný parametr, závislý na časové konstantě budovy	[-]
c	měrná tepelná kapacita vzduchu	[J/kg.K]
c_{vody}	měrná tepelná kapacita vody	[J/kg.K]
d_t	celková ekvivalentní tloušťka podlahy	[m]
f_e	teplotní opravný součinitel	[-]
f_{GW}	teplotní činitel zohledňující vliv spodní vody	[-]
f_g	teplotní opravný činitel	[-]
f_{int}	korekční činitel zohledňující přítomnost osob v objektu	[-]
f_f	podíl plochy rám	[-]
f_R	redukční činitel součinitele prostupu tepla	[-]
f_r	faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou	[-]
f_{sh}	korekční stínění na externí překážky	[-]
$f_{sh,gl}$	korekční činitel zasklení	[-]
f_{tann}	opravný činitel zohledňující vliv změny venkovní teploty v průběhu	[-]
f_U	opravný součinitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovení příslušných hodnot U	[-]

f_w	korekční činitel pro nerozptylové zasklení	[-]
g_n	solární faktor zasklení	[-]
h_r	součinitel prostupu tepla sáláním na vnější straně	[W/m ² .K]
$n_{dnů}$	počet dnů v měsíci	[den]
n_{hod}	počet hodin v měsíci	[h]
n_{min}	minimální intenzita větrání	[1/h]
n_{osob}	počet členů domácnosti	[os]
n_{PE}	primární neobnovitelná energie	[kWh]
t_e	venkovní výpočtová teplota	[°C]
$t_{e,m}$	průměrná venkovní teplota za otopné období	[°C]
t_{int}	vnitřní výpočtová teplota	[°C]
t_j	venkovní teplota	[°C]
t_1	teplota studené vody	[°C]
t_2	teplota teplé vody	[°C]
w	celková tloušťka obvodových stěn	[m]
z	koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody	[-]
$a_{s,c}$	pohltivost slunečního záření	[-]
γ_H	bilanční poměr pro režim vytápění	[-]
$\Delta t_{e,r}$	faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou	[K]
ΔU_{TB}	přírážka zohledňující vliv tepelných vazeb	[W/m ² .K]
$\eta_{H,gn}$	využitelnost tepelných zisků	[-]
η_t	účinnost systému zpětného získávání tepla	[-]
λ_{zeminy}	součinitel tepelné vodivosti zeminy	[W/m.K]
ρ	hustota vzduchu	[kg/m ³]
ρ_{vody}	hustota vody	[kg/m ³]

1. ÚVOD

V roce 2010 v rámci Evropské Unie tvořila spotřeba energie budov zhruba 40 % celkové spotřeby. Proto je v platnost zaváděna legislativa, která si dává za cíl energetickou náročnost snižovat. Na české legislativní úrovni je definován pojem budova s téměř nulovou spotřebou energie. Tento požadavek od roku 2020 požadován od každé obytné budovy bez rozdílu velikosti. [1]

Tato práce se proto zabývá možnostmi splnění tohoto nařízení pro novostavbu rodinného domu. Jako řešení bylo uvažováno jak se zdrojem tepla konvenčním, tak i alternativním. Pro první variantu bylo využito moderního kondenzačního kotle na zemní plyn. V druhém případě bylo zvoleno tepelné čerpadlo, které využívá energii okolního prostředí. Čerpadlo bylo zvoleno, protože je v tuzemských podmínkách jako jediné z běžně využívaných alternativních zdrojů energie schopné zajistit provoz domu stabilně prakticky po celý rok. [2]

Provoz tepelného čerpadla, resp. jeho účinnost, je na rozdíl od plynového kotle ovlivňována aktuální venkovní teplotou. Proto je nutné pro příslušné bilance zvážit výběr výchozích klimatických dat. Varianty volby zdroje tepla je také z pohledu uživatele objektu zhodnotit pro finanční stránce, a to jak investiční, tak i provozní. [2]

2. BUDOVY S TĚMĚŘ NULOVOU SPOTŘEBOU ENERGIE

Požadavek na výstavbu budov s téměř nulovou spotřebou energie (Nearly zero-energy buildings – NZEB) vychází ze směrnice Evropského parlamentu a rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov (později novelizována směrnicí 2018/844/EU, dále jen směrnice. [4]

Zavedení některých požadavků této směrnice na národní legislativní úrovni České republiky bylo provedeno prostřednictvím novely zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů. Dále byly tyto požadavky upřesněny prováděcí vyhláškou č. 78/2013 Sb., ve znění vyhlášky č. 230/2015 Sb, dále jen vyhláška. [3, 4, 8]

2.1. Definice

Budovou s téměř nulovou spotřebou energie je v legislativním pojetí ČR míněna budova s velmi nízkou energetickou náročností, jejíž spotřeba energie je „ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů“. [6]

Velmi nízká energetická náročnost je definována pomocí redukčního činitele f_R požadované základní hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla. Hodnota tohoto činitele je stanovena na 0,7. [4, 6]

Hodnota f_R je rovna násobku hodnoty průměrného součinitele tepla budovy U_{em} , které je dosaženo při použití požadovaných hodnot součinitelů prostupu tepla jednotlivých konstrukcí dle ČSN 730540-2 a referenční přírážky na vliv tepelných vazeb dle vyhlášky. Požadavek tudíž plní budova se součiniteli prostupu tepla jednotlivými konstrukcemi o 30 % nižšími než jsou hodnoty požadované. [5, 6]

Tab 1. Výběr z normovaných hodnot součinitele prostupu tepla []

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² ·K)]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,20	0,15 až 0,10
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,50	1,20	0,80 až 0,60
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,70	1,20	0,90

Druhá, na první pohled poněkud zavádějící část definice, může vzbuzovat nepatřičné představy. Například nemožnost použít jako zdroj tepla moderní plynové kondenzační kotle apod. Ovšem tento požadavek je vyjádřen pomocí parametru snížení hodnoty primární neobnovitelné energie nPE stanovené pro referenční budovy. Hodnota tohoto parametru je pro rodinné domy stanovena na 25 %. Primární energie zohledňuje veškeré procesy, které souvisí s dodáním energie do budovy (například těžba, zpracování a doprava). Pro výpočet potřeby neobnovitelné primární energie se používá konverzní faktor primární neobnovitelné energie F . Ten je pro elektrickou energii ze sítě roven hodnotě 3,0 a pro zemní plyn se rovná 1,1. [6, 7]

Spotřeba energie referenční budovy se vypočítá s parametry obálky $f_R = 0,7$ a dalšími stanovenými vstupy pro referenční budovu. Výslednou hodnotu spotřeby primární energie referenční budovy je potřeba spotřebu hodnocené budovy snížit. [6]

Toho je možné dosáhnout jednak využitím zdrojů energie s nižším faktorem primární neobnovitelné energie, zdrojů s vyšší účinností. Další možností je zlepšení parametrů obálky oproti nutnému minimu. Tudíž použití takové stavební konstrukce, aby bylo dosaženo hodnoty f_R nižší než 0,7. [6, 8]

2.2. Závaznost a platnost

Legislativa vyžaduje, aby projektová dokumentace novostaveb všech budov k 1. lednu 2020 splňovala požadavky pro tzv. budovy s téměř nulovou spotřebou energie. [8]

Na národní úrovni vyhláška postupně vstupuje v platnost pro dokončené budovy od 1. ledna 2016 do 1. ledna 2020 v závislosti na vlastníku budovy a velikosti energeticky vztažené plochy, viz tabulka 2. [4, 8]

Tab. 2. Termíny vstupnosti vyhlášky v platnost [4]

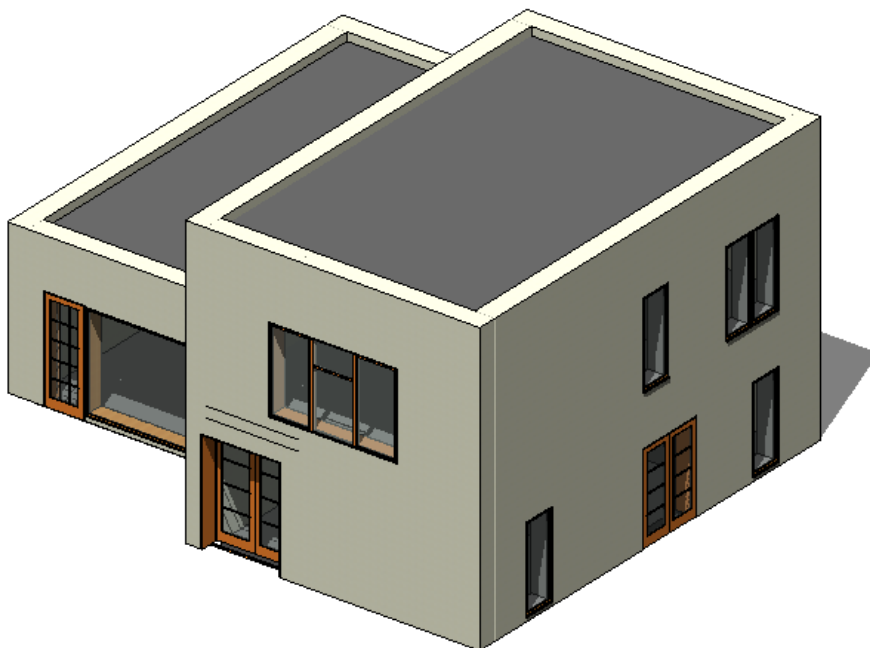
Vlastník budovy	Energeticky vztažná plocha		
	> 1500 m ²	> 350 m ²	< 350 m ²
Budovy, jejímž vlastníkem a uživatelem bude orgán veřejné moci nebo subjekt zřízený orgánem veřejné moci	Od 1. 1. 2016	Od 1. 1. 2017	Od 1. 1. 2018
Ostatní budovy	Od 1. 1. 2018	Od 1. 1. 2019	Od 1. 1. 2020

3. SPECIFIKACE BUDOVY

3.1. Obecný popis

Budova je moderní rodinný dům. Jde o částečně dvoupodlažní, nepodsklepenou stavbu s plochou střechou, bez půdního prostoru. Vzhledem k dispozici domu 4+1 a podlahové ploše 161,6 m² je o stavbě uvažováno jako o domovu čtyřčlenné rodiny.

Stavba se opticky skládá ze dvou částí. Jednopodlažní část je zamýšlena jako hlavní obytný prostor spojující kuchyň, jídelnu a obývací pokoj. Dvoupodlažní část obsahuje ložnice a celkové zázemí domu.



Obr. 1: 3D model budovy vytvořený v programu Autodesk Revit

3.2. Orientace a lokalita objektu

Budova je vůči světovým stranám orientována tak, že strana s největší prosklenou plochou je namířena na jih. Tím pádem je interiér dostatečně přirozeně osvětlen a v zimním období jsou lépe využitelné vnější tepelné zisky ze slunečního záření.

Jako lokalita objektu je uvažována poloha odpovídající Praze s venkovní výpočtovou teplotou $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$. [9]

3.3. Stavební konstrukce a materiály

Konkrétní skladby jednotlivých výpočtových variant jsou uvedeny v subkapitole 4.1. Byly použity současné materiály, splňující podmínky normy ČSN 73 0540-2 na součinitele prostupu tepla $U_{rec,20}$ [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$]. Součinitel prostupu tepla U [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$] je buď udáván přímo výrobcem, nebo vypočten na základě příslušné normy. [9, 11]

3.3.1. Zdivo obvodových stěn

Při výběru skladby obvodových stěn bylo dbáno především na jeho tepelně-izolační vlastnosti (resp. dosažení hodnoty doporučené pro pasivní budovy $U_{pas,20} = 0,12 \div 0,18\text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ dle ČSN 73 0540-2). Dalším kritériem bylo využití tuzemské produkce, životnost, jednoduchost konstrukce a zdravé vnitřní klima v budově. [11]

S ohledem na tato kritéria byla jako zdivo zvolena broušená cihla *Family 44 2in1* (resp. *Family 50 2in1*) od českého tradičního výrobce *Heluz*, $\lambda = 0,061\text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$ (resp. $\lambda = 0,058\text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$). Toto zdivo splňuje hodnoty doporučené pro pasivní budovy i bez dodatečného zateplení. Toho je dosaženo vyplnění dutin v cihlách polystyrenem. Zároveň je zajištěna dobrá paropropustnost. [10]



Obr. 2: Cihla Heluz Family 2in1 [10]

3.3.2. Omítka

Obvodové zdivo (jak ze strany exteriéru, tak i interiéru) je z obou stran omítnuto perlitovou omítkou. Stejně tak i střecha ze strany přiléhající k interiéru.

Perlitová omítka se vyznačuje velmi dobrými tepelně-izolačními vlastnostmi ($\lambda = 0,05 \text{ W/m.K}$). Proto bývá také používána při tepelné izolaci historických budov, když není vhodné použít přídatnou izolaci EPS nebo minerální vlnou. Je složena z perlitu, pemzy, skelné vaty a pojiv. Díky své porézní struktuře je vysoce prodyšná. [12]

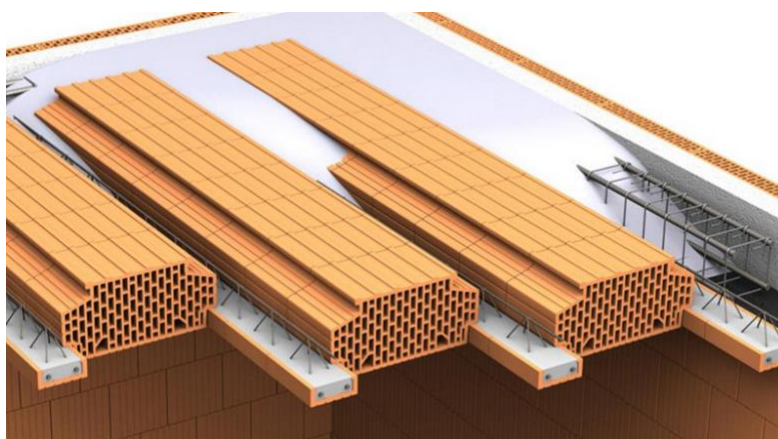
3.3.3. Základová deska

Dům není podsklepen, tudíž je podlaha v celé ploše prvního patra přilehlá k zemině. Základová deska je betonová ($\lambda = 1,25 \text{ W/m.K}$). [13]

3.3.4. Nosná střešní konstrukce

Střecha má stejnou skladbu jak v prvním, tak i druhém patře, a byla volena s ohledem na tepelně-izolační vlastnosti.

Konstrukce se skládá ze stropu tvořeného cihelnými vložkami *Porotherm MIAKO 8/62.5* ($\lambda = 0,42 \text{ W/m.K}$). Ty jsou následně nadbetonovány betonem třídy *C16/20* ($\lambda = 1,50 \text{ W/m.K}$) v tloušťce doporučené výrobcem. [14, 15]



Obr. 3: Strop Porotherm MIAKO [14]

3.3.5. Okna

Okna byla vybrána především s ohledem na tepelně-izolační vlastnosti. Další z kritérií bylo využití tuzemské produkce, životnost a nízká údržbovost.

Z důvodu nižší životnosti nebyla využita okna plastová. Dřevěná naopak vyžadují pravidelnou údržbu. Hliníková okna mají obecně nevýhodu v horších tepelně izolačních vlastnostech. Proto byly zvolena dřevohliníková konstrukce. Ta spojuje tepelně-izolační vlastnosti dřeva s ochranou hliníkového opláštění odolného vůči korozi. Dřevěný profil tak není vystaven vlivu vnějšího prostředí, především změnám vlhkosti a UV záření. [17]

Byla použita okna *Alu Design Classic* od českého výrobce *Vekra*. Zasklení je provedeno trojsklem ($U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$). To oproti dvojsklu výrazně zlepšuje tepelně-izolační vlastnosti a omezuje rosení oken v interiéru. Celkové $U_w = 0,79 \text{ W/m}^2\text{K}$ okna splňuje požadavky dle ČSN 73 0540-2 na doporučené hodnoty pro pasivní budovy ($U_{pas,20} = 0,6 \div 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$). [11, 16, 17]



Obr. 4: Profil oken Vekra Alu Design Classic [16]

3.3.6. Dveře

Při volbě dveří bylo postupováno s ohledem na stejné parametry jako v případě oken. Parametry byly tepelně-izolační vlastnosti, životnost, nízká údržbovost a preference tuzemské produkce.

Vstupní dveře jsou stejně jako okna dřevohliníkové řady *Alu Design Classic* od výrobce *Vekra*. Dveře jsou částečně prosklené (trojsklo $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$). Celkové $U_d = 0,89 \text{ W/m}^2\text{K}$ splňuje doporučení pro pasivní budovy (dle ČSN 73 0540-2) $U_{pas,20} = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$. [11, 18]



Obr. 5: Profil dveří Vekra Alu Design Classic [18]

3.3.7. Přídavná izolace

Tepelná izolace střechy je provedena pomocí minerální izolace *Isover Uni* ($\lambda = 0,035 \text{ W/m.K}$). [20]

Podlaha byla tepelně izolována izolací *Isover EPS 100* ($\lambda = 0,037 \text{ W/m.K}$). [19]

Pro přídavnou izolaci obvodových stěn ve výpočtové variantě 3 byla použita kamenná vlna *Frontrock Max E* ($\lambda = 0,037 \text{ W/m.K}$). Kamenná vlna se vyznačuje lepší požární odolností a delší životností oproti běžně používanému EPS. [21]

3.3.8. Hydroizolace

V rámci podlahy jsou pro izolaci proti zemní vlhkosti použity asfaltové hydroizolační pásy ($\lambda = 0,2 \text{ W/m.K}$). [23]

V případě střechy jako svrchní vrstva je použita PVC fólie ($\lambda = 0,16 \text{ W/m.K}$). [24]

3.3.9. Podlaha

Použitá podlaha přilehlá k zemině je z cementového potěru *Cemix* ($\lambda = 1,240 \text{ W/m.K}$).

Typ nášlapného materiálu není ve výpočtu součinitele prostupu tepla zohledňován. [22]

3.4. Technické zařízení budovy

Pod pojmem technické zařízení budovy, dále TZB se rozumí zařízení (a v širším významu i profese), které zabezpečují technické prostředí uvnitř budov. Obor TZB se zabývá především rozvody a hospodařením s energiemi. [25]

TZB zahrnuje 3 hlavní oblasti: instalace, elektrotechnické rozvody a další technická zařízení jako je osvětlení a výtahy. [25]

V následujících subkapitolách následuje popis TZB, jenž bylo v hodnoceném objektu v rámci výpočtu spotřeby energií budovy uvažováno.

3.4.1. Plynový kondenzační kotel

Kondenzační plynový kotel je zdrojem tepla pro vytápění a přípravu teplé vody. Potřebnou energii dodává díky spalování zemního plynu. Při spalování zemního plynu je ve spalinách mimo jiné obsažena také vodní pára. Ta představuje část tepelné energie, kterou lze využít v případě ochlazení spalin pod určitou teplotu. Kotle využívající tohoto principu se nazývají kondenzační. [26]

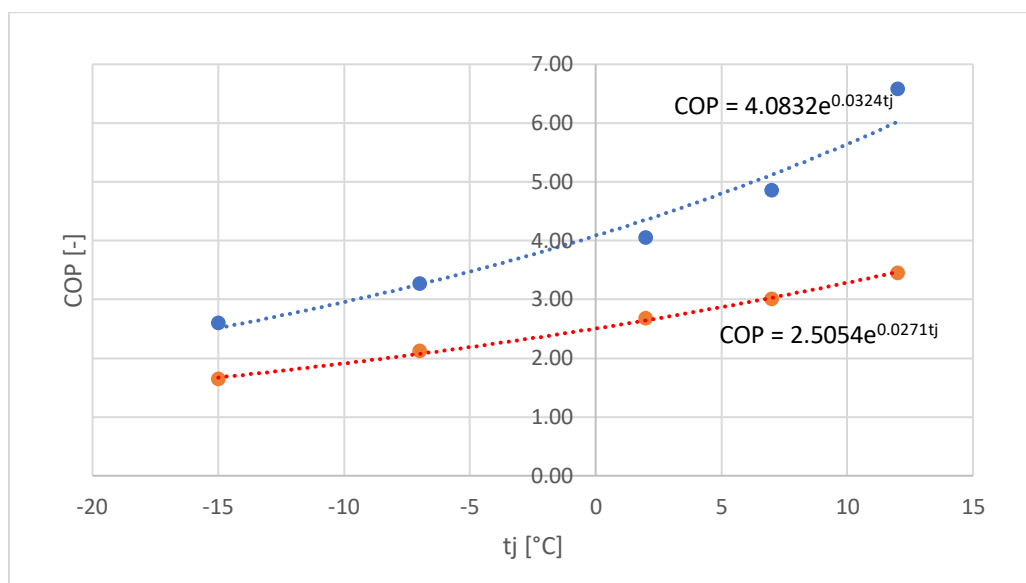
Pro zvažovaný objekt byl vybrán kotel *Logamax plus 192-15i* od výrobce *Buderus* s jmenovitým tepelným výkonem 17 kW. Sezonní energetická účinnost vytápění dále použitá ve výpočtech jako účinnost kotle je stanovena na 94 %. [27]

3.4.2. Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Tepelné čerpadlo vzduch-voda je zařízení využívající tepelnou energii ze vzduchu vnějšího prostředí, kterou předává vodě v topném okruhu budovy. K extrakci tepla dochází pomocí nemrzoucí směsi. Při její nízké teplotě je ohřívána venkovním vzduchem. Ve výparníku se směs vypaří. Následně je stlačena kompresorem, a tím se teplota dostane na zhruba 80 °C, poté putuje do kondenzátoru, kde své teplo předá do otopné vodě. [28]

Pro hodnocený objekt bylo zvoleno inventorové tepelné čerpadlo *Regulus EcoAir 614M* s deklarovaným topným výkonem 2,55 kW (pro $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ a minimální otáčky) a 8,69 kW (pro $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ a maximální otáčky). [29]

Důležitým parametrem tepelného čerpadla je topný faktor. Ten vyjadřuje kolik tepla odebere z okolního prostředí na ohřev teplé vody na jednotkové množství dodané elektrické energie. Při konstantní teplotě výstupní vody a otáčkách čerpadla je COP funkcí teploty venkovního vzduchu. Pro stanovení rovnice závislosti pro teploty výstupní vody $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (vytápění) a $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ (teplá užitková voda) byly použity hodnoty COP v závislosti na teplotě venkovního vzduchu udávané výrobcem v technickém listě čerpadla. Následně byla v programu *Microsoft Excel* interpolována křivka odpovídající jejich závislosti. Jejich rovnice pro teplotu vody na výstupu z tepelného čerpadla pro $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ (červená křivka) a pro $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (modrá křivka) jsou uvedeny v následujícím grafu. [28, 29]



Obr. 6: závislost COP na venkovní teplotě

Na základě poznatků z praxe je nejvhodnější používat čerpadlo, pokud je aktuální hodnota COP vyšší než 2,5. Pod touto hodnotou je v případě nutnosti dosažení teploty vody na výstupu z tepelného čerpadla vyšších než $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (např. pro přípravu teplé vody) je vhodnější použít záložní zdroj (bivalentní) tepla. [28]

3.4.3. Zásobník teplé vody

V kombinaci s plynovým kotlem byl použit nepřímo ohříváný zásobník teplé vody *Buderus Logalux SU200* o objemu 200 l. K tepelnému čerpadlu je v sestavě dodávána tepelná centrála *Regulus EcoZenith 350i* o objemu 350 l. [30, 31]

3.4.4. Rekuperační vzduchotechnická jednotka

Rekuperační jednotka je vzduchotechnické zařízení, nasávající čerstvý vzduch z venkovního prostředí. Před vstupem vzduchu do interiéru mu je ve výměníku předáno teplo z odváděného (ohřátého) vzduchu. Moderní řešení využívají výměník křížového typu. [33]

Zpětné získávání tepla snižuje spotřebu energie na vytápění, konstrukce s filtry zlepšuje kvalitu vnitřního prostředí a automatický provoz je pohodlným řešením větrání pro obyvatele domu. [33]

Pro minimální ztráty větráním byla zvolena rekuperační jednotka *Venus Comfort HRV-30* se jmenovitým průtokem až 300 m³/hod. Účinnost zpětného získávání tepla $\eta = 90 \%$ byla odečtena z grafu výrobce. [32]

3.4.5. Podlahové vytápění

Tento typ vytápění se řadí mezi převážně sálavé otopné plochy. Sáláním se sdílí převážná část tepla. Vzduch ve místnosti je ohříván tedy nejen od sálající plochy, ale také od ploch osálaných. Vnitřní povrchové teploty stavebních konstrukcí jsou vyšší než teplota vzduchu. [34]

V případě teplovodního podlahového vytápění je v podlaze umístěn takzvaný otopný had, kterým protéká ze zdroje tepla otopná voda. Její teplota na přívodu se pohybuje mezi 35 – 55°C. Jsou využívány dvě možnosti instalace – suchá a mokrá. [34, 35]

V hodnoceném objektu je využito mokrého způsobu, otopný had je zalit cementovým potěrem. Přívodní teplota vody je 35 °C.

4. VLASTNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

Veškeré výpočty byly provedeny v programu *Microsoft Excel*. Plochy potřebné pro příslušné výpočty byly změřeny v programu *Autodesk Revit*. Výpočty byly provedeny s měsíčním krokem. [9, 36]

4.1. Výpočet součinitele prostupu tepla

Výpočet pro neprůsvitné části na styku s vnějším prostředím byl proveden dle ČSN EN ISO 6946. Výsledné hodnoty součinitelů prostupu tepla U pro jednotlivé stavební konstrukce jsou uvedeny v následujících subkapitolách. [9]

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m \frac{s_n}{\lambda_n} + R_{se}} [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (1)$$

kde

U – součinitel prostupu tepla stavební konstrukcí [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$],

R_{si} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$],

R_{se} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$],

s_n – tloušťka n -té stavební konstrukce [m],

λ_n – součinitel tepelné vodivosti n -té stavební konstrukce [$\text{W/m} \cdot \text{K}$].

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty tepelných odporů při přestupu tepla na styku rovinných ploch se vzduchem.

Tab. 3 Hodnoty tepelných odporů při přestupu tepla [9]

Tepelný odpor při přestupu tepla [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]	Směr tepelného toku		
	nahoru	vodorovně	dolů
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Pro plochy přilehlé k zemině (podlahy) byl výpočet proveden dle ČSN EN ISO 13 370. [9]
Pro každou z místností byl samostatně vypočítán charakteristický parametr:

$$B' = \frac{S}{0,5 \cdot O} [m] \quad (2)$$

kde

B' – charakteristický parametr [m],

S – plocha podlahy [m^2],

O – obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí [m].

Dále bylo nutné vypočítat ekvivalentní tloušťku podlahy.

$$d_t = w + \lambda_{zeminu} \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) [m] \quad (3)$$

kde

d_t – celková ekvivalentní tloušťka podlahy [m],

w – celková tloušťka obvodových stěn [m],

λ_{zeminu} – součinitel tepelné vodivosti zeminu [$W/m \cdot K$],

R_{si} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$m^2 \cdot K/W$],

R_{se} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$m^2 \cdot K/W$],

R_f – tepelný odpor podlahy [$m^2 \cdot K/W$].

Hodnota součinitele tepelné vodivosti zeminu pro potřeby výpočtu byla uvažována jako $\lambda_{zeminu} = 2 W/m$, a to k odpovídající kategorii šterky a písky. []

Výsledná hodnota součinitele prostupu tepla konkrétní místnosti se vypočítá pro

$d_t < B'$ pomocí vztahu

$$U_{podlahy} = \frac{2 \cdot \lambda_{zeminu}}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right) [W/m^2 \cdot K] \quad (4)$$

kde

$U_{podlahy}$ – součinitel prostupu tepla podlahou [$W/m^2 \cdot K$].

Případně pro $d_t \geq B'$ pomocí vztahu

$$U_{podlahy} = \frac{\lambda_{zeminy}}{0,457 \cdot B' + d_t} [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}] \quad (5)$$

V případě průsvitných částí (oken a dveří) byly použity hodnoty udávané v technických listech výrobce (vypočteny dle ČSN EN ISO 10 077-1 a 2). Z technických listů byly také brány hodnoty solárního faktoru g , potřebné pro výpočet vnějších solárních tepelných zisků.

Parametry průsvitných částí jsou uvedeny v následující tabulce. Pro všechny výpočtové varianty byly použity stejná okna a dveře. [9, 16, 18, 36]

Tab. 4: Parametry průsvitných konstrukcí

Název stavební konstrukce	Součinitel prostupu tepla		Solární faktor g [-]
	$U_{skutečné}$ [W/(m ² .K)]	$U_{pas,20}$ [W/(m ² .K)]	
okna Heluz Alu Design Classic	0.79	0.6 ÷ 0.8	0.47
dveře Heluz Alu Design Classic	0.89	0.9	0.47

4.1.1. Varianta 1

V první zvažované variantě byly skladby stavebních konstrukcí voleny tak, aby bylo pokud možno dosaženo požadavku na součinitel prostupu tepla pro pasivní budovy. Vypočtené hodnoty součinitele prostupu tepla jsou uvedeny v příloze 1. [11]

4.1.2. Varianta 2

V této výpočtové variantě byly skladby voleny ve snaze zlepšit tepelně-izolační vlastnosti s co nejmenšími přídatnými náklady oproti variantě 1. Vypočtené hodnoty součinitele prostupu tepla jsou uvedeny v příloze 2.

4.1.3. Varianta 3

Tato varianta dále zlepšuje tepelně-izolační vlastnosti objektu. Proto byla použita přídatná izolační vrstva minerální izolace na obvodové stěny. Vypočtené hodnoty součinitele prostupu tepla jsou uvedeny v příloze 3.

4.1.4. Investiční náklady

Pro představu o finanční náročnosti realizace jednotlivých řešení bylo provedeno porovnání z hlediska investic. Jako nulová hladina byla zvolena finančně nejméně náročná varianta 1.

Vzhledem k povaze cen ve stavebnictví, kdy při odběru většího množství materiálu nejsou ceny fixní, je výpočet pouze orientační. Mimo jiné se nepočítá s nutností rezervy v množství stavebního materiálu. Ceny materiálu vychází z jednotkového množství. Zároveň nejsou zohledněny rozdíly v ceně montáže. Ceny zahrnují DPH.

V nabídce obchodů se stavebninami je možné získat materiály levněji. V této práci se vycházelo z cen obchodu *DEK*, a to z důvodu, že jde o zavedený obchod, který měl v době tvorby práce v nabídce veškeré potřebné materiály. Cena za montáž přídatné izolace pro variantu 3 byla vypočtena jako průměr z ceníků tří stavebních firem. [37, 38, 39, 40]

Tab. 5: Ceny materiálu a práce []

Popis konstrukce	Cena	Zdroj
	[kč/m ²]	
cihla Heluz Family 2in1 44	3184	[37]
cihla Heluz Family 2in1 50	3440	[37]
Isover Uni 2x 120 mm	324	[37]
Isover Uni 2x 160 mm	432	[37]
Isover Uni 2x 180 mm	486	[37]
Isover 100 EPS 100 mm	175	[37]
Frontrack Max E	631	[37]
Montáž kamenné vlny	395	[38, 39, 40]

Tab. 6: Plochy stavebních konstrukcí

Varianta	Plocha konstrukce [m ²]		
	stěny	střecha	podlaha
1	255,4	131,9	131,9
2	260,3	135,3	135,3
3	279,9	144,6	144,6

Výsledný vliv investičních nákladů je zpracován v příloze 4. K nejmarkantnějšímu navýšení nákladů došlo při instalaci přídatné izolace na obvodové stěny minerální vlnou. Na základě tohoto výpočtu byla pro další postup zvolena varianta 2.

4.1.5. Referenční budova

Slouží pro potřeby zhodnocení budovy, zda splňuje požadavky na tzv. budovu s téměř nulovou spotřebou energie. Hodnoty součinitele prostupu tepla (a následně potřeba tepla a spotřeby energie) byly použity na základu požadavku, který je upřesněn prováděcí vyhláškou č. 78/2013 Sb (viz kapitola 2.1.). Referenční budovy se vypočítá s parametry obálky $f_R = 0,7$ a dalšími stanovenými vstupy. [8]

5. KLIMATICKÁ DATA

Pro výpočet potřeby tepla byly použity průměrné měsíční hodnoty venkovní teploty a úhrn slunečního oslunění udávaný v příslušných normách. Na základě zkušeností z praxe jde v případě použití konvenčních zdrojů tepla o hodnoty dostatečně přesné.

Avšak v případě využití tepelného čerpadla byl předpoklad, že tyto hodnoty nemusí být pro správnou bilanci spotřeby energie vhodné, a to vzhledem k závislosti topného faktoru na teplotě venkovního vzduchu. [2]

Při bilanci potřeb tepla zajištěného čerpadlem a výpočet odpovídajícího sezonního topného faktoru SCOP byly zvažovány tři možné varianty klimatických dat. Dvě varianty z průměrných denních teplot naměřených v Praze na Karlově, a to pro dvě období: 1960 – 1990 a 1991 – 2015. Třetí možnost vycházela z průměrných měsíčních teplot pro výpočet potřeby tepla dle ČSN EN ISO 52016-1. [41, 36]

Pro stanovení nejvhodnějších dat byla provedena bilance pro všechny možnosti a výsledné hodnoty spotřeby primární neobnovitelné energie byly mezi sebou porovnány pro několik možností dolní mezní hodnoty COP, pod kterým dojde k využití elektrického ohřevu. V programu Microsoft Excel byly provedeny výpočty a stanovena dolní mezní hodnota topného faktoru dále použitá ve výpočtech.

Jako nejvhodnější mezní hodnota COP se dle předpokladu potvrdilo $COP = 2,5$. Ovšem v intervalu od 2,5 do 3,0 byla výsledná hodnota spotřeby primární energie prakticky konstantní. V testovaném rozmezí COP byl vždy plynový kotel použit pouze pro přípravu TV.

V případě klimatických dat jsou nejméně vhodné průměrné měsíční hodnoty dle ČSN EN ISO 52016-1. Důvodem je, že vzhledem k velkému kroku nebylo možné dostatečně přesně stanovit počet dnů, kdy je na přípravu TV použit elektrický ohřev. Při $COP = 2,5 \div 2,7$ vyšlo v případě obou denních klimatických hodnot zhruba 300 % počtu dní získaných z měsíčních hodnot. Výsledky jsou uvedeny v přílohách 8 a 9.

Výsledná spotřeba primární neobnovitelné energie pro data vycházející z průměrné hodnoty pro 1960 – 1990 a 1991 – 2015 se zásadně neliší. Z dat je zřejmé, že v období 1991 – 2015 byly průměrné teploty vyšší. Rozdíl spotřeby primární neobnovitelné energie pro $COP = 2,5$ vyšel zhruba 4 % ve prospěch aktuálnějších dat. V této práci se pro stanovení spotřeby energie objekty bude pracovat s aktuálnějšími denními klimatickými daty.

Tab. 7: Vliv klimatických dat a mezního COP na dobu běhu čerpadla [41, 36]

Využití zdroje tepla:	Vytápění	TV	Vytápění	TV	Vytápění	TV	Dolní mezní COP:
Klimatické podmínky:	1960 - 1990		1991 - 2015		ČSN EN ISO 52016-1		
TČ v provozu: [den]	243	343	243	354	243	334	2,5
Bivalentní zdroj v provozu: [den]	0	22	0	11	0	31	
TČ v provozu: [den]	243	266	243	278	243	334	2,7
Bivalentní zdroj v provozu: [den]	0	99	0	87	0	31	
TČ v provozu: [den]	243	233	243	241	243	244	2,9
Bivalentní zdroj v provozu: [den]	0	132	0	124	0	121	

6. ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ

6.1. Tepelné ztráty

6.1.1. Tepelné ztráty větráním

Výpočty byly provedeny dle ČSN EN 12 831-1. [36]

$$Q_{V,i} = n_{hod} \cdot H_V \cdot (t_{int} - t_e) \cdot (1 - n_t) = n_{hod} \cdot V \cdot n_{min} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{int} - t_e) (1 - n_t) \text{ [kWh]} \quad (6)$$

kde

Q_V – tepelná ztráta větráním [kWh],

n_{hod} – počet hodin v měsíci [h],

H_V – měrný tepelný tok větráním [W/K],

t_{int} – vnitřní výpočtová teplota [°C],

t_e – venkovní výpočtová teplota [°C],

V – vnitřní objem vytápěného prostoru [m³],

n_{min} – minimální intenzita větrání [h⁻¹],

ρ – hustota vzduchu [kg/m³],

c – měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kg.K],

η_t – účinnost systému zpětného získávání tepla [-].

Pro vzduch o teplotě 20 °C odpovídají hodnoty $\rho = 1,188 \text{ kg/m}^3$ a $c = 1010 \text{ J/kg.K}$. [36]

6.1.2. Tepelné ztráty prostupem

Výpočty byly provedeny dle ČSN EN 12 831-1. [9]

$$Q_{H,tr} = n_{hod} \cdot (H_{T,e} + H_{T,g}) \cdot (t_{int} - t_e) \text{ [kWh]} \quad (7)$$

kde

$Q_{H,tr}$ – tepelná ztráta prostupem [kWh],

n_{hod} – počet hodin v měsíci [h],

$H_{T,e}$ – měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy [W/K],

$H_{T,g}$ – měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí [W/K],

t_{int} – vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru [°C],

t_e – venkovní výpočtová teplota [°C].

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí:

$$H_{T,e} = A \cdot (U + \Delta U_{TB}) \cdot f_U \cdot f_e \text{ [W/K]} \quad (8)$$

kde

A – plocha stavební části [m^2],

U – součinitel prostupu tepla stavební konstrukcí [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$],

ΔU_{TB} – přírážka zohledňující vliv tepelných vazeb [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$],

$f_{U,k}$ – opravný součinitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovení příslušných hodnot U [-],

$f_{e,k}$ – teplotní opravný součinitel [-].

Pro výpočet bylo uvažováno s $f_{U,k} = 1$, $f_{e,k} = 1$ a $\Delta U_{TB} = 0,05 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$. ΔU_{TB} odpovídá použití stavebních konstrukcí s mírnými tepelnými mosty a optimalizovanými tepelnými vazbami v souladu s obecně uznávanou a doporučovanou praxí. [36]

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy:

$$H_{T,g} = f_{tann} \cdot [A_n \cdot U \cdot f_{ig} \cdot f_{GW}] \text{ [W/K]} \quad (9)$$

kde

f_{tann} – opravný činitel zohledňující vliv změny venkovní teploty v průběhu [-],

A – plocha stavební části [m^2],

U_{equiv} – ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební konstrukcí v kontaktu se zeminou [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$],

f_{ig} – teplotní opravný činitel [-],

f_{GW} – teplotní činitel zohledňující vliv spodní vody [-].

Hodnoty činitelů použité ve výpočtu:

$$f_{tann} = 1,45,$$

$$f_{GW,k} = 1 \text{ (hladina spodní vody více než 1 m pod úrovní základové desky)}. \text{ [36]}$$

Teplotní opravný činitel:

$$f_{ig,k} = \frac{t_{f,i} - t_{e,m}}{t_{f,i} - t_e} \text{ [-]} \quad (10)$$

kde

$t_{e,m}$ – průměrná venkovní teplota za otopné období [$^{\circ}\text{C}$].

Výpočet ekvivalentního součinitele prostupu tepla stavební části v kontaktu se zeminou:

$$U = \frac{a}{b + (c_1 + Bt)^{n_1} + (c_2 + z)^{n_2} + (c_3 + U_k + \Delta U_{TB})^{n_3}} + d \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]} \quad (11)$$

kde hodnoty činitelů pro podlahu

$$a = 0,9671 \text{ [-]},$$

$$b = -7,455 \text{ [-]},$$

$$c_1 = 10,76 \text{ [-]},$$

$$c_2 = 9,773 \text{ [-]},$$

$$c_3 = 0,0265 \text{ [-]},$$

$$n_1 = 0,5531 \text{ [-]},$$

$$n_2 = 0,6027 \text{ [-]},$$

$$n_3 = -0,9296 \text{ [-]},$$

$$d = -0,0203 \text{ [-]},$$

$$z = 0 \text{ [-]}.$$

6.2. Tepelné zisky

6.2.1. Vnější tepelné zisky

Tepelné zisky z oslunění hrají důležitou roli v navrhování moderních objektů s obálkou s dobrými tepelně-izolačními vlastnostmi. Výpočet byl proveden dle ČSN EN ISO 52016-1. [36]

$$Q_{H,sol} = f_{sh} \cdot A_{sol} \cdot I_{sol} - f_r \cdot Q_r \text{ [kWh]} \quad (12)$$

kde

$Q_{H,sol}$ – tepelné zisky z oslunění [kWh],

f_{sh} – korekční stínění na externí překážky [-],

A_{sol} – solární sběrné plochy [m²],

I_{sol} – intenzita solárního záření [kWh/m²],

f_r – faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou [-],

Q_r – sálení vůči obloze [Wh].

f_r je roven 0,5 pro vertikální prvky a 1 pro horizontální prvky.

$$Q_r = R_{se} \cdot U_n \cdot A_{poh,np} \cdot h_r \cdot \Delta t_{e,r} [W] \quad (13)$$

kde

R_{se} – tepelný odpor přestupu na vnější straně [$m^2 \cdot K/W$],

U – součinitel prostupu tepla neprůhledné stavební konstrukce [$W/m^2 \cdot K$],

$A_{poh,np}$ – pohledová plocha neprůhledné stavební konstrukce [m^2],

h_r – součinitel prostupu tepla sáláním na vnější straně [$W/m^2 \cdot K$],

$\Delta t_{e,r}$ – faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou [K].

Výpočet A_{sol} se provádí pro průhledné a neprůhledné konstrukce zvlášť dle následujících vzorců.

$$A_{sol,p} = f_{sh,gl} \cdot f_w \cdot g_n \cdot (1 - f_f) \cdot A_{poh,p} [m^2] \quad (14)$$

kde

$A_{sol,p}$ – solární sběrná plocha průhledné konstrukce [m^2],

$f_{sh,gl}$ – korekční činitel zasklení [-],

f_w – korekční činitel pro nerozptylové zasklení [-],

g_n – solární faktor zasklení [-],

f_f – podíl plochy rám [-],

$A_{poh,p}$ – pohledová plocha průhledné konstrukce [m^2].

Hodnoty korekcí byly uvažovány $f_{sh,gl} = 0,7$ a $f_w = 0,9$. [36]

$$A_{sol,np} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_{np} \cdot A_{poh,np} [m^2] \quad (15)$$

kde

$A_{sol,np}$ – solární sběrná plocha neprůhledné konstrukce [m^2],

$\alpha_{s,c}$ – pohltivost slunešního záření [-],

R_{se} – tepelný odpor přestupu na vnější straně [$m^2 \cdot K/W$],

U_{np} – součinitel prostupu tepla neprůhledné stavební konstrukce [$W/m^2 \cdot K$],

$A_{poh,np}$ – pohledová plocha neprůhledné stavební konstrukce [m^2].

Pro potřeby výpočtů byla použita hodnota $\alpha_{s,c} = 0,6$. [36]

6.2.2. Vnitřní tepelné zisky

Jde o zisky od domácích spotřebičů, z umělého osvětlení a od osob, které dům obývají. Výpočet byl proveden dle ČSN EN ISO 52016-1. [36]

$$Q_{H,int} = n_{hod} \cdot (n_{osob} \cdot Q_{os} \cdot f_{int} + Q_{sp}) \text{ [kWh]} \quad (16)$$

kde

$Q_{H,int}$ – vnitřní tepelné zisky [kWh],

n_{hod} – počet hodin v měsíci [h],

n_{osob} – počet členů domácnosti [os],

Q_{os} – tepelné zisky na osobu [W/os],

f_{int} – korekční činitel zohledňující přítomnost osob v objektu [-],

Q_{sp} – tepelné zisky na bytovou jednotku [W].

Bylo uvažováno s přítomností osob 70 % času, 100 W na bytovou jednotku a 100 W na osobu. [36]

6.2.3. Využitelnost tepelných zisků

Využitelnost tepelných zisků závisí především na tepelně-akumulačních vlastnostech objektu. Výpočet byl proveden dle ČSN EN ISO 52016-1. [36]

$$\gamma_H = \frac{\text{celkové tepelné zisky}}{\text{celková potřeba tepla}} = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \text{ [-]}, \quad (17)$$

kde

γ_H – bilanční poměr pro režim vytápění [-],

$Q_{H,gn}$ – celkové tepelné zisky [kWh],

$Q_{H,ht}$ – celková potřeba tepla na vytápění [kWh].

V případě že $\gamma_H > 0$ a $\gamma_H \neq 0$, tak

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \text{ [-]}, \quad (18)$$

pokud $\gamma_H = 1$, tak

$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H+1} \text{ [-]}, \quad (19)$$

a za situace, že $\gamma_H < 0$, tak

$$\eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H} [-], \quad (20)$$

kde

$\eta_{H,gn}$ – využitelnost tepelných zisků [-],

a_H – bezrozměrný parametr, závislý na časové konstantě budovy [-].

6.3. Potřeba tepla a spotřeba energie

Potřeba tepla na vytápění byla vypočtena dle ČSN EN ISO 52016-1. Po zohlednění tepelných zisků se potřeba tepla získá z následujícího vztahu. [36]

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - n_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \text{ [kWh]} \quad (21)$$

kde

$Q_{H,nd}$ – potřeba tepla na vytápění [kWh]

Pro jednotlivé varianty skladeb stavebních konstrukcí jsou přesné výsledky potřeby tepla na vytápění uvedeny v přílohách 9, 10, 11 a 12. Výpočet spotřeby energie byl proveden pro variantu 2 a jí odpovídající referenční budovu. [8, 11, 36, 42]

Tab. 8: Spotřeba energie na vytápění [42, 43, 44]

Variantu vytápění:		Referenční budova	Plynový kotel	TČ	
Účinnost výroby energie:	[%]	80	94	-	99
Účinnost distribuce zdrojem tepla:	[%]	85	93	93	93
Účinnost sdílení energie na vytápění:	[%]	80	88	83	83
SCOP:	[-]	-	-	5.04	-
Potřeba energie:	[MWh]	12.66	6.52	6.52	0.00
	[kWh/m ²]	60.84	31.33	31.33	0.00
Spotřeba energie:	[MWh]	23.273	8.476	1.674	0.000
	[kWh/m ²]	111.84	40.73	8.05	0.00
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	25.600	9.324	5.526	0.000
	[kWh/m ²]	123.02	44.80	26.55	0.00
Roční náklady:	[Kč]	28183	10782	4314	

7. ENERGIE NA PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY

Potřeba teplé vody na dne byla stanovena na základě následujícího výpočtu. [36]

$$Q_{TV/měsíc} = n_{dnů} \cdot n_{osob} \cdot V_p \cdot (t_2 - t_1) \cdot \rho_{vody} \cdot c_{vody} \cdot (1 + z) \text{ [kWh]} \quad (22)$$

kde

$Q_{TV/měsíc}$ – potřeba tepla na přípravu teplé vody [kWh],

$n_{dnů}$ – počet dnů v měsíci [den],

n_{osob} – počet členů domácnosti [osob],

V_p – potřeba teplé vody na osobu [$\text{m}^3/\text{osob}.\text{den}$],

t_1 – teplota studené vody [$^{\circ}\text{C}$],

t_2 – teplota teplé vody [$^{\circ}\text{C}$],

ρ_{vody} – hustota vody [kg/m^3],

c_{vody} – měrná tepelná kapacita vody [$\text{J}/\text{kg}.\text{K}$],

z – koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody [-].

Pro rodinné domy uvádí ČSN 73 0331-1 typickou hodnotu měrné spotřeby teplé vody 35 až 55 l na osobu a den. Pro měsíce červenec a srpen byla měrná potřeba snížena z 35 l na den a osobu o 25 % vzhledem k tomu, že jde o období prázdnin a dovolených, kdy se lidé často vyskytují mimo domov. [36]

Pro jednotlivé varianty skladeb stavebních konstrukcí jsou přesné výsledky potřeby tepla uvedeny v přílohách 9, 10, 11 a 12. Výpočet spotřeby energie byl proveden pro variantu 2 a jí odpovídající referenční budovu. Pro vyhodnocení spotřeby energie je také nutné znát měrnou ztrátu zásobníku a rozvodů teplé vody. Pro referenční budovu byly využity hodnoty uvedené v příslušné vyhlášce. Pro hodnocené varianty se vycházelo z ČSN 73 0331-1, kde jsou stanoveny typické hodnoty. [8, 11, 36, 42, 43, 44]

Tab. 9: Spotřeba energie na přípravu TV [42, 43, 44]

Varianta přípravy TUV:	Referenční budova	Plynový kotel	TČ	
Účinnost výroby energie: [%]	85	94	-	99
Měrná ztráta zásobníku [W.h/l.den]	7	6.4	6.4	6.4
Měrná ztráta rozvodů [W.h/m.den]	150	60.7	60.7	60.7
SCOP: [-]	-	-	3.59	-
Potřeba energie: [MWh]	3.297	3.297	3.198	0.099
[kWh/m ²]	15.85	15.85	15.37	0.48
Spotřeba energie: [MWh]	6.029	4.788	1.489	0.100
[kWh/m ²]	28.97	23.01	7.15	0.48
Spotřeba primární neobnovitelné energie: [MWh]	6.632	5.267	4.467	0.301
[kWh/m ²]	31.87	25.31	21.46	1.45
Roční náklady: [Kč]	7296	6081	4094	

8. ENERGIE NA VĚTRÁNÍ

Pro výpočet spotřeby energie je nutné znát P_{SFP} [W.s/m³] vzduchotechnického zařízení. Pro hodnocenou budovu se vycházelo z hodnot uvedených výrobcem v technickém listě rekuperační jednotky. Hodnota pro referenční budovu je udána v příslušné vyhlášce.

Roční náklady závisí na ceně elektrické energie. Ta vychází z použitého tarifu elektrické energie. Oba použité tarify jsou blíže popsány v kapitole 12.. V referenčním objektu bylo uvažováno s D 25d, stejně jako v případě využití plynového kotle. [11, 36, 42, 44]

Tab. 10: Spotřeba energie na nucené větrání [42, 44]

Varianta větrání:	Referenční budova	tarif D 56d	tarif D 25d
PSFP [W.s/m ³]	3500	1962	1962
Spotřeba energie: [MWh]	1.789	1.003	1.003
[kWh/m ²]	8.59	4.82	4.82
Spotřeba primární neobnovitelné energie: [MWh]	5.366	3.008	3.008
[kWh/m ²]	25.78	14.45	14.45
Roční náklady: [Kč]	7279	2587	4081

9. ENERGIE NA OSVĚTLENÍ

Stanovení spotřeby elektrické energie všech variant byly použity typické hodnoty pro rodinné domy uvedené v ČSN 73 0331-1. Spotřeby se mezi sebou neliší, rozdíl je v ročních nákladech, které závisí na odpovídajícím tarifu ceny elektrické energie. Sazba D 56d mohla být využita jen v případě použití tepelného čerpadla. [42, 43, 44]

Tab. 11: Spotřeba energie na osvětlení [42, 44]

Tarif elektřiny:		tarif D 56d	tarif D 25d
Spotřeba energie:	[MWh]	0.727	0.727
	[kWh/m ²]	4.50	4.50
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	2.182	2.182
	[kWh/m ²]	13.50	13.50
Roční náklady:	[Kč]	1876	2960

10. POMOCNÉ ENERGIE

Do spotřeb pomocných energií byly zahrnuty spotřeby elektrické energie čerpadel systému vytápění a přípravy teplé vody. Při výpočtu se vycházelo z průměrného ročního příkonu zařízení v době jejich provozu. Bylo využito typických hodnot daných v ČSN 73 0331-1. Výsledné spotřeby byly pro všechny případy stejné. [42, 43, 44]

Tab. 12: Spotřeba pomocných energií [42, 44]

Varianta větrání:		tarif D 56d	tarif D 25d
PH,p	[W]	31.8	31.8
PTV,p	[W]	25.2	25.2
Spotřeba energie:	[MWh]	0.208	0.208
	[kWh/m ²]	1.00	1.00
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	0.623	0.623
	[kWh/m ²]	3.00	3.00
Roční náklady:	[Kč]	536	846

11. VYHODNOCENÍ SPOTŘEBY ENERGIE

Celková spotřeba energie je součtem dílčích spotřeb. Je patrné, že nejmenší spotřeby dosáhla varianta využívající tepelné čerpadlo.

Tab. 13: Spotřeba energie objektu [42]

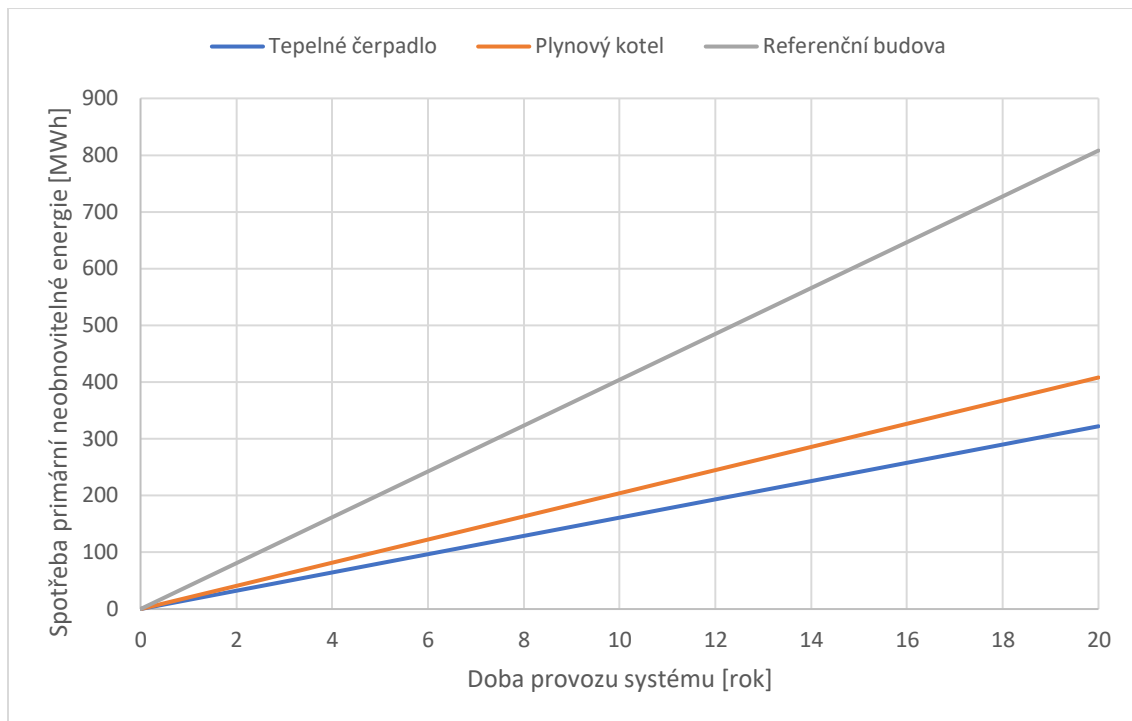
Varianta:		Referenční budova	Plynový kotel	Tepelné čerpadlo
Vytápění:	[MWh]	23.273	8.476	1.674
	[kWh/m ²]	111.84	40.73	8.05
Příprava TV:	[MWh]	6.029	4.788	1.589
	[kWh/m ²]	28.974	23.010	7.637
Větrání:	[MWh]	1.789	1.003	1.003
	[kWh/m ²]	8.59	4.82	4.82
Osvětlení:	[MWh]	0.727	0.727	0.727
	[kWh/m ²]	4.50	4.50	4.50
Pomocné energie:	[MWh]	0.208	0.208	0.208
	[kWh/m ²]	1.00	1.00	1.00
Celkem:	[MWh]	32.026	15.202	5.201
	[kWh/m ²]	154.90	74.06	26.00

Stejným způsobem byla získána i spotřeba primární neobnovitelné energie. Nejpříznivěji opět vyšla spotřeba budovy při využití tepelného čerpadla. Ovšem vzhledem k vyššímu faktoru primární neobnovitelné energie oproti využití plynového kotle již není rozdíl mezi těmito variantami tak markantní, rozdíl činí zhruba 20 % ve prospěch čerpadla.

Na první pohled je patrné, že snížení hodnoty spotřeby primární neobnovitelné energie oproti referenční budově je více než 25 %, a to s velkou rezervou. Vzhledem k tomu, že u všech použitých stavebních konstrukcí obálky budovy je redukční činitel f_R menší než 0,7, je splněn v obou případech požadavek na tzv. budovu s téměř nulovou spotřebou energie. [4]

Tab. 14: Spotřeba primární neobnovitelné energie objektu [7, 42]

Varianta:		Referenční budova	Plynový kotel	Tepelné čerpadlo
Vytápění:	[MWh]	25.600	9.324	5.526
	[kWh/m ²]	123.02	44.80	26.55
Příprava TV:	[MWh]	6.632	5.267	4.768
	[kWh/m ²]	31.872	25.311	22.911
Větrání:	[MWh]	5.366	3.008	3.008
	[kWh/m ²]	25.78	14.45	14.45
Osvětlení:	[MWh]	2.182	2.182	2.182
	[kWh/m ²]	13.50	13.50	13.50
Pomocné energie:	[MWh]	0.623	0.623	0.623
	[kWh/m ²]	3.00	3.00	3.00
Celkem:	[MWh]	40.403	20.404	16.106
	[kWh/m ²]	197.17	101.07	80.41



Obr. 7: Celková spotřeba primární neobnovitelné energie po dobu 20 let

12. NÁKLADY

V této kapitole jsou porovnány investiční a provozní náklady při použití tepelného čerpadla a plynového kotle. Vycházelo se z cen aktuálních na jaře 2019. [43, 44]

12.1. Investiční náklady

Pro zjednodušení bylo počítáno jen s cenou jednotlivých zdrojů tepla a zásobníků teplé vody. Pro objektivnější zhodnocení by bylo zapotřebí uvažovat také s náklady na samotnou instalaci a další prvky systémů.

Výrobce *Buderus* nabízí ceníkem plynový kotel *Logamax Plus GB192i* za 69 600 Kč a zásobník *Logalux SU200* za 18 800 Kč. Cena tepelného čerpadla *Regulus EcoAir 614M* v akční sestavě s tepelnou centrálou *EcoZenith* o objemu 350 l je 296 000 Kč. Ceny jsou aktuální pro rok 2019 a jsou včetně DPH. [27, 29, 31]

12.2. Provozní náklady

Ve srovnání ročních provozních nákladů je nutné hodnotit i ty oblasti, kde je spotřeba energie ve všech případech stejná. To je třeba vzhledem k tomu, že v případě použití tepelného čerpadla a plynového kotle je cena za elektrickou energii odlišná, což se promítne

do celkových nákladů. Pro zajímavost je také uvedeno, jaké by byly roční náklady na provoz referenční budovy.

Vychází se z cen plynu společnosti Pražská plynárenská. Zdroj cen elektrické energie je sazba společnosti PRE. Pojem fixní náklady se myslí stálý roční plat pro odpovídající pásmo odběru zemního plynu či roční plat při odběru elektrické energie na základě použitého jističe.

Referenční budově odpovídá odběr roční plynu 25 – 30 MWh a cena 1,21 Kč/kWh a 372,99 Kč/měsíc. U hodnocené budovy vytápěné plynem vyšel odběr v rozmezí 7,56 – 15 MWh. V tom případě se počítá s 1,27 Kč/kWh a 257,35 Kč/měsíc. [43]

Pro varianty bez tepelného čerpadla byla sazba D 25d (dvoutarifová sazba s operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu po dobu 8 hodin). Bylo uvažováno s jističem nad 3x 10 A do 3x 16 A. Výsledná cena elektrické energie byla stanovena na 4,07 Kč/kWh a 200,78 Kč/měsíc. Při použití tepelného čerpadla je dosaženo výhodnější sazby D 56d s operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu na 22 hodin. Pro tento případ bylo počítáno s 2,58 Kč/kWh a 381,07 Kč/měsíc. [44]

Tab. 15: Roční náklady na provoz objektu [43, 44]

Varianta:		Referenční budova	Plynový kotel	Tepelné čerpadlo
Fixní náklady ele.:	[Kč]	2409	2409	4573
Fixní náklady plyn:	[Kč]	4476	3088	0
Vytápění:	[Kč]	28183	10782	4314
Příprava TV:	[Kč]	7296	6081	4094
Větrání:	[Kč]	7279	4081	2587
Osvětlení:	[Kč]	2960	2960	1876
Pomocné energie:	[Kč]	846	846	536
Celkem:	[Kč]	53449	30246	17980

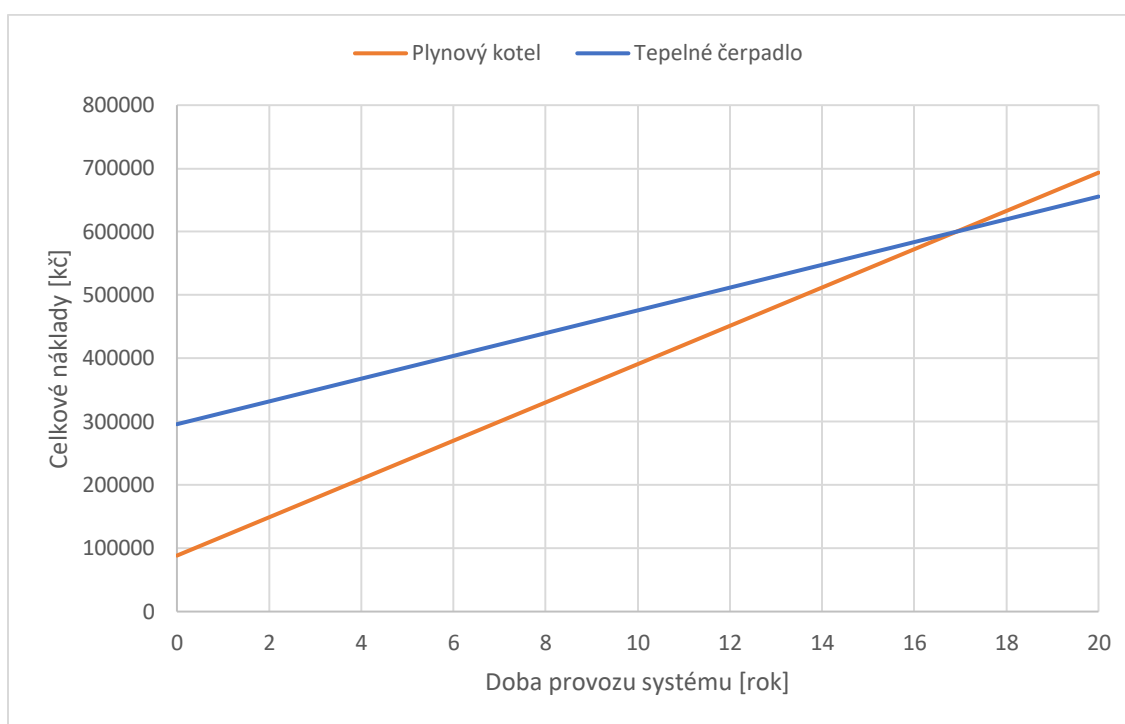
12.3. Porovnání variant

Na základě předchozích dat je z následujícího grafu patrné, že v dlouhodobém horizontu je finančně výhodnější tepelné čerpadlo, a to i přes vyšší pořizovací náklady.

Ovšem toto srovnání je pouze orientační, neboť nezohledňuje mnoho faktorů, z nichž některé není prakticky možné stanovit. Ve skutečném provozu je nutné brát ohled na spolehlivost zařízení a tomu odpovídající náklady na servis, vývoj cen energií a mimo jiné

i životnost jednotlivých prvků systému. Tepelné čerpadlo, resp. výhodnější tarif elektrické energie snižuje náklady na provoz domácích spotřebičů (např. ledničky, myčky, pračky či televize).

Zásadní je také vliv správného seřízení a provozu systému. Pokud by například došlo k poruše tepelného čerpadla, která by nebyla včas odhalena a celou topnou sezónu by byla voda ohřívána topným tělesem, tak se náklady dramaticky zvýší.



Obr. 8: Celková náklady po dobu 20 let

13. ZÁVĚR

Ve fázi návrhu samotné hodnocené budovy byly také zvažovány různé varianty skladeb tepelných konstrukcí. Hlavním cílem této práce bylo navrhnout takový zdroj tepla rodinného domu, aby bylo splněn požadavek na budovu s téměř nulovou spotřebou energie, varianty byly porovnány i po stránce finanční. Dále byl vyhodnocen vliv a vhodnost klimatických dat pro stanovení SCOP tepelného čerpadla.

Při návrhu skladeb tepelných konstrukcí byly použity moderní stavební materiály. První varianta byla navržena tak, aby splňovala doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní budovy. Toho navržené zdivo dosahuje i bez přídavné tepelné izolace. V druhém možném řešení byla zvětšena tloušťka tepelných izolací stropu a podlahy. Ta byla ve třetí

variantě ještě dále zvětšována a zároveň byla použita přídatná tepelná izolace na obvodové zdivo. Ukázalo se, že přídatná izolace pro konkrétní použité zdivo je z finančního hlediska krajně nevýhodná. Při zvýšení ceny budovy o téměř 400 000 Kč oproti variantě 2 je roční úspora při vytápění zemním plynem zhruba 1 600 Kč. Teoretická prostá návratnost, za nerealistického předpokladu stabilních cen energií, vyšla na 250 let. Proto byla zvolena varianta 2.

Požadavek na budovu s téměř nulovou spotřebou energie byl splněn jak při instalaci plynového kondenzačního kotle *Buderus Logamax Plus 192i*, tak i tepelného čerpadla typu vzduch-voda *Regulus EcoAir 614M*. Obě možná řešení dosáhla v naplnění požadavku značné rezervy. Spotřeba primární neobnovitelné primární energie referenční budovy byla 197 kWh/m², objektu s plynovým kotlem 101 kWh/m² a při použití čerpadla 80 kWh/m².

Z porovnání po stránce ročních nákladů vyšlo lépe čerpadlo, na 18 000 Kč za provoz objektu. Náklady pro budovu s kotlem byly vyčísleny na 30 200 Kč za rok. Ovšem počáteční náklady na pořízení systému zahrnující čerpadlo jsou výrazně vyšší, i bez zahrnutí ceny instalace jde o 296 000 Kč. V tomto srovnání je výhodnější cena plynového kondenzačního kotle se zásobníkem teplé vody za celkovou částku 88 400 Kč. Při dlouhodobém vyhodnocení nákladů bez uvažování změn cen energií (tj. prostá doba návratnosti) a ceny za servis či případné opravy začne být tepelné čerpadlo výhodnější po 17 letech. Uvažovaná životnost obou zařízení je udávána na zhruba 20 let. Vzhledem k tomu, že nezohledněné faktory není možné spolehlivě stanovit, není vyhodnocení v tomto směru možné. Proto bych tepelné čerpadlo doporučil takovému investorovi, kterému vyšší počáteční investice zbytečně nezatíží rozpočet. Případně za situace, že do lokality objektu není zaveden plyn a přípojka by neadekvátně zvýšila investiční náklady.

Při volbě vhodných dat pro stanovení sezonního topného faktoru SCOP čerpadla byly užity průměrné denní teploty vycházející z dat hydrometeorologické stanice Praha Karlov pro roky 1961 – 1990 a 1991 – 2015. Dále byly zvažována průměrné měsíční hodnoty teplot vycházející z ČSN EN ISO 52016-1.

Měsíční data reagovala nepřesně na stanovené topný faktor COP pod jehož hodnotou bude použit záložní elektrický ohřev vody. Pro dolní mezní COP 2,5 stanovila dobu běhu

záložního zdroje na trojnásobek dní odpovídajících denním hodnotám 1991 – 2015 a naopak při COP 2,7 vykazovala pouze třetinu dní vypočtených na základě denních hodnot. Klimatická data založená na denních teplotách ve vypočtených dnech doby běhu vykazovala stabilní rozdíl zhruba 10 dní, což je způsobeno vlivem vyšších teplot v posledních letech. Jako vhodnější se tedy dle předpokladů ukázalo použití denních teplot.

POUŽITÁ LITERATURA A DALŠÍ ZDROJE

- [1] EUROSTAT. Consumption of energy. *EC.Europa.eu* [online]. 2016. [cit. 2019-03-27].
Dostupné z:
http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Consumption_of_energy#Main_statistical_findings.
- [2] EKOMPLEX. Tepelná čerpadla. *Topeni-topenari.eu* [online]. [cit. 2019-04-04].
Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/tepelna-cerpadla.php>.
- [3] Zákon č. 406/2000 Sb. ze dne 25. října 2000 v posledním znění zákona č. 103/2015 Sb. o hospodaření energií.
- [4] Budovy s téměř nulovou spotřebou energie. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2019-03-27].
Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie>.
- [5] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, říjen 2011
- [6] ANTONÍN, Jan a PURKRTOVÁ, Magdalena a ENERGYSIM. TZB-INFO. Budovy s téměř nulovou spotřebou energie - Definice. *TZB-info.cz* [online]. leden 2017. [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15180-budovys-temer-nulovou-spotrebou-energie-definice>.
- [7] NOVOTNÝ, Jiří a MATUŠKA, Tomáš a UCEEB a ČVUT v Praze. Primární neobnovitelná energie. *TZB-info.cz* [online]. leden 2017. [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vytapani/16491-neobnovitelna-primarni-energie>
- [8] Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov. *TZB-info.cz* [online]. leden 2017. [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-78-2013-sb-o-energeticke-narocnosti-budov>
- [9] VAVŘIČKA, Roman. Výpočet tepelných ztrát. *UTP.cvut.cz* [online]. leden 2019. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z:
http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Vytapani/001_Tepelne_ztraty.pdf
- [10] HELUZ, Cihla Heluz Family 44 2in1. *Heluz.cz* [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <http://www.heluz.cz/cs/vyrobek/heluz-family-44-2in1-brouseno-1>

- [11] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, říjen 2011
- [12] Perlitová omítka Manto Plater. *TVSTAV.cz* [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <http://tvstav.cz/perlitova-omitka-manto-plater>
- [13] Lité směsi. *Ceskomoravskybeton.cz* [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <http://www.lite-smesi.cz/index.php/stahnout-soubor?id=7159>
- [14] Strop Porotherm. *Wienerberger.cz* [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://wienerberger.cz/fakta/strop-porotherm-bn>
- [15] Lité směsi. *Ceskomoravskybeton.cz* [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <http://www.lite-smesi.cz/index.php/stahnout-soubor?id=7159>
- [16] Dřevohliníková okna. *Vekra.cz* [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.vekra.cz/produkt/alu-design-classic/>
- [17] Dřevo, plast nebo hliník? Co vybrat?. *OKNA.EU* [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.okna.eu/drevo-plast-nebo-hlinik-ndash-co-tedy-vybrat>
- [18] Dřevohliníkové dveře. *Vekra.cz* [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.vekra.cz/produkt/vchodove-dvere-alu-design/>
- [19] Isover EPS 100. *Isover.cz* [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <http://www.isover-eshop.cz/isover-eps-100>
- [20] Isover UNI. *Isover.cz* [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <http://www.isover-eshop.cz/isover-uni>
- [21] Frontrock Max-E. *Rockwool.cz* [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.rockwool.cz/produkty/frontrock-max-e/>
- [22] Cementový potěr. *Cemix.cz* [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.cemix.cz/produkty/cementovy-poter-25-mpa>
- [23] PVC fólie Fatrafol. *Coleman.cz* [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://e.coleman.cz/fatrafol-814-tl-2-5-mm-s-1-0m-mehn-p-046250-cz>
- [24] Asfaltové pásy. *Dek.cz* [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: https://www.dek.cz/produkty/detail/1010101095-dek-r13-role-20m2?tab_id=popis
- [25] VRÁNA, J. *Technická zařízení budov v praxi*. Praha: Grada Publishing a.s, 2007. ISBN 978-80-247-1588-9.
- [26] Stručná teorie kondenzačních kotlů plynových kotlů. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1912-strucna-teorie-kondenzace-u-kondenzacnich-plynovych-kotlu>

- [27] Plynový kotel Logamax Plus GB192i. *Buderus* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.buderus.com/cz/cs/ocs/rodinne-domy-a-byty/logamax-plus-gb192i-757198-p/>
- [28] Princip tepelného čerpadla. *Abeceda-cerpadel.cz* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/princip-tepelneho-cerpadla>
- [29] Tepelné čerpadlo EcoAir 614M. *Regulus* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/tepelne-cerpadlo-ecoair-614m>
- [30] Tepelná centrála EcoZenith. *Regulus* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/tepelna-centrala-ecozenith-i350>
- [31] Zásobník teplé vody Logalux. *Buderus* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.buderus.com/cz/cs/ocs/rodinne-domy-a-byty/logalux-su1605-4005-757251-p/>
- [32] Rekuperační jednotky Venus. *Multivac* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <http://www.multivac.cz/produkty/rekuperacni-jednotky-venus>
- [33] ZMRHAL, Vladimír a PETLACH, Jiří. Systémy větrání obytných budov. *TZB-info.cz* [online]. listopad 2011. [cit. 2019-05-01]. <http://vetrani.tzb-info.cz/vetranirodinnych-domu/7937-systemy-vetrani-obytnych-budov>.
- [34] BAŠTA, Jiří. *Otopné plochy*. Praha: ČVUT, 2016. ISBN 978-80-01-05943-2.
- [35] BAŠTA, Jiří. Podlahové vytápění (II). *TZB-info.cz* [online]. červenec 2006. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani/3442-podlahove-vytapani-ii>
- [36] VAVŘIČKA, Roman. Výpočet potřeby tepla. *utp.cvut.cz* [online]. leden 2019. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Vytapani/002_Potreba_tepla.pdf
- [37] Ceník produktů. *DEK* [online]. [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/produkty>
- [38] Ceník stavebních prací. *EpicentrumHome.cz* [online]. [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://www.epicentrumhome.cz/cenik-stavebnich-praci/>
- [39] Ceník stavebních prací. *Zatepleni-fasad.eu* [online]. [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://www.zatepleni-fasad.eu/vse-o-zatepleni/zatepleni-fasady-cena-za-m2/>
- [40] Ceník stavebních prací. *Termont-vodaservis.cz* [online]. [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://termont-vodaservis.webnode.cz/cenik-praci/cenik-stavebnich-praci/>

- [41] Denní teploty – historická data. *portal.chmi.cz* [online]. [cit. 2019-04-02].
Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data>
- [42] ČSN 73 0331-1. *Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet*. 1. vyd.
Praha: ÚNMZ, září 2018
- [43] Ceny paliv a energií: Přehled cen zemního plynu. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/13-prehled-cen-zemniho-plynu>
- [44] Ceny paliv a energií: Přehled cen elektrické energie. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/14-prehled-cen-elektricke-energie>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Hodnoty U neprůsvitných konstrukcí – varianta 1

Příloha 2: Hodnoty U neprůsvitných konstrukcí – varianta 2

Příloha 3: Hodnoty U neprůsvitných konstrukcí – varianta 3

Příloha 4: Porovnání variant skladeb konstrukcí z hlediska U a nákladů na realizaci

Příloha 5: Vliv klimatických dat na vytápění tepelným čerpadlem

Příloha 6: Vliv klimatických dat na přípravu teplé vody tepelným čerpadlem

Příloha 7: Vliv klimatických dat na spotřebu energie

Příloha 8: Vliv klimatických dat na spotřebu energie

Příloha 9: Potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody pro variantu 2

Příloha 10: Potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody referenční budovy pro variantu 2

Příloha 11: Potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody pro variantu 1

Příloha 12: Potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody pro variantu 3

PŘÍLOHY

Příloha 1: Hodnoty U neprůsvitných konstrukcí – varianta 1

Orientace	Název stavební konstrukce	Tloušťka d [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]	Součinitel prostupu tepla	
				$U_{skutečné}$ [W/m ² K]	$U_{pos,20}$ [W/m ² K]
exteriér	stěna Omítka Manto Plate perlitová Zdivo Heluz Family 44 2in1 Omítka Manto Plate perlitová	0.015	0.050		
		0.440	0.061		
interiér		0.015	0.050		
	Σ	0.470		0.125	0.12 ÷ 0.18
exteriér	střecha PVC fólie Minerální izolace Isover Uni 2x 120mm Separační PE fólie Beton C16/20 Strop Porotherm MIAKO 8/62.5 Omítka Manto Plate perlitová	0.003	0.160		
		0.240	0.035		
		0.060	1.500		
		0.250	0.420		
interiér		0.010	0.050		
		Σ	0.563		0.127
exteriér	podlaha ŽB deska Hydroizolační asfalt. pásy Isover EPS 100 Cementový potěr Cemix	0.250	1.250		
		0.025	0.200		
		0.100	0.037		
interiér		0.100	1.240		
		Σ	0.475		
		Místnost			
				0.188	0.15 ÷ 0.22
				0.219	
				0.206	
				0.213	
				0.245	
				0.224	
				0.164	

Příloha 2: Hodnoty U neprůsvitných konstrukcí – varianta 2

Orientace	Název stavební konstrukce	Tloušťka d [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]	Součinitel prostupu tepla	
				$U_{skutečné}$ [W/m ² K]	$U_{pos,20}$ [W/m ² K]
exteriér	stěna Omítka Manto Plate perlitová Zdivo Heluz Family 50 2in1 Omítka Manto Plate perlitová	0.015	0.050		
		0.500	0.058		
interiér		0.015	0.050		
	Σ	0.530		0.106	0.12 ÷ 0.18
exteriér	střecha PVC fólie Minerální izolace Isover Uni 2x 160 mm Separační PE fólie Beton C16/20 Strop Porotherm MIAKO 8/62.5 Omítka Manto Plate perlitová	0.003	0.160		
		0.320	0.035		
		0.060	1.500		
		0.250	0.420		
interiér		0.010	0.050		
		Σ	0.643		0.099
exteriér	podlaha ŽB deska Hydroizolační asfalt. pásy Isover EPS 100 Cementový potěr Cemix	0.250	1.250		
		0.025	0.200		
		0.200	0.037		
interiér		0.100	1.240		
		Σ	0.575		
		Místnost			
				0.134	0.15 ÷ 0.22
				0.141	
				0.116	
				0.135	
				0.147	
				0.144	
				0.111	

Příloha 3: Hodnoty U neprůsvitných konstrukcí – varianta 3

Orientace	Název stavební konstrukce	Tloušťka	Součinitel tepelné vodivosti	Součinitel prostupu tepla	
		d [m]	λ [W/mK]	$U_{skutečné}$ [W/m ² K]	$U_{pas,20}$ [W/m ² K]
exteriér	stěna Omitka Manto Plate perlitová Kamenná vlna Frontrock Max E Zdivo Heluz Family 50 2in1 Omitka Manto Plate perlitová	0.015	0.050		
		0.150	0.037		
		0.500	0.058		
interiér		0.015	0.050		
		Σ 0.665		0.082	0.12 ÷ 0.18
exteriér	střecha PVC fólie Minerální izolace Isover Uni 2x 180 mm Separační PE fólie Beton C16/20 Strop Porotherm MIAKO 8/62.5 Omitka Manto Plate perlitová	0.003	0.160		
		0.360	0.035		
		0.060	1.500		
		0.250	0.420		
interiér		0.010	0.050		
		Σ 0.683		0.089	0.10 ÷ 0.15
exteriér	podlaha ŽB deska Hydroizolační asfalt, pásy Isover EPS 100 Cementový potěr Cemix	0.250	1.250		
		0.025	0.200		
		0.300	0.037		
interiér		0.100	1.240		
		Σ 0.675			
			Místnost		
			1.01 Jídelna	0.098	
			1.02 Předstíň	0.102	
			1.03 Ložnice	0.088	
			1.04 Koupelna	0.099	0.15 ÷ 0.22
			1.05 Šatna	0.105	
			1.06 Prádelna	0.104	
			1.08 Spiž	0.085	

Příloha 4: Porovnání variant skladeb konstrukcí z hlediska U a nákladů na realizaci

Varianta	Konstrukce		
	stěny	střecha	podlaha*
	Náklady [kč]		
1	813 141	42 732	23 080
2	895 262	58 439	47 346
3	1 250 048	70 256	75 894
	Navýšení nákladů [kč]		
1	0	0	0
2	82 121	15 707	24 266
3	436 908	27 524	52 814
	U [W/m ² K]		
1	0.125	0.127	0.188
2	0.106	0.099	0.134
3	0.082	0.089	0.098
	Změna hodnoty U [%]		
1	0.0	0.0	0.0
2	-15.2	-22.0	-28.7
3	-34.4	-29.9	-47.9
*hodnota U pro podlahu v místnosti 1.01			

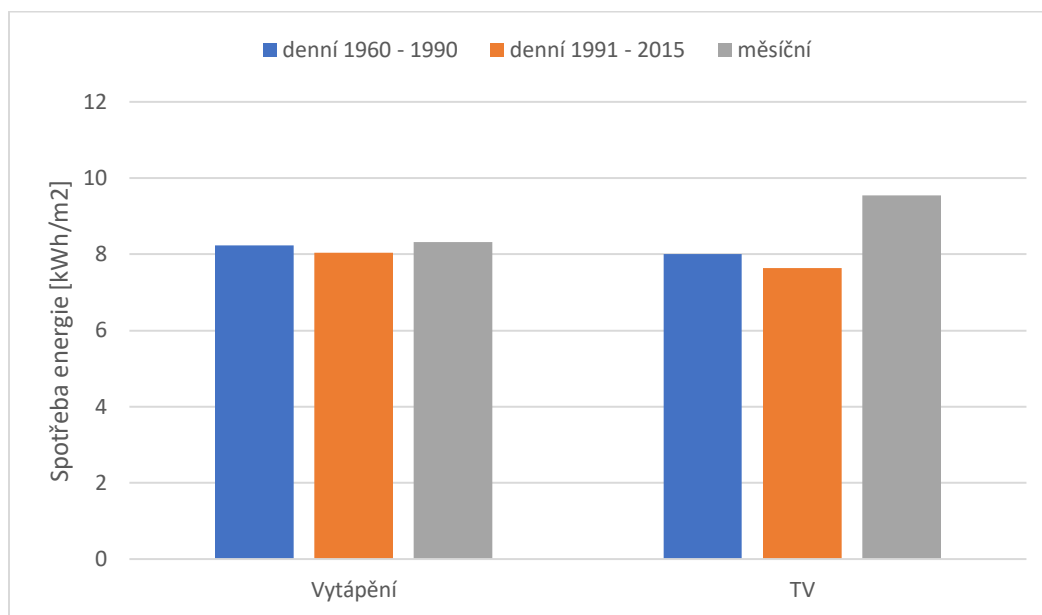
Příloha 5: Vliv klimatických dat na vytápění tepelným čerpadlem

Klimatická data:		denní 1960 - 1990		denní 1991 - 2015		měsíční	
Účinnost výroby energie:	[%]	-	99	-	99	-	99
Účinnost distribuce zdrojem tepla:	[%]	93	93	93	93	93	93
Účinnost sdílení energie na vytápění:	[%]	83	83	83	83	83	83
SCOP:	[-]	4.93	-	5.04	-	4.88	-
Potřeba energie:	[MWh]	6.52	0.00	6.52	0.00	6.52	0.00
	[kWh/m ²]	31.33	0.00	31.33	0.00	31.33	0.00
Spotřeba energie:	[MWh]	1.713	0.000	1.674	0.000	1.731	0.000
	[kWh/m ²]	8.23	0.00	8.05	0.00	8.32	0.00
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	5.655	0.000	5.526	0.000	5.712	0.000
	[kWh/m ²]	27.17	0.00	26.55	0.00	27.45	0.00
Roční náklady:	[Kč]	4415		4314		4460	

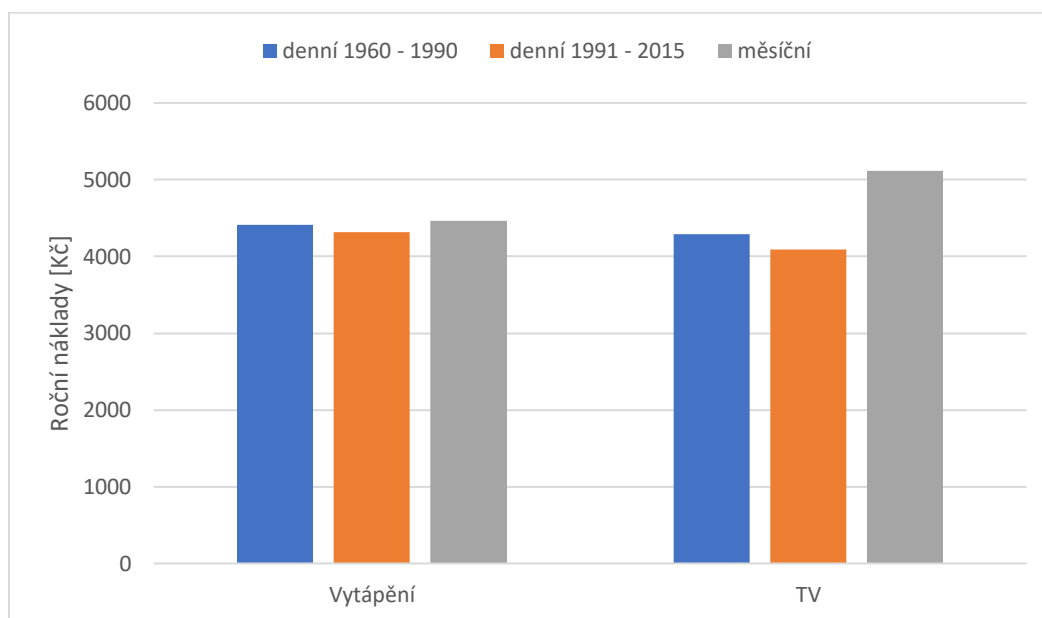
Příloha 6: Vliv klimatických dat na přípravu teplé vody tepelným čerpadlem

Klimatická data:		denní 1960 - 1990		denní 1991 - 2015		měsíční	
Účinnost výroby energie:	[%]	-	99	-	99	-	99
Měrná ztráta zásobníku	[W.h/l.den]	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
Měrná ztráta rozvodů	[W.h/m.den]	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7
SCOP:	[-]	3.58	-	3.59	-	3.44	-
Potřeba energie:	[MWh]	3.099	0.199	3.198	0.099	2.737	0.560
	[kWh/m ²]	14.89	0.96	15.37	0.48	13.15	2.69
Spotřeba energie:	[MWh]	1.465	0.201	1.489	0.100	1.420	0.566
	[kWh/m ²]	7.04	0.96	7.15	0.48	6.82	2.72
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	4.396	0.602	4.467	0.301	4.260	1.697
	[kWh/m ²]	21.12	2.89	21.46	1.45	20.47	8.16
Roční náklady:	[Kč]	4292		4094		5116	

Příloha 7: Vliv klimatických dat na spotřebu energie



Příloha 8: Vliv klimatických dat na spotřebu energie



Příloha 9: Potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody pro variantu 2

Měsíc	Počet dnů n_{dn} [den]	Počet hodin n_{hod} [hod]	Střední venkovní teplota t_e [°C]	Měrný tepelný tok prostupem celé budovy HT [W/K]	Měrný tepelný tok větráním celé budovy H_v [W/K]	Potřeba tepla větráním $Q_{H,v}$ [kWh]	Celková potřeba tepla $Q_{H,ht}$ [kWh]	Vnitřní tepelné zisky $Q_{H,int}$ [kWh]	Solární tepelné zisky $Q_{H,so}$ [kWh]	Celkové tepelné zisky $Q_{H,gn}$ [kWh]	Bilanční poměr pro režim vytápění y_h [-]	Využitelnost tepelných zisků $n_{h,gn}$ [-]	Potřeba tepla na vytápění $Q_{H,nd}$ [kWh]	Potřeba tepla na přípravu TUV Q_{TV} [kWh]	Potřeba tepla na vytápění a přípravu TUV
Leden	31	744	-1	1649.6		147.3	1796.9	282.7	241.77	524.49	0.29	0.79	1383.03	280.1	1663.09
Únor	28	672	1	1341.0		119.7	1460.7	255.4	331.22	586.58	0.40	0.73	1033.15	253.0	1286.10
Březen	31	744	4	1237.2		110.5	1347.7	282.7	600.55	883.27	0.66	0.62	801.25	280.1	1081.31
Duben	30	720	9	798.3		71.3	869.5	273.6	789.94	1063.54	1.22	0.46	379.31	271.0	650.33
Květen	31	744	14.6	363.0		32.4	395.4	282.7	960.69	1243.41	3.14	0.25	89.42	280.1	369.48
Červen	30	720	17	159.8	9.90	14.3		273.6	946.34	1219.94				271.0	271.02
Červenec	31	744	18.2	66.1		5.9		282.7	929.54	1212.26				280.1	280.05
Srpen	31	744	18.8	16.6		1.5		282.7	899.80	1182.52				280.1	280.05
Září	30	720	13.8	415.2		37.1		273.6	715.82	989.42				271.0	271.02
Říjen	31	744	9.4	791.9		70.7	862.6	282.7	491.33	774.05	0.90	0.54	444.49	280.1	724.54
Listopad	30	720	4	1197.3		106.9	1304.2	273.6	171.15	444.75	0.34	0.76	965.77	271.0	1236.79
Prosinec	31	744	-0.5	1608.4		143.6	1751.9	282.7	112.03	394.75	0.23	0.83	1424.21	280.1	1704.27
Σ				9644.4		861.0	9788.9	3328.8	7190.18	10518.98			6520.64	3297.42	9818.06 [kWh]
													31.33	15.85	47.18 [kWh/m2]

Příloha 10: Potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody referenční budovy pro variantu 2

Měsíc	Počet dnů n_{dn} [den]	Počet hodin n_{hod} [hod]	Střední venkovní teplota t_e [°C]	Měrný tepelný tok prostupem celé budovy HT [W/K]	Měrný tepelný tok větráním celé budovy H_v [W/K]	Potřeba tepla větráním $Q_{H,v}$ [kWh]	Celková potřeba tepla $Q_{H,ht}$ [kWh]	Vnitřní tepelné zisky $Q_{H,int}$ [kWh]	Solární tepelné zisky $Q_{H,so}$ [kWh]	Celkové tepelné zisky $Q_{H,gn}$ [kWh]	Bilanční poměr pro režim vytápění y_h [-]	Využitelnost tepelných zisků $n_{h,gn}$ [-]	Potřeba tepla na vytápění $Q_{H,nd}$ [kWh]	Potřeba tepla na přípravu TUV Q_{TV} [kWh]	Potřeba tepla na vytápění a přípravu TUV
Leden	31	744	-1	2538.8		582.6	3121.4	282.7	313.06	595.78	0.19	0.85	2613.08	280.1	2893.13
Únor	28	672	1	2063.8		473.6	2537.4	255.4	421.64	677.00	0.27	0.80	1993.03	253.0	2245.98
Březen	31	744	4	1904.1		437.0	2341.1	282.7	747.37	1030.09	0.44	0.71	1609.90	280.1	1889.96
Duben	30	720	9	1228.5		281.9	1510.5	273.6	976.03	1249.63	0.83	0.56	809.71	271.0	1080.73
Květen	31	744	14.6	558.7		128.2	686.9	282.7	1183.22	1465.94	2.13	0.33	208.63	280.1	488.69
Červen	30	720	17	245.9	39.15	56.4		273.6	1166.73	1440.33				271.0	271.02
Červenec	31	744	18.2	101.8		23.4		282.7	1145.43	1428.15				280.1	280.05
Srpen	31	744	18.8	25.6		5.9		282.7	1108.57	1391.29				280.1	280.05
Září	30	720	13.8	638.9		146.6		273.6	885.89	1159.49				271.0	271.02
Říjen	31	744	9.4	1218.7		279.7	1498.4	282.7	615.19	897.91	0.60	0.64	923.60	280.1	1203.65
Listopad	30	720	4	1842.7		422.9	2265.6	273.6	227.91	501.51	0.22	0.83	1847.91	271.0	2118.93
Prosinec	31	744	-0.5	2475.3		568.0	3043.3	282.7	156.05	438.77	0.14	0.89	2654.56	280.1	2934.61
Σ				14842.9		3406.1	17004.6	3328.8	8947.09	12275.89			12660.40	3297.42	15957.82 [kWh]
									60.84				15.85	76.68	76.68 [kWh/m2]

Příloha 11: Potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody pro variantu 1

Měsíc	Počet dnů n_{dn} [den]	Počet hodin n_{hod} [hod]	Střední venkovní teplota t_e [°C]	Měrný tepelný tok prostupem celé budovy HT [W/K]	Potřeba tepla prostupem $Q_{H,pr}$ [kWh]	Měrný tepelný tok větráním celé budovy H_v [W/K]	Potřeba tepla větráním $Q_{H,v}$ [kWh]	Celková potřeba tepla $Q_{H,kt}$ [kWh]	Vnitřní tepelné zisky $Q_{H,int}$ [kWh]	Solární tepelné zisky $Q_{H,so}$ [kWh]	Celkové tepelné zisky $Q_{H,gn}$ [kWh]	Bilanciální poměr pro režim vytápění y_h [-]	Využitelnost tepelných zisků $n_{h,gn}$ [-]	Potřeba tepla na vytápění $Q_{H,nd}$ [kWh]	Potřeba tepla na přípravu TUV Q_{TV} [kWh]	Potřeba tepla na vytápění a přípravu TUV [kWh]
Leden	31	744	-1	1851.1	147.3	1998.4	282.7	278.73	561.45	0.80	1551.73	280.1	1831.79	280.1	1831.79	
Únor	28	672	1	1504.8	119.7	1624.5	255.4	382.20	637.56	0.39	1156.83	253.0	1409.78	253.0	1409.78	
Březen	31	744	4	1388.4	110.5	1498.8	282.7	693.15	975.87	0.65	893.55	280.1	1173.60	280.1	1173.60	
Duben	30	720	9	895.8	71.3	967.0	273.6	912.36	1185.96	1.23	421.20	271.0	692.22	271.0	692.22	
Květen	31	744	14.6	407.4	32.4	439.8	282.7	1110.41	1393.13	3.17	98.87	280.1	378.92	280.1	378.92	
Červen	30	720	17	179.3	14.3	194.6	282.7	1074.70	1367.80	-	271.0	271.0	271.0	271.0	271.0	
Červenec	31	744	18.2	74.2	5.9	79.1	282.7	1039.64	1322.36	-	280.1	280.1	280.1	280.1	280.1	
Srpen	31	744	18.8	18.7	1.5	19.2	282.7	826.22	1099.82	-	271.0	271.0	271.0	271.0	271.0	
Září	30	720	13.8	465.9	37.1	503.0	282.7	566.77	849.49	0.89	497.60	280.1	777.66	280.1	777.66	
Říjen	31	744	9.4	888.6	70.7	959.3	282.7	1450.5	197.75	0.32	1087.58	271.0	1358.60	271.0	1358.60	
Listopad	30	720	4	1343.6	106.9	1450.5	282.7	1948.4	412.29	0.21	1602.42	280.1	1882.48	280.1	1882.48	
Prosinec	31	744	-0.5	1804.8	143.6	1948.4	282.7	129.57	412.29	0.21	1602.42	280.1	1882.48	280.1	1882.48	
Σ				10822.6	861.0	10886.8	3328.8	8305.69	11634.49		7309.78	3297.42	10607.20	16.22	52.19	

Příloha 12: Potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody pro variantu 3

Měsíc	Počet dnů n_{dn} [den]	Počet hodin n_{hod} [hod]	Střední venkovní teplota t_e [°C]	Měrný tepelný tok prostupem celé budovy HT [W/K]	Potřeba tepla prostupem $Q_{H,pr}$ [kWh]	Měrný tepelný tok větráním celé budovy H_v [W/K]	Potřeba tepla větráním $Q_{H,v}$ [kWh]	Celková potřeba tepla $Q_{H,kt}$ [kWh]	Vnitřní tepelné zisky $Q_{H,int}$ [kWh]	Solární tepelné zisky $Q_{H,so}$ [kWh]	Celkové tepelné zisky $Q_{H,gn}$ [kWh]	Bilanciální poměr pro režim vytápění y_h [-]	Využitelnost tepelných zisků $n_{h,gn}$ [-]	Potřeba tepla na vytápění $Q_{H,nd}$ [kWh]	Potřeba tepla na přípravu TUV Q_{TV} [kWh]	Potřeba tepla na vytápění a přípravu TUV [kWh]
Leden	31	744	-1	1567.4	147.3	1714.6	282.7	244.18	526.90	0.31	1303.63	280.1	1583.69	280.1	1583.69	
Únor	28	672	1	1274.1	119.7	1393.8	255.4	331.92	587.28	0.42	971.60	253.0	1224.55	253.0	1224.55	
Březen	31	744	4	1175.6	110.5	1286.0	282.7	596.89	879.61	0.68	751.00	280.1	1031.05	280.1	1031.05	
Duben	30	720	9	758.5	71.3	829.7	273.6	782.65	1056.25	1.27	353.59	271.0	624.61	271.0	624.61	
Květen	31	744	14.6	344.9	32.4	377.3	282.7	949.37	1232.09	3.27	82.78	280.1	362.84	280.1	362.84	
Červen	30	720	17	151.8	14.3	166.1	282.7	1208.30	1208.30	-	271.0	271.0	271.0	271.0	271.0	
Červenec	31	744	18.2	62.8	5.9	68.7	282.7	918.46	1201.18	-	280.1	280.1	280.1	280.1	280.1	
Srpen	31	744	18.8	15.8	1.5	17.3	282.7	890.16	1172.88	-	280.1	280.1	280.1	280.1	280.1	
Září	30	720	13.8	394.5	37.1	431.6	282.7	710.40	984.00	0.94	414.71	280.1	694.77	280.1	694.77	
Říjen	31	744	9.4	752.4	70.7	823.1	282.7	489.70	772.42	0.36	908.47	271.0	1179.49	271.0	1179.49	
Listopad	30	720	4	1137.6	106.9	1244.5	273.6	173.98	447.58	0.82	1344.27	280.1	1624.32	280.1	1624.32	
Prosinec	31	744	-0.5	1528.2	143.6	1671.8	282.7	115.76	398.48	0.24	6130.06	3297.42	9427.48	3297.42	9427.48	
Σ				9163.5	861.0	9340.9	3328.8	7138.17	10466.97		27.74	14.92	42.65			