

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

STUDIE VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Brokeš** Jméno: **Kryštof** Osobní číslo: **437701**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Technika životního prostředí**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Studie vytápění rodinného domu

Název bakalářské práce anglicky:

Study of Heating for a Family House

Pokyny pro vypracování:

Studie energetické náročnosti rodinného domu z pohledu vytápění a přípravy teplé vody. Na příkladu rodinného domu zpracujte návrh tepelně-technických vlastností konstrukcí domu splňující požadavky dle ČSN 73 0540. Pro jednotlivé příklady stanovte potřebu tepla na vytápění dle ČSN EN ISO 13 790. Sestavte výpočetní model pro využití zdrojů tepla jak pro vytápění tak i přípravu teplé vody, kde bude použito tepelné čerpadlo vzduch-voda, kotel na biomasu a plynový kondenzační kotel. Výsledky porovnejte jak z technického tak ekonomického hlediska.

Seznam doporučené literatury:

- 1) ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov ? Část 2: Požadavky. Český normalizační institut. 2011.
- 2) ČSN EN 12 831: Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu. Český normalizační institut. 2005.
- 3) ČSN EN ISO 13 790: Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení. Český normalizační institut. 2009.
- 4) Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov.
- 5) Brož. K.: Vytápění. Vydavatelství ČVUT, 2002. 205 s. ISBN 80-01-02536-5.

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: **26.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **22.06.2018**

Platnost zadání bakalářské práce:

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

doc. Ing. Vladimír Zmřhal, 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.

26.4.2018
Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Souhrn

Předmětem bakalářské práce „Studie vytápění rodinného domu“ je studie energetické náročnosti rodinného domu z pohledu ústředního vytápění a přípravy teplé vody. Metoda výpočtu tepelných ztrát v souladu s ČSN EN 12 831 a potřeby tepla na vytápění dle normy ČSN EN ISO 13 790 je aplikována na zvoleném rodinném domu ve třech variantách splňující požadované, doporučené hodnoty a doporučené hodnoty pro pasivní budovy dle normy ČSN 73 0540-2. Hodnoty jednotlivých variant jsou docíleny návrhem tepelně-technických vlastností jednotlivých konstrukcí pouze změnou tloušťky izolace.

Dále je sestaven výpočetní model s použitím tří zdrojů tepla pro vytápění a přípravu teplé vody. Tepelné čerpadlo vzduch-voda, kotel na biomasu a plynový kondenzační kotel. Práce je rozšířena o oddělenou variantu s použitím solárních kolektorů k přípravě teplé vody v kombinaci s plynovým kondenzačním kotlem a kotlem na biomasu. Nakonec jsou výsledky zhodnoceny a porovnány z technického a ekonomického hlediska.

Summary

The subject of the Bachelor thesis “The studies of heating a detached house” is a study on the energetic demands of a detached house from the perspective of the central heating and the water heating. The method of calculation of thermal losses in conformity with “ČSN EN 12 831” and heat needs of heating according to the standard “ČSN EN ISO 13 790” is applied on the chosen detached house in 3 different ways. All ways fulfil the requirements, the recommendation and the recommended values for passive buildings according to the standard “ČSN 73 0540-2“. Values for each variation are achieved by the design of thermo-technical attributes of each construction only by changing the thickness of the isolation.

Further, a computational model is created with the use of 3 heat sources for the central heating and the water heating. 3 heat sources are a heat pump air-water, a biomass boiler and a gas condensing boiler. The thesis is extended by a separate variant with the use of the solar collectors for water heating together with the gas condensing boiler and the biomass boiler. Finally, results are evaluated and compared from the technical and economical view.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem uvedenou bakalářskou práci pod názvem: „Studie vytápění rodinného domu“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Vavříčky, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne 22. 06. 2018

.....

Kryštof Brokeš

Poděkování

Toto poděkování patří všem, kteří mě po dobu tvorby bakalářské práce podporovali. Obzvláště děkuji svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Romanu Vavříčkovi, Ph.D., který vynaložil maximální úsilí při konzultacích a poskytl mi dostačující materiály pro napsání této práce. V neposlední řadě bych rád věnoval poděkování svým nejbližším: partnerce, rodině a přátelům za morální a materiální podporu.

Obsah

1	Úvod	14
2	Energetická náročnost budov	16
2.1.	Kategorizace a porovnání budov	16
2.1.1.	Budovy v 70. a 80. letech a současné běžné budovy	18
2.1.2.	Nízkoenergetické a pasivní domy	19
2.1.3.	Nulový a plusový dům	20
3	Volba rodinného domu	22
4	Řešení stavebních konstrukcí	25
4.1.	Neprůsvitné konstrukce	25
4.1.1.	Obvodová stěna	25
4.1.2.	Vnitřní příčky	27
4.1.3.	Podlaha přilehlá k zemině	28
4.1.4.	Strop a podlaha	29
4.1.5.	Střešní konstrukce	30
4.1.6.	Okna a dveře	31
5	Zateplení stavebních konstrukcí	33
6	Výpočet tepelných ztrát	34
6.1.	ČSN EN 12 831	34
6.2.	Tepelná ztráta prostupem tepla	35
6.2.1.	Součinitel prostupu tepla	36
6.2.2.	Součinitel tepelné ztráty prostupem	42
6.2.3.	Tepelné mosty	43
6.3.	Tepelná ztráta větráním	45
6.3.1.	Součinitel tepelné ztráty větráním	46
6.4.	Výsledné vypočtené tepelné ztráty	48

7	Výpočet potřeby tepla	49
7.1.	ČSN EN ISO 13 790	49
7.2.	Potřeba tepla na vytápění	49
7.2.1.	Celková potřeba tepla	50
7.2.2.	Tepelné zisky	51
7.2.3.	Využitelnost tepelných zisků	57
7.2.4.	Výsledná vypočtená potřeba tepla na vytápění.....	60
7.3.	Potřeba tepla na přípravu teplé vody.....	61
7.3.1.	Využití solárních kolektorů na přípravu teplé vody	62
7.4.	Srovnání potřeb tepla	64
8	Náklady a investice	67
8.1.	Určení ceny hrubé stavby.....	67
8.2.	Určení ceny zateplení	68
8.3.	Určení ceny oken a dveří.....	69
8.4.	Určení ceny energií na vytápění a přípravu teplé vody.....	71
8.4.1.	Tepelné čerpadlo	71
8.4.2.	Kotel na biomasu	76
8.4.3.	Plynový kondenzační kotel	77
8.4.4.	Využití solárních kolektorů	78
8.5.	Návratnost investic	79
9	Závěr	84
10	Seznam použité literatury	87
10.1.	Knižní publikace.....	87
10.2.	Elektronické zdroje	87
10.3.	Použité normy	90
11	Seznam obrázků	91
12	Seznam tabulek	93

13 Přílohy	95
13.1. Příloha 1 Výsledné tepelné ztráty	95
13.2. Příloha 2 Výsledné solární zisky	96
13.3. Příloha 3 Výsledná potřeba tepla	98
13.4. Příloha 4 Tabulky dodavatele energií	100

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

Značka	Jednotka	Veličina
<i>A</i>	[m ²]	účinná sběrná plocha s danou orientací a úhlem sklonu
<i>B</i>	[m]	charakteristický parametr podlahy
<i>C</i>	[J/K]	vnitřní tepelná kapacita
<i>F</i>	[1]	faktor osálení, korekce
<i>H</i>	[W/K], [Wh/kg]	součinitel tepelné ztráty, výhřevnost
<i>I</i>	[W/m ²]	ozáření za jednotku času
<i>L</i>	[m]	délka
<i>O</i>	[m]	obvod
<i>Q</i>	[kWh]	potřeba tepla
<i>R</i>	[m ² . K/W]	tepelný odpor
<i>S</i>	[m ²]	plocha
<i>U</i>	[W/m ² . K]	součinitel prostupu tepla
<i>V</i>	[m ³]	objem
<i>Ů</i>	[m ³ /h]	množství vzduchu, výměna vzduchu
<i>COP</i>	[1]	topný faktor
<i>SPF</i>	[1]	sezónní topný faktor
<i>a</i>	[1]	časový parametr, faktor
<i>b</i>	[1]	teplotní redukční činitel

c	[J/kg. K]	měrná tepelná kapacita vzduchu při vnitřní teplotě
d	[m], [1]	tloušťka podlahy, počet dnů
g	[1]	propustnost zasklení
h	[W/m ² . K]	součinitel přestupu tepla
f	[1]	teplotní redukční korekční činitel, přítomnost osob
k	[1]	koeficient
m	[kg]	množství, hmotnost
n	[1/h], [1]	intenzita výměny venkovního vzduchu, počet
s	[m]	tloušťka stěny stavební konstrukce
t	[°C]	teplota
w	[m]	tloušťka obvodové stěny
z	[1]	poměrná ztráta tepla pro přípravu teplé vody
θ	[°C]	výpočtová teplota
Φ	[W]	tepelná ztráta, tepelný zisk, přídavný tepelný tok
α	[1]	pohltivost slunečního záření
γ	[1]	bilanční poměr
Δt	[°C]	střední rozdíl teploty
η	[1]	účinnost, faktor využitelnosti
λ	[W/m. K]	součinitel tepelné vodivosti

ρ	[kg/m ³]	hustota vzduchu při vnitřní teplotě
τ	[hod]	časová konstanta
ψ	[W/m. K]	součinitel lineárního prostupu tepla

INDEXY

Značka	Index
0	bezrozměrný, referenční
H	vytápění
N	doporučené hodnoty
O	regulace, ovládání
P	požadované hodnoty
R	rozvody
T	prostup
V	větrání
Z	zdroj
KB	kotel na biomasu
KK	plynový kondenzační kotel
SV	studená voda
TČ	tepelné čerpadlo
TV	teplá voda
PAS	hodnoty pro pasivní budovy

c	celkový, neprůhledné části
e	venkovní
f	podlaha, podíl plochy rámu
i	z vytápěného prostoru do venkovního, vnitřní
l	lineární tepelný most
m	budova
n	výsledný
o	spotřebiče a osvětlení
r	sálání, osálání
s	průměrný, střední, spotřeba
t	ekvivalentní
u	nevytápěný prostor
w	zasklení
z	zemina
gl	průsvitné průhledné konstrukce
gn	tepelné zisky
ig	z vytápěného prostoru do zeminy
ij	z vytápěného prostoru do sousedního prostoru na výrazně jinou teplotu
os	osoby
se	přestup tepla vnější
sh	stínění na externí překážky

si	přestup tepla vnitřní
sp	vytápěný sousední prostor
int	vnitřní
iue	z vytápěného prostoru do venkovního nevytápěným prostorem
red	redukční
sol	sluneční, solární
zzt	zpětné získávání tepla, rekuperační jednotka

1 Úvod

V současné době se již několik let mluví o energeticky úsporných budovách, jejichž charakteristikou je maximální snížení potřeby tepla na vytápění, ať už z hlediska redukce nákladů a úspory financí, tak i z důvodu ekologického a globálního ve smyslu snížení produkce oxidu uhličitého CO_2 . Konkrétně tyto budovy zahrnují nízkoenergetické, pasivní, nulové a aktivní stavby, jejichž hlavním kritériem hodnocení dle energetické náročnosti budov je právě měrná potřeba tepla na vytápění vztažená na 1 m^2 energeticky vztažené plochy.

Hlavní myšlenkou bakalářské práce je ukázat, čím se vyznačuje energeticky úsporný dům včetně jeho realizací a porovnat mezi sebou různé kombinace variant jednotlivých konstrukcí rodinného domu vyhovující požadavkům normy ČSN 73 0540-2 a zdrojů tepla pro vytápění, ať už z pohledu hospodárnosti objektu, tedy snížení provozních nákladů, tak i z technického hlediska.

V jednotlivých kapitolách se budu věnovat zvolenému virtuálnímu rodinnému domu, pro který zprvu navrhnu materiálové složení jednotlivých stavebních konstrukcí a následně spočítám jejich součinitele prostupu tepla U . Okna a dveře navrhnu pouze z hlediska délkových a šířkových rozměrů. Konkrétní součinitele prostupu tepla U použiji z katalogů výrobců okenních a dveřních konstrukcí. Pokračovat budu ve výpočtu celkové tepelné ztráty dle normy ČSN EN 12 831, kde se zaměřím na vliv tepelných mostů při prostupu tepla konstrukcemi rodinného domu a na zpětné získávání tepla skrze použití rekuperační jednotky zohledněné při výpočtu. Pro hodnocení energetické náročnosti budovy je nezbytné zjistit měrnou potřebu tepla na vytápění. Výpočet bude stanoven podle normy ČSN EN ISO 13 790, kde se budu zabývat především vnitřními a vnějšími solárními tepelnými zisky snižující potřebu tepla a faktory, jimiž jsou ovlivňovány. V normě ČSN 73 0540-2 jsou uvedeny součinitelé prostupu tepla pro požadované, doporučené hodnoty a doporučené hodnoty pro pasivní domy.

Pro každou variantu určím vhodnou tloušťku izolace tak, aby vyhovovala daným požadavkům legislativy. Vrstvu zateplení budu měnit pouze u konstrukcí oddělující vnitřní prostředí od vnějšího, jelikož konstrukce interiéru mají na tepelnou ztrátu minimální vliv. V neposlední řadě zvolím variaci zdrojů tepla sloužící jak pro vytápění, tak pro přípravu teplé vody, která bude obsahovat tepelné čerpadlo, kotel na biomasu a plynový kondenzační kotel. Nakonec porovnáím veškeré kombinace variant požadavků součinitelů prostupu tepla dle normy ČSN 73 0540-2 a tepelných zdrojů a vyhodnotím nejvhodnější řešení navrhnutého rodinného domu z hlediska potřeby tepla na vytápění, respektive tepelných ztrát, celkových investic a doby návratnosti.

V závěru práce shrnu veškeré stěžejní znalosti nabyté vypracováním této rešerše, neboť cílem bakalářské práce je také zhodnotit výsledky výpočtové části a předložit možné optimální řešení při kombinaci všech použitých variant.

2 Energetická náročnost budov

Největším spotřebitelem veškeré energie v Evropě jsou právě budovy, které ji využívají pro vytápění, klimatizaci, osvětlení, přípravu teplé vody, větrání a úpravy vzduchu. Všechny tyto položky dohromady tvoří až 40 % energetické spotřeby Evropy za rok a toto procento bude nadále stoupat vzhledem ke zvyšujícímu se počtu budov. Je tedy zjevné, že snižování energetické náročnosti budov je důležitým cílem, který EU stanovila již v roce 2000. V květnu roku 2010 byla schválena směrnice o energetické náročnosti budov (EPDB II), díky které se zefektivnil výzkum a vývoj efektivnějších a úspornějších technologií, ale na druhou stranu může v některých případech způsobit ekonomické potíže a s tím související ohrožení dostupnosti energií, protože nové úsporné technologie bývají často dražší, a tedy dostupné pro menší počet obyvatel.

Podle aktuálního znění zmíněné evropské směrnice se musí do roku 2020 projektovat budovy s výrazně nižší energetickou spotřebou, což by dle EU mělo přinést snížení spotřeby energie budovami až o 20 %. Energetické hledisko ale není jediné, důležitou roli také hraje pohled ekonomický – tedy jednoduše snaha ušetřit; a otázka ekologická – snižování emisí (především oxidu uhličitého).

Nízkoenergetické a pasivní stavby se tak stávají novodobým evropským trendem a od roku 2020 by se tak teoreticky dle EU měly stavět všechny nové budovy s oficiálním názvem „budovy s téměř nulovou spotřebou energie“. [5]

2.1. Kategorizace a porovnání budov

K hodnocení energetické náročnosti všech budov se používají výpočty, jejichž výsledek určuje kategorii na tzv. „energetickém štítku budovy“. Kategorie jsou označeny písmeny A až G, kdy A je nejúspornější budova (též „mimořádně úsporná“) a její potřeba energie např. na vytápění nepřekračuje 51 kWh/m² za rok. Na druhé straně označení G znamená mimořádně nevhodnou budovu s potřebou energie na vytápění vyšší než 286 kWh/m² za rok.

V současné době existují 2 základní druhy rodinných domů dle energetické náročnosti: standardní běžný dům a energeticky úsporný dům. Současný běžný dům spadá dle energetické náročnosti budov do skupiny C. Co se týče energeticky úsporného domu patří do kategorií A a B a dělí se na další 4 druhy dle potřeby na vytápění: nízkoenergetický dům, energeticky pasivní dům, energeticky nulový dům a dům s energetickým přebytkem. Jednotlivé druhy budou samostatně popsány v následujících kapitolách. [2]

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

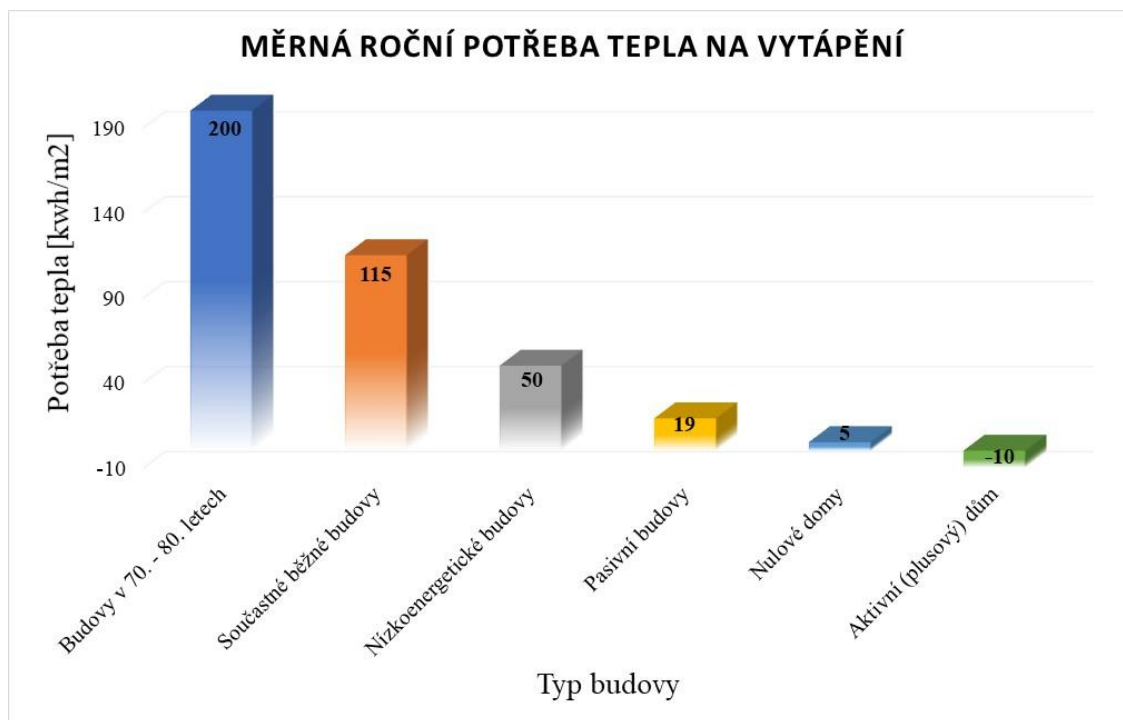
vydaný podle zákona č. 406/2012 Sb., o hospodaření energií, a vyhlášky č. 148/2012 Sb., o energetické náročnosti budov

Ulice, číslo: PSČ, místo: Typ budovy: Plocha obálky budovy: m ² Obestavěný prostor: m ³ Objemový faktor tvaru A/V: m ³ /m ³ Energetická vztažná plocha: m ²	
--	--

ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY

Celková dodaná energie (Energie na vstupu do budovy)	Neobnovitelná primární energie (Vliv provozu budovy na životní prostředí)																																																																																				
Měrná hodnota kWh/(m ² ·rok)																																																																																					
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">A</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Mimořádně úsporná</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Dop.</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">A</td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Dop.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">Velmi úsporná</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">Úsporná</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">D</td> <td style="text-align: center;">Nehospodárna</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">D</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E</td> <td style="text-align: center;">Nehospodárna</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">E</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F</td> <td style="text-align: center;">Velmi nehospodárna</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">F</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">G</td> <td style="text-align: center;">Mimořádně nehospodárna</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">G</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> </tr> </table>	A	Mimořádně úsporná	Dop.	A		Dop.	B	Velmi úsporná	XXX	B	XXX	XXX	C	Úsporná	XXX	C	XXX	XXX	D	Nehospodárna	XXX	D	XXX	XXX	E	Nehospodárna	XXX	E	XXX	XXX	F	Velmi nehospodárna	XXX	F	XXX	XXX	G	Mimořádně nehospodárna	XXX	G	XXX	XXX	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> <td style="text-align: center;">XXX</td> </tr> </table>							XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
A	Mimořádně úsporná	Dop.	A		Dop.																																																																																
B	Velmi úsporná	XXX	B	XXX	XXX																																																																																
C	Úsporná	XXX	C	XXX	XXX																																																																																
D	Nehospodárna	XXX	D	XXX	XXX																																																																																
E	Nehospodárna	XXX	E	XXX	XXX																																																																																
F	Velmi nehospodárna	XXX	F	XXX	XXX																																																																																
G	Mimořádně nehospodárna	XXX	G	XXX	XXX																																																																																
XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX																																																																																
XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX																																																																																
XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX																																																																																
XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX																																																																																
XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX																																																																																
XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX																																																																																
Hodnota pro celou budovu kWh/rok																																																																																					
Celková dodaná energie	XXXX	Neobnovitelná primární energie	XXXX																																																																																		

Obr. 1 Energetický štítek budovy [6]



Obr. 2 Měrná roční potřeba tepla na vytápění pro jednotlivé kategorie budov

2.1.1. Budovy v 70. a 80. letech a současné běžné budovy

Pro domy v 70. a 80. letech bylo z energetického hlediska charakteristické, že používaly zastaralé otopné soustavy, vytápění produkovalo samo o sobě velké množství emisí, a navíc se kvůli špatné tepelné izolaci muselo přetápět. Větralo se výhradně pouhým otevřením oken, tzv. přirozeným větráním. Měrná potřeba tepla na vytápění většinou převyšovala 200 kWh/m² za rok.

Na druhou stranu současné běžné budovy, které jsou z hlediska energetické náročnosti budov vyhovující, lze stále postavit, avšak budou se řadit do kategorie C dle energetického průkazu, což znamená, že budou jedny z nejhorších budov mezi novostavbami, co se týče jejich vlastností a parametrů. Jejich měrná potřeba tepla na vytápění se pohybuje okolo 115 kWh/m² za rok. V současnosti se od těchto staveb odklání a přechází se na nízkoenergetický či pasivní standard.

2.1.2. Nízkoenergetické a pasivní domy

Definovat hranici, kdy se jedná o nízkoenergetický dům a kdy o pasivní není zas tak těžké i přesto, že odlišnost je ve složitosti konstrukce, tepelně izolačních vlastností objektu, v úspoře energií, respektive v požadavcích na součinitele prostupu tepla, a vzduchotěsnosti.

Do kategorie nízkoenergetických budov spadají domy s potřebou tepla nepřevyšující hodnotu 50 kWh/m² za rok. Dle energetického štítku spadají do kategorie A. Konstrukce domu musí být navržena alespoň na doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla dle normy ČSN 73 0540-2.

Dalším důležitým faktorem charakterizující tento typ budovy je správnost umístění budovy na pozemku tak, aby budova mohla přijímat co největší množství solárních zisků z jižní strany, případně ze západní. Každý úsporný dům by měl mít co nejjednodušší tvar, ideálně kvádr s plochou či pultovou střechou, pro dosažení co nejmenšího povrchu pláště vůči obestavenému prostoru. Se zaměřením na zóny v objektu by se obytné místnosti měly situovat do osluněných částí, kdežto ostatní místnosti, jako je například šatna, chodba nebo úložné prostory, by měly být umístěny na opačnou stranu. Takzvané mokré provozy, do kterých patří koupelna nebo záchod, by měly být ideálně zrealizovány nad sebou s použitím jedné stoupačky. Ostatní části objektu jsou od budovy tepelně odděleny (garáž, suterén).

Nejdůležitějším prvkem charakterizující tento typ budov je dostatečná vrstva tepelná izolace, která musí zamezit vznik tepelných mostů, aby nevznikaly příliš velké tepelné ztráty při průchodu obálkou domu. Dalším kritickým faktorem jsou zasklené konstrukce, jejichž otvory způsobují až 40 % tepelných ztrát celé budovy. Plochou oken není potřeba šetřit z důvodu větších solárních zisků. Plocha oken je taktéž optimalizována podle světové strany, na kterou je okno instalováno. Parametry zasklení jsou navrhovány minimálně na doporučené hodnoty součinitelů prostupu tepla.

Nízkoenergetický dům by měl být pokud možno vzduchotěsný, což znamená, že má splňovat určité požadavky na šíření vzduchu konstrukcí. Častým řešením je použití nuceného větrání s rekuperační jednotkou. Samozřejmě není vyloučená volba klasického přirozeného větrání okny.

A čím je odlišný pasivní dům od energetického? Pasivní dům má především zlepšenou tepelnou obálku, díky které jsou téměř eliminovány tepelné mosty. Ovšem toho lze docílit pouze skrze složitější konstrukční detaily. Součinitelé prostupu tepla jakékoliv konstrukce oddělující vnitřní prostředí od venkovního nesmí překračovat hodnoty pro pasivní budovy. U takto kvalitně zateplených domů začínají hrát velkou roli vnitřní tepelné zisky v pozitivním slova smyslu. Přispívají nám ke snížení potřeby tepla na vytápění. Roční měrná potřeba tepla na vytápění by neměla přesahovat 19 kWh/m^2 .

Pasivní dům má ještě přísnější hodnoty neprůvzdušnosti ve srovnání s nízkoenergetickým domem, jelikož musí být prakticky vzduchotěsný po celou životnost stavby. Také musí být zajištěn rekuperační výměník pro zpětně získávání tepla nejlépe s minimální účinností 75 %.

Bylo by vhodné v celém objektu používat úsporné spotřebiče s označením A na energetickém štítku, čímž můžeme dosáhnout až 50 % úspory elektrické energie. [1]

2.1.3. Nulový a plusový dům

Energicky nulová budova není budova bez potřeby vytápět ani bez potřeby vnější energie. Jedná se o dům, který je bilančně nulový z pohledu primární energie. Je charakterizována maximální hodnotou, která nesmí přesáhnout hodnotu 5 kWh/m^2 . Teoreticky by se tepelné zisky domu měly rovnat tepelným ztrátám. Celý koncept nulových domů je velmi blízký pasivním domům, pouze limity pro spotřebu tepla jsou přísnější. Tepelná energie je získávána ze stejných zdrojů jako u pasivních budov.

V klimatických podmínkách České republiky nelze z pasivního domu přejít na nulový samotným vylepšením tepelné izolace, ale je nezbytná instalace obnovitelných zdrojů energie z pohledu bilance primární energie např. fotovoltaických panelů či solárních kolektorů. V letních měsících se tak získá nadbytek elektrické energie, který se spotřebuje v období zimy, přičemž energie získaná i spotřebovaná by měly být stejné.

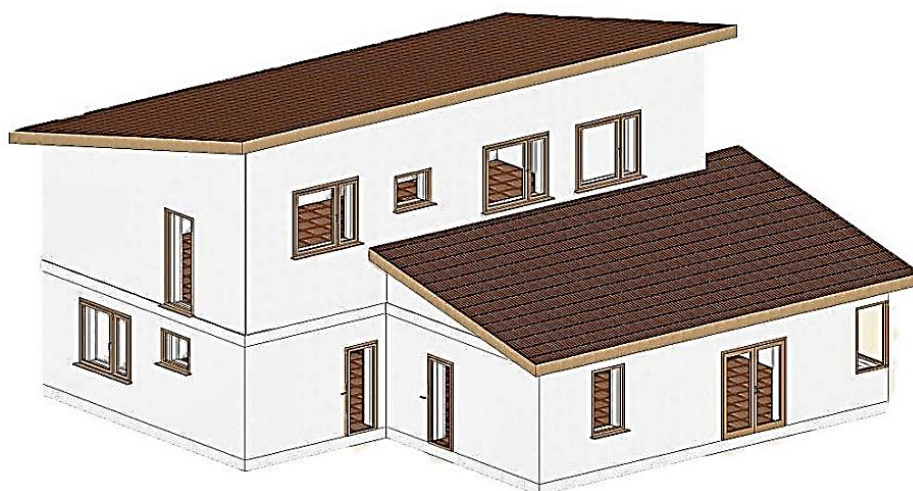
Instalace fotovoltaických panelů nebo solárních kolektorů je ale poměrně finančně nákladná, takže výsledná ekonomická efektivita se ztrácí v porovnání s nulovým domem v teplejších podmínkách, kde instalace dalšího zařízení pro získání energie není nutná.

Naopak dům s energetickým přebytkem, jinak nazýván také aktivní plusový dům, vyrábí více energie, než sám spotřebuje. Takového stavu lze dosáhnout i z pasivních budov, u kterých se dodatečně vyrábí dostatek energie z obnovitelných zdrojů (např. pomocí zmíněných fotovoltaických panelů nebo solárních kolektorů). Solární energie bývá u aktivních domů využívána nejčastěji. Takové přebytky mohou být buď akumulovány nebo dále distribuovány ke spotřebě. Aktivní domy mají také velkou plochu pokrytou okny, přibližně 40 % podlahové plochy domu, což je přibližně dvojnásobek oproti standardním domům. Celkově jsou tedy tyto domy světlejší a vzdušnější. Náklady na provoz takového domu jsou sice vyšší, ale lze je snadno vyrovnat prodejem energetických přebytků.

Energeticky nezávislý dům je speciální kategorie, kdy budova není závislá na elektrických rozvodových sítích. Na rozdíl od nulového domu zde není hranice pro maximální potřebu, jelikož tyto domy zpravidla nemají k rozvodové síti vůbec přístup. Jde tedy o budovu zcela energeticky soběstačnou nejen z hlediska vytápění a používá se u různých staveb na odlehlých místech, např. některé horské chaty nebo meteorologické stanice. [7]

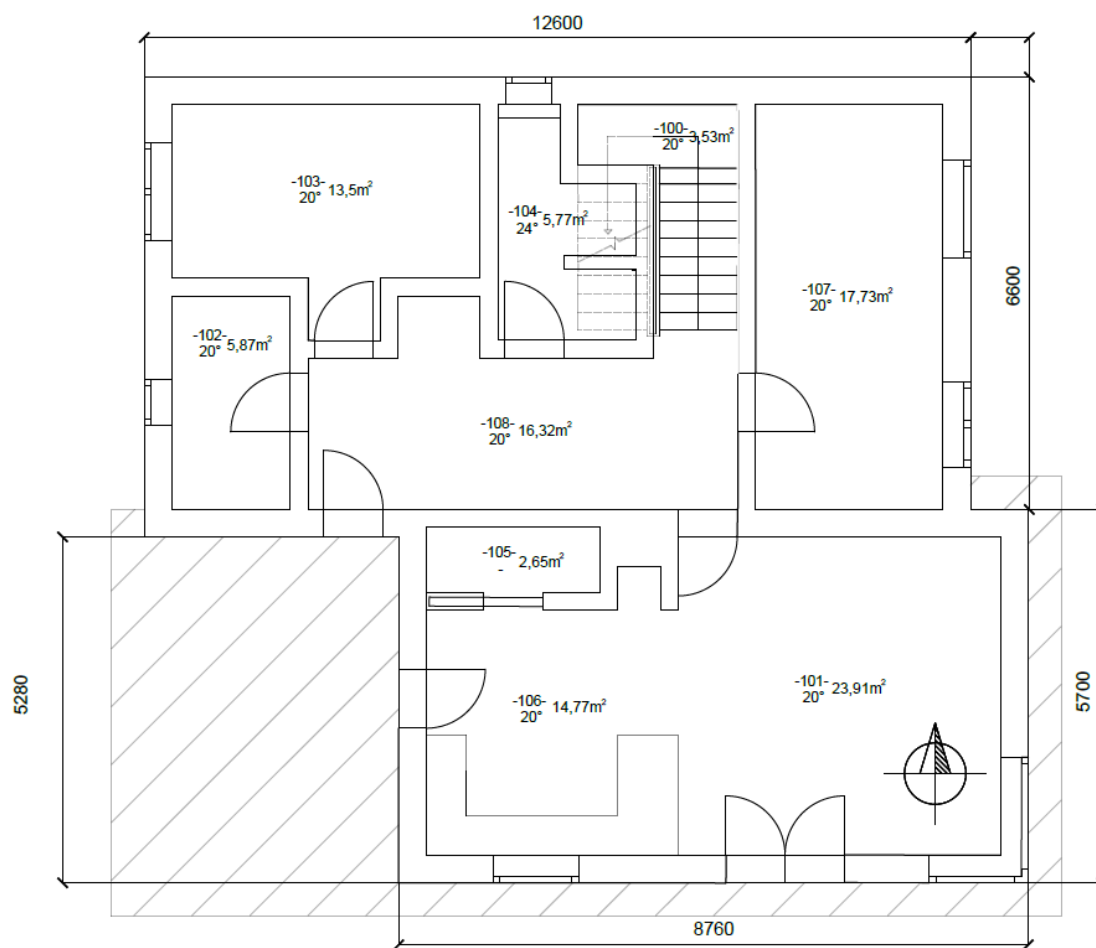
3 Volba rodinného domu

Stavebním kamenem této bakalářské práce je výběr architektonického objektu, který splňuje následující kritéria. Zvolen byl virtuální rodinný dům Aygon z katalogu projektů a domů GSERVIS se dvěma nadzemními podlažními, přízemím a podkrovím. [8]

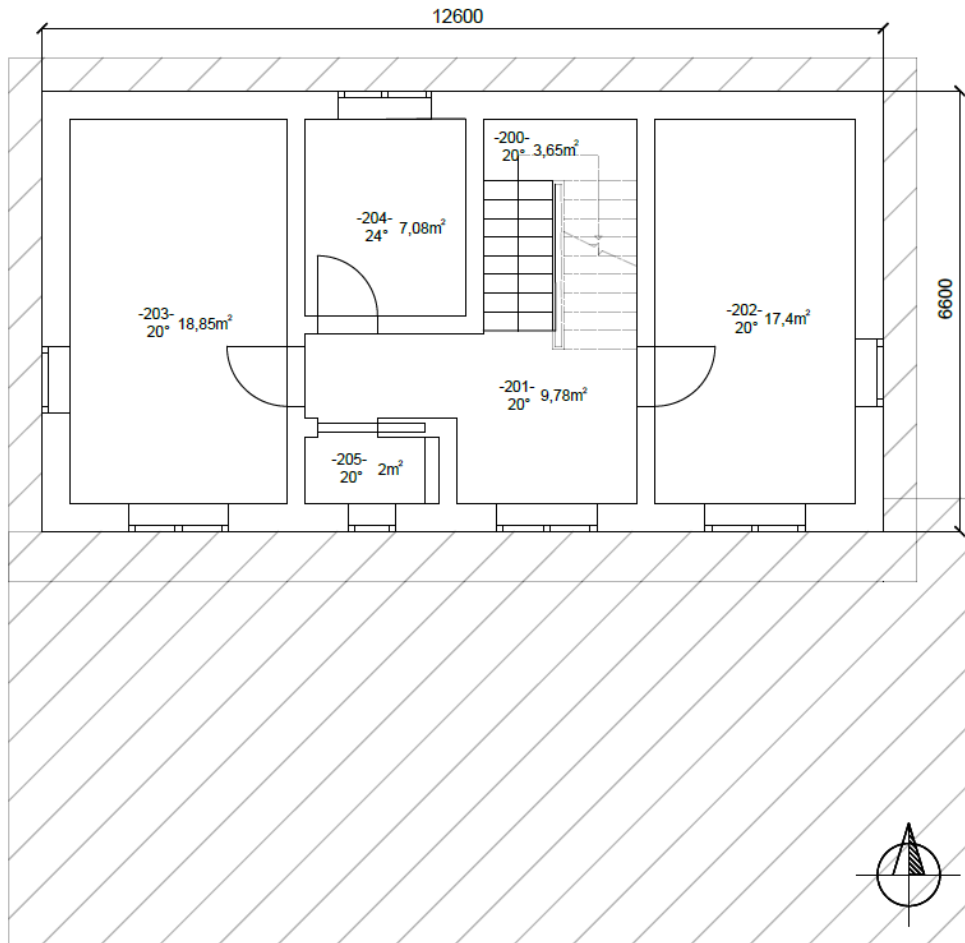


Obr. 3 Vizualizace rodinného domu

Zásadním neměnným parametrem je celková navržená užitná plocha všech místností rodinného domu, která činí 163 m². Pro výpočet je uvažována plochá střešní konstrukce se sklonem 0°. Z hlediska průhledných konstrukcí má objekt 14 oken a 3 vchodové dveře. Interiér přízemí je tvořen 8 očíslovanými místnostmi 100 až 108 s hlavním vchodem nasměrovaným na jižní stranu. Půdorys prvního podlaží je znázorněn na obrázku číslo 4, kde jsou také vyobrazeny jednotlivé vnitřní výpočtové teploty místností včetně jejich ploch. To samé je zobrazeno v půdoryse druhého podlaží na obrázku číslo 5, kde se nachází 5 místností označenými čísly 200 až 205.



Obr. 4 Půdorys přízemí rodinného domu



Obr. 5 Půdorys podkroví rodinného domu

Tab. 1 Legenda využití místností

Přízemí		Podkroví	
Číslo místnosti	Využití místnosti	Využití místnosti	Číslo místnosti
100	Schodiště	Schodiště	200
101	Obývací pokoj	Chodba	201
102	Technická místnost	Dětský pokoj	202
103	Ložnice	Dětský pokoj	203
104	Vedlejší koupelna	Hlavní koupelna	204
105	Sklad potravin	Toaleta	205
106	Kuchyň		
107	Pracovna		
108	Chodba		

4 Řešení stavebních konstrukcí

Důležitým krokem stavebního řešení rodinného domu je návrh tepelně technických vlastností jednotlivých konstrukcí, pomocí kterého můžeme zaručit požadavek na hodnoty součinitelů prostupu tepla dle nároku investora. Základním rozdělením stavebních konstrukcí je na neprůsvitné a průsvitné.

U popisu jednotlivých konstrukcí jsou v tabulkách zobrazeny navržené vrstvy včetně uvažovaných tloušťek a součinitelů tepelné vodivosti. Tloušťka tepelné izolace u stavebních konstrukcí oddělující interiér od exteriéru je proměnná v závislosti na dané variantě rodinného domu a bude rozebírána v následujících kapitolách.

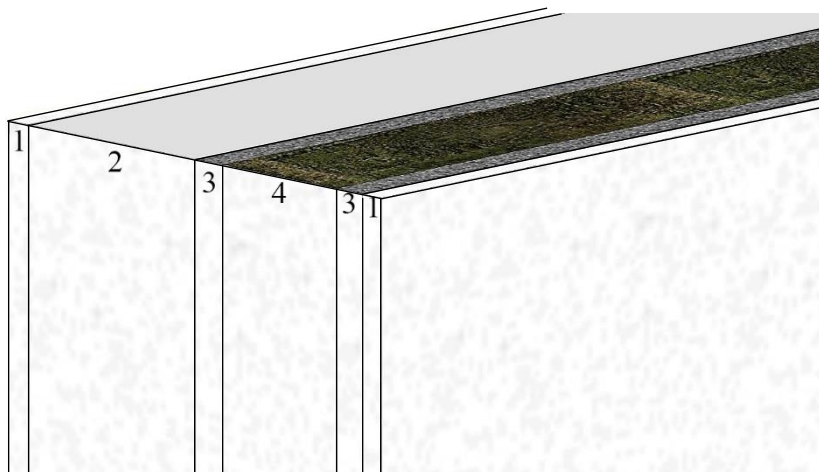
4.1. Neprůsvitné konstrukce

4.1.1. Obvodová stěna

Obvodová stěna je nosný prvek stavby, který odděluje vnitřní prostředí objektu od vnějšího. Obvodové konstrukce rozdělujeme z hlediska tepelné setrvačnosti na lehké a těžké.

Lehké konstrukce s nízkou tepelnou setrvačností se vyznačují plošnou hmotností do 100 kg/m^2 . Jejich znakem je nedostatečná tepelně akumuláční vlastnost, kterou můžeme eliminovat například návrhem nižších hodnot součinitelů prostupu tepla, respektive zlepšit konstrukci o zděné příčky a hliněné vnitřní omítky. Naproti tomu je velkým pozitivem šetrnost vůči životnímu prostředí z pohledu návrhu a spotřeby přírodního materiálu. Příkladem může být dřevěná konstrukce, jejíž tloušťku tvoří z většiny tepelná izolace.

Pro bakalářskou práci byla navržena těžká konstrukce, která je charakterizována plošnou hmotností přesahující 100 kg/m^2 s vysokou tepelnou akumulací a tepelnou setrvačností oproti lehkým konstrukcím. Příklad je demonstrován na navržené obvodové stěně na obrázku číslo 6. [9] [10]



Obr. 6 Řez obvodovou stěnou

Tab. 2 Jednotlivé vrstvy obvodové stěny

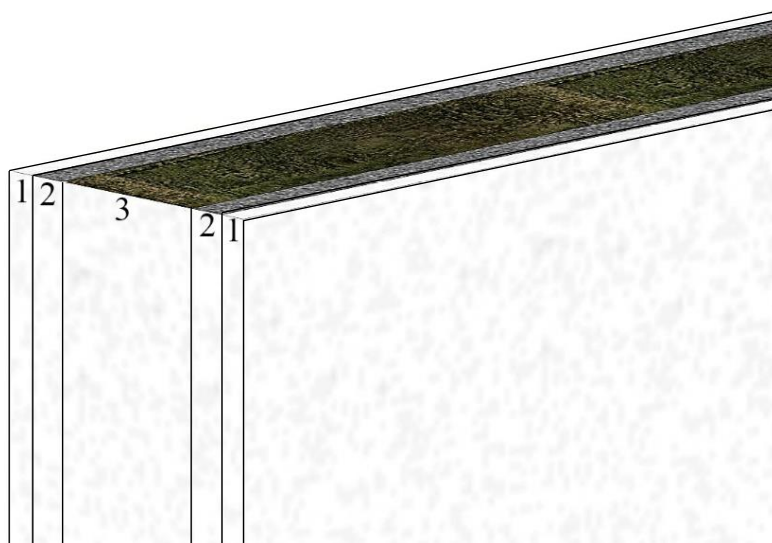
Číslo vrstvy	Vrstva	Tloušťka S [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K]
1	Omítka	0,025	0,8
2	Polystyren Greywall	Proměnná	0,032
3	Deska Durisol	0,035	0,11
4	Monolitický beton	0,15	0,2

Stěna je navržena s použitím inteligentního stavebního systému Durisol, který zohledňuje výběr materiálu, ze kterého nevznikají žádné exhalace a nebezpečné odpady zatěžující životní prostředí. Technologie využívá spojení dřeva a cementu, konkrétně jde o jednovrstvé štěpkocementové desky. Přestože materiálovou složku stěny tvoří dřevo, řadí se stále a s jistotou k těžkým masivním konstrukcím. Hlavní charakteristickým prvkem tohoto systému je velmi vysoká tepelná izolace, která šetří topnou energii v kompletní stavbě. Návrh této konkrétní skladby je z důvodu vyhovujících součinitelů prostupu tepla a navíc Durisol vychází vstříc ekologickým požadavkům na úsporu energetických zdrojů, jelikož odpad ze stavby, který je navrácen do výroby, je následně znovu zpracován a použit. [11]

4.1.2. Vnitřní příčky

Příčky neboli vnitřní stěny jsou součástí interiéru, jejichž postavením se vytvoří jednotlivé místnosti stavby.

Vnitřní zdivo je navrženo identicky jako u obvodové stěny instalovaným inteligentním systémem Durisol. Jedinou odlišností od obvodové stěny je struktura konstrukce, kde je eliminována vrstva tepelné izolace, jelikož není nutná ve vnitřním prostředí objektu z důvodu minimálních tepelných ztrát. Vizualizace řezu stěny je zobrazena na obrázku číslo 7.



Obr. 7 Řez vnitřní stěnou

Tab. 3 Jednotlivé vrstvy vnitřních stěn

Číslo vrstvy	Vrstva	Tloušťka S [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m. K]
1	Omítka	0,025	0,8
2	Deska Durisol	0,035	0,11
3	Monolitický beton	0,15	0,2

4.1.3. Podlaha přilehlá k zemině

Podlaha jako taková je definována jako konstrukce, která leží na spodní části stropu nebo na jiném podkladu. V tomto případě se jedná se o podlahu, která se nachází v nejnižším nadzemním podlaží rodinného domu a je přilehlá k terénu, proto je nutné navýšení tepelné izolace oproti ostatním podlahám v objektu, jelikož tato konstrukce s porovnáním s ostatními vykazuje největší tepelné ztráty. Z hlediska této bakalářské práce jsou důležité tepelně technické vlastnosti, které zahrnují tepelný odpor podlahy, tepelnou jímavost a odolnost proti působení vysokých teplot.

Dostatečný tepelný odpor je potřeba u podlah/stropů oddělující místnosti s různým teplotním průběhem. Příkladem může být právě tato podlaha přilehlá k půdě či jinému podkladu.

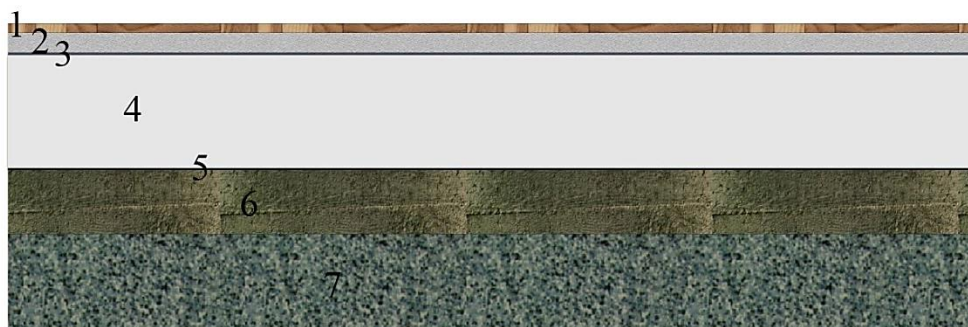
Pro návrh podlahy se tepelná jímavost zhodnocuje v zimních měsících v období teplotních extrémů v místnostech s trvalým pobytem osob. Je definována jako schopnost materiálu o dané vlhkosti přijímat teplo. Pokles teploty chodidla je měřen v časovém intervalu 10 minut. Pokles dotykové teploty podlahy udává výši tepla, které je odebráno při dotyku chodidla se stavební konstrukcí. Z hlediska poklesu dotykové teploty lze členit podlahy do jednotlivých skupin znázorněny v tabulce číslo 4.

Tab. 4 Typy podlah z hlediska poklesu dotykové teploty [29]

Typ podlahy	Pokles dotykové teploty podlahy [°C]
Velmi teplá	do 3,8 včetně
Teplá	do 5,5 včetně
Méně teplá	do 6,9 včetně
Studená	od 6,9

Vysoké teploty konstrukcí jsou velkým problémem, jelikož může dojít k překročení teploty rosného bodu a následné kondenzaci v podlaze, proto je nutné zamezit působení vysokých teplot ve všech vytápěných místnostech.

Podlaha spadá dle návrhu z pohledu poklesu dotykové teploty do teplého typu pro všechny vytápěné místnosti. Tepelná jímavost činí $524 \text{ W} \cdot \text{s}^{0,5} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$ s poklesem dotykové plochy $4,15 \text{ }^\circ\text{C}$. [3] [12]



Obr. 8 Řez podlahou přilehlé k zemině

Tab. 5 Jednotlivé vrstvy podlahy přilehlé k zemině

Číslo vrstvy	Vrstva	Tloušťka S [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m. K]
1	Vlasy	0,019	0,18
2	Cementový potěr	0,04	0,95
3	Lepenka A400H	0,005	0,2
4	Polystyren	Proměnná	0,037
5	PVC hydroizolace	0,0035	0,16
6	Podkladní beton	0,13	1,58
7	Štěrkopísek	0,2	1,5

4.1.4. Strop a podlaha

Hlavní funkcí stropu je rozdělit prostor ve svislém směru na určitý počet podlaží v daném objektu. V jistém slova smyslu můžeme nahlížet na strop jako na podlahu, ale pouze v části mezi prvním a druhým podlažím, když vezmeme v úvahu dvoupodlažní rodinný dům. To znamená, že strop v přízemí je totožný s podlahou v poschodí, liší se pouze ve směru tepelného toku. Strop se skládá z nosné konstrukce, která tvoří nejdůležitější část, podlahy a podhledu.

Složení navrženého prvku je velmi podobné jako u podlahy přilehlé k zemině. Rozdíl je pouze v tloušťce tepelné izolace a ve spodní vrstvě konstrukce. Strop, respektive podlaha, je vymodelována na obrázku číslo 9.



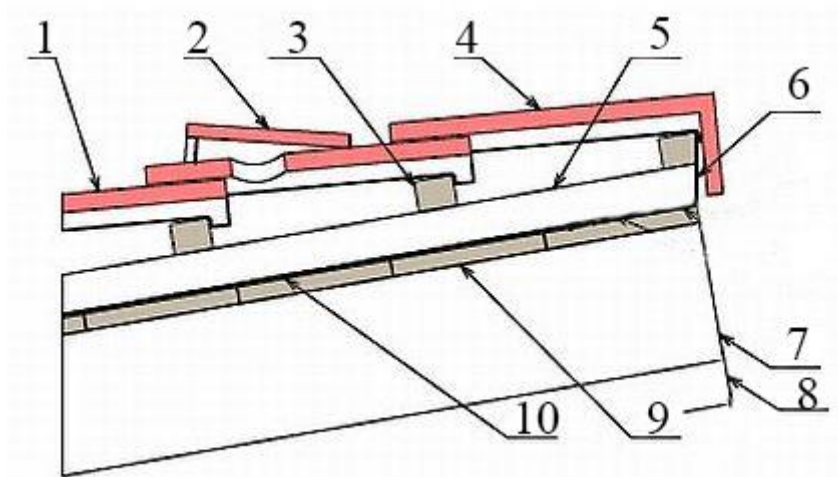
Obr. 9 Řez stropem/podlahou

Tab. 6 Jednotlivé vrstvy stropu/podlahy

Číslo vrstvy	Vrstva	Tloušťka S [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m. K]
1	Vlysy	0,019	0,18
2	Cementový potěr	0,04	0,95
3	Lepenka A400H	0,005	0,2
4	Polystyren	Proměnná	0,037
5	PVC hydroizolace	0,0035	0,16
6	Podkladní beton	0,13	1,58
7	Omítka	0,025	0,8

4.1.5. Střešní konstrukce

Dalším prvkem obvodové konstrukce je střecha, která obvykle ohraničuje budovou nad posledním podlažím. Tak jako obvodová nosná stěna chrání objekt před vnějšími vlivy jako je například voda, vítr, vlhkost nebo sluneční záření. Střecha se skládá z nosné konstrukce, která obstarává přenesení všech zatížení do ostatních nosných prvků budovy, a ze střešního pláště zajišťujícího ochranu vnitřního prostředí před vnějším. Pro model rodinného domu je navržena šikmá jednoplášťová pultová střešní konstrukce, která je v této době velmi populární zejména u pasivních staveb. Pro tento případ je střecha tvořena dvěma částmi a je posazena nad místnostmi číslo 101, 105 a 106 v prvním podlaží a nad celým druhým podlažím se sklonem 12° a orientací na sever a jih. Na obrázku číslo 10 je zobrazeno schéma řezu jednoplášťové pultové střechy.



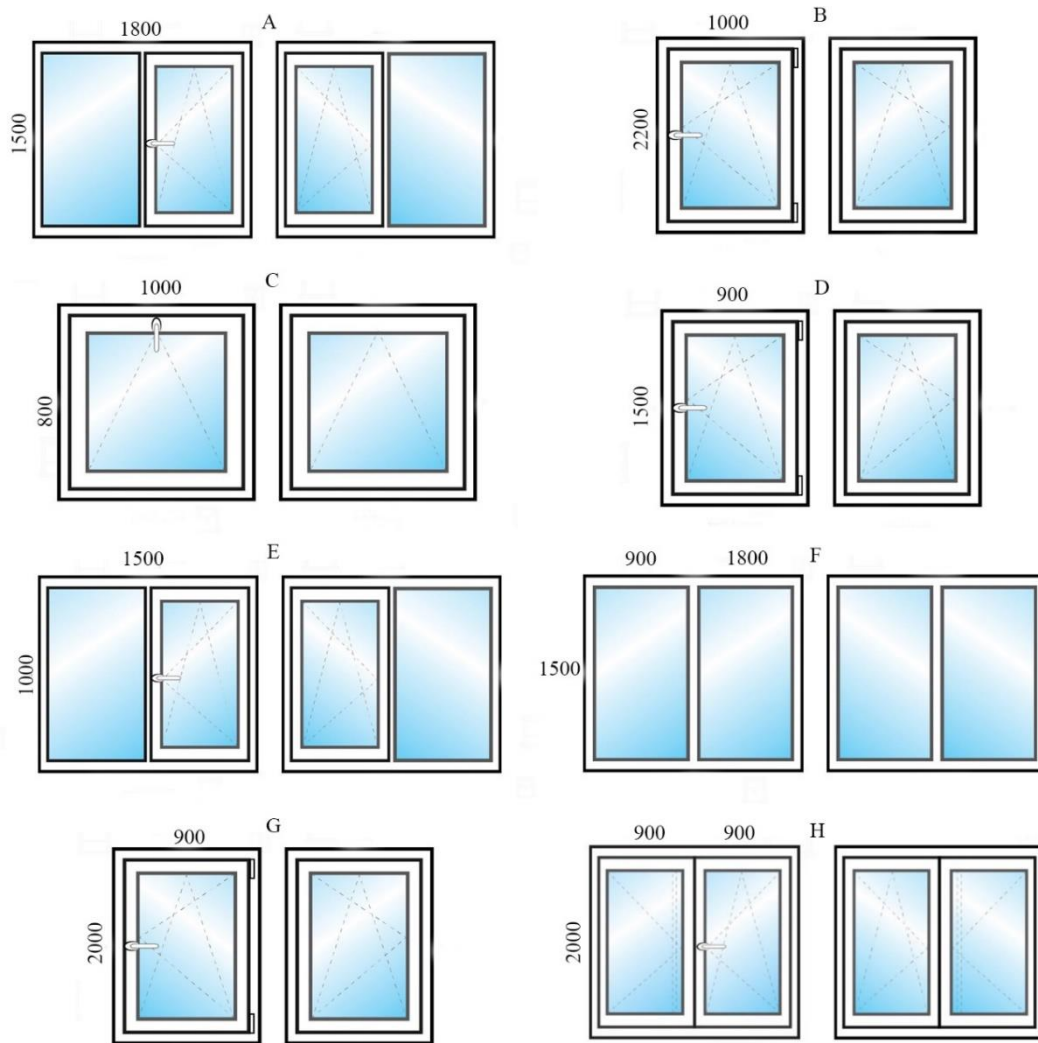
Obr. 10 Řez střešní konstrukcí [13]

Tab. 7 Složení střešní konstrukce

Číslo vrstvy	Vrstva	Tloušťka S [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K]
1	Betonové tašky	0,03	0,63
2	Větrací taška	-	-
3	Střešní latě	0,04	0,18
4	Pultová střešní taška	-	-
5	Kontralatě	0,04	0,18
6	Fólie	0,001	0,2
7	Krokve	0,1	0,18
8	Sádkartonový podhled	0,0125	0,22
9	Tepelná izolace	Proměnná	0,037
10	Fólie	0,001	0,2

4.1.6. Okna a dveře

Mezi nepostradatelné prvky oddělující exteriér a interiér objektu patří okna a vchodové dveře, sloužící jak k prosvětlování místností, tak i k vyrovnání poměrné části celkových tepelných ztrát budovy vnějšími solárními zisky. Jak bylo zmiňováno v první kapitole, rodinný dům má celkem 14 oken a 3 vchodové dveře. Na obrázku číslo 11 jsou schematicky ukázány rozměrové a typové odlišnosti průsvitných konstrukcí aplikovány na model rodinného domu.



Obr. 11 Schéma použitých typů oken

Tab. 8 Členění průsvitných konstrukcí

Označení	Typ	Použití v místnostech
A	Dvoukřídle okno	103, 107, 201, 202, 203
B	Francouzské okno	202, 203
C	Sklopné okno	102, 104, 205
D	Klasické okno	106, 107
E	Dvoukřídle okno	204
F	Rohové dvoukřídle neotevíravé okno	101
G	Klasické vchodové dveře	106, 108
H	Vchodové dvoukřídle dveře	101

5 Zateplení stavebních konstrukcí

Při zaměření na zateplení stavebních konstrukcí úsporných domů tvoří velký podíl co do objemu použitých materiálů tepelná izolace. Běžná hodnota tepelných izolací se pohybuje okolo 150 až 200 m³. Na trhu se vyskytuje nespočet možností, jak zateplit úspornou budovu, proto zde bude uvedeno pouze to, co bylo použito při návrhu rodinného domu.

Vybrána byla izolace na bázi polystyrénu, která je v současnosti nejpoužívanějším izolačním materiálem. Jedná se o pěnové (expandované) polystyrény pod označením EPS a extrudované (vytlačované) polystyrény s označením XPS. Oba dva druhy jsou vyrobeny z granulátu polystyrénu, liší se pouze ve struktuře. Pěnový polystyrén má klasickou kuličkovou strukturu, extrudovaný polystyrén uzavřenou homogenní.

V návrhu je použit šedý polystyrén typu EPS, jelikož vykazuje lepší tepelně technické vlastnosti z hlediska omezení sálavé složky tepla při šíření hmotou izolace oproti klasickému pěnovému polystyrénu o 15 % až 20 %. Tedy při stejné tloušťce se dosahuje lepšího účinku, respektive vyšších úspor. Tento typ byl vybrán také proto, že je zdravotně nezávadný, trvale odolává vlhkosti a je samozhášivý. [1]

6 Výpočet tepelných ztrát

Hodnota celkové tepelné ztráty (1) je určena podle směrnice ČSN EN 12 831, jejíž výpočet je dán jako součet tepelné ztráty prostupem (2) a tepelné ztráty větráním (14).

$$\Phi_c = \Phi_T + \Phi_V, \quad [\text{W}] \quad (1)$$

kde:

Φ_c celková tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru [W]

Φ_T návrhová tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru [W]

Φ_V návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru [W]

6.1. ČSN EN 12 831

Evropská legislativa byla vydána roku 2003 a v roce 2005 proběhla její aktualizace. Jedná se o normu, jejíž cílem je snížení energetických náročností budov pro různé klimatické podmínky s ohledem na efektivitu nákladů. V době zpracování této bakalářské práce norma ČSN EN 12 831 vyšla k 1. 3. 2018 v aktualizaci. Nicméně dále uváděné postupy a výpočty odpovídají původní normě ČSN EN 12 831 z roku 2005.

Norma uvádí postup, jak vypočítat tepelný výkon otopné soustavy potřebný k dosažení vnitřní výpočtové teploty, dále obsahuje výpočet návrhové tepelné ztráty včetně výpočtu návrhového tepelného výkonu pro jednotlivé zóny budovy. V přílohách lze najít i zjednodušené výpočetní metody pro složitější výpočetní modely. Součástí výpočetních metod jsou standardní případy zahrnující veškeré budovy, které nepřesahují výšku místností 5 m. Příkladem mohou být školy, nemocnice, knihovny atd. V přílohách směrnice najdeme dodatečné informace pro zvláštní případy s výškou stropu nad 5 m, případně budovy s výrazně rozdílnou teplotou vzduchu a střední teplotou sálání. Tepelné ztráty zvoleného virtuálního rodinného domu jsou počítány v souladu s touto normou. [14]

6.2. Tepelná ztráta prostupem tepla

K tomu, abychom mohli vypočítat návrhovou ztrátu prostupem (2), je zapotřebí v první řadě stanovit všechny součinitele tepelné ztráty prostupem, respektive součinitele prostupu tepla daných konstrukcí, plochy vytápěných zón a hodnoty tepelných mostů. Poslední věcí, kterou je potřeba určit, jsou venkovní výpočtová teplota zvolena podle normy ČSN 06 0210 a vnitřní výpočtové teploty místností.

$$\Phi_T = (H_{T,i} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int} - \theta_e), \quad [W] \quad (2)$$

kde:

Φ_T	návrhová tepelná ztráta prostupem tepla	[W]
$H_{T,i}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního pláštěm budovy	[W/K]
$H_{T,iue}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostoru nevytápěným prostorem	[W/K]
$H_{T,ig}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do zeminy v ustáleném stavu	[W/K]
$H_{T,ij}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do sousedního prostoru vytápěného na výrazně jinou teplotu	[W/K]
θ_{int}	vnitřní výpočtová teplota	[°C]
θ_e	venkovní výpočtová teplota	[°C]

Pro výpočtový model byla navržena venkovní výpočtová teplota -12 °C pro oblast Praha (Karlovy) z normy ČSN 06 0210. Vnitřní výpočtové teploty včetně ploch jednotlivých místností jsou zobrazeny v tabulce číslo 9.

Tab. 9 Vnitřní výpočtové teploty a plochy jednotlivých místností

Přízemí			Podkroví		
Číslo místnosti	Vnitřní výpočtová teplota [°C]	Plocha místnosti [m ²]	Číslo místnosti	Vnitřní výpočtová teplota [°C]	Plocha místnosti [m ²]
100	20	3,53	200	20	3,65
101	20	23,91	201	20	9,78
102	20	5,87	202	20	17,40
103	20	13,50	203	20	18,85
104	24	5,77	204	24	7,08
105	15	2,65	205	20	2
106	20	14,77			
107	20	17,73			
108	20	16,32			

6.2.1. Součinitel prostupu tepla

Abychom mohli stanovit tepelnou ztrátu prostupem, je nutností nejprve zkontrolovat, zda stavební konstrukce vyhovují požadovaným hodnotám součinitele prostupu tepla dle normy ČSN 73 0540-2. Platí zde nerovnost (3), která musí být vždy pro jednotlivé stavební konstrukce dodržena, viz tabulka číslo 10 a 11. Pokud není splněna, je potřeba navrhnout jiné konstrukční řešení.

$$U \leq U_{N(P)}, \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (3)$$

kde:

U vypočtený součinitel prostupu tepla $[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$

U_N doporučený součinitel prostupu tepla $[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$

U_P požadovaný součinitel prostupu tepla $[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$

Tab. 10 Požadované hodnoty součinitelů prostupu tepla neprůsvitných konstrukcí [29]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/m ² .K]		
	Požadované hodnoty U_N	Doporučené hodnoty U_P	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy U_{PAS}
Stěna vnější	0,30	0,20	0,18 – 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 – 0,10
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 – 0,15
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5° včetně	2,20	1,45	
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5° včetně	2,70	1,80	

Tab. 11 Požadované hodnoty součinitelů prostupu tepla průsvitných konstrukcí [29]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/m ² .K]		
	Požadované hodnoty U_N	Doporučené hodnoty U_P	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy U_{PAS}
Okna	1,5	1,2	0,8 – 0,6
Dveře	1,7	1,2	0,9

Výpočet součinitele prostupu tepla u neprůsvitných konstrukcí (4) je dán dle vztahu:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m \frac{s_n}{\lambda_n} + R_{se}}, \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (4)$$

kde:

U	vypočtený součinitel prostupu tepla	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$
R_{si}	vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla	$[\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}]$
R_{se}	vnější tepelný odpor při přestupu tepla	$[\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}]$
s	tloušťka stěny stavební konstrukce	$[\text{m}]$
λ	součinitel tepelné vodivosti stěny stavební konstrukce	$[\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}]$

Vnější a vnitřní tepelný odpor byl stanoven dle ČSN 73 0540-3 pro rovinné povrchy z tabulky číslo 12 zohledňující směr tepelného toku stavební konstrukcí. Jedinou výjimkou tvoří podlaha přilehlá k zemině, u které nelze tuto tabulku použít, jelikož platí pouze pro povrchy přilehlé ke vzduchu.

Tab. 12 Stanovení tepelného odporu při prostupu tepla stavební konstrukcí [30]

Tepelný odpor při prostupu tepla $[\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}]$	Směr tepelného toku		
	Nahoru	Vodorovně	Dolů
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Výpočet, jakým se přistupuje k podlaze přilehlé k zemině, je odlišný od předchozího. Zprvu se zohlední povrch, ke kterému daná budova přilehá, zobrazeno v tabulce číslo 13.

Tab. 13 Součinitel tepelné vodivosti k různým typům povrchu [32]

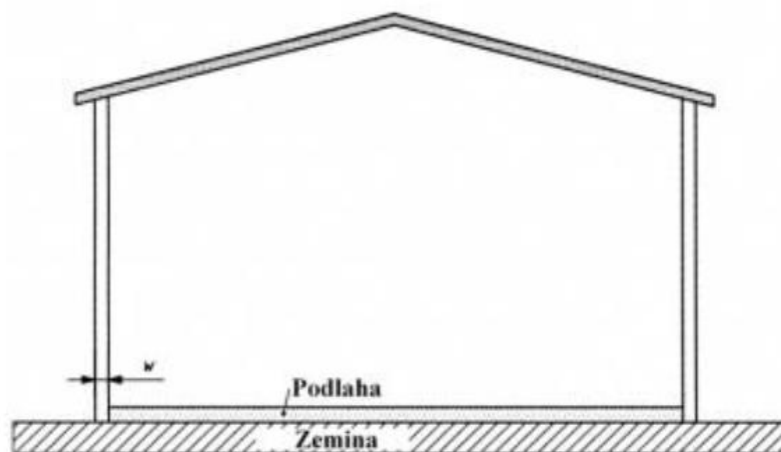
Kategorie	Popis	Tepelná vodivost zeminy $\lambda [\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}]$
1	Hlíny a jíly	1,5
2	Písky a šěrky	2
3	Stejnorodá skála	3,5

Poté se musí vypočítat takzvaný charakteristický parametr (5), podle kterého se následně určí součinitel prostupu tepla podlahy přilehlé k zemině nadzemního rodinného domu (7) (8) v závislosti na celkové ekvivalentní tloušťce podlahy (6) dle ČSN EN ISO 13 370.

$$B = \frac{S_{\text{podlahy}}}{0,5 \cdot O_{\text{podlahy}}}, \quad [\text{m}] \quad (5)$$

kde:

B	charakteristický parametr	[m]
S	plocha podlahy	[m ²]
O	obvod podlahy oddělující vytápěný prostor zóny od exteriéru	[m]



Obr. 12 Schéma nadzemního domu pro výpočet podlahy přilehlé k zemině [32]

$$d_t = w + \lambda_z \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}), \quad [\text{m}] \quad (6)$$

$$d_t < B \rightarrow U_{\text{podlahy}} = \frac{2 \cdot \lambda_z}{\pi \cdot B + d_t} \cdot \ln\left(\frac{\pi \cdot B}{d_t} + 1\right), \quad [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}] \quad (7)$$

$$d_t \geq B \rightarrow U_{\text{podlahy}} = \frac{\lambda_z}{0,457 \cdot B + d_t}, \quad [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}] \quad (8)$$

kde:

d_t	celková ekvivalentní tloušťka podlahy	[m]
R_f	tepelný odpor podlahy	[m ² . K/W]
λ_z	součinitel tepelné vodivosti zeminy	[W/m. K]
w	celková tloušťka obvodové stěny	[m]

Výsledné hodnoty součinitelů prostupu tepla včetně tlouštěk tepelné izolace vztažené k jednotlivým variantám rodinného domu jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tab. 14 Požadované hodnoty součinitelů prostupu tepla

Konstrukce	U vypočtené [W/m ² . K]	U dle normy [W/m ² . K]	Tloušťka vrstvy izolace [m]
Obvodová stěna vnější	0,286	0,30	0,06
Podlaha zemina	0,409	0,45	0,07
Střešní šikmá konstrukce do 45° včetně stropu	0,232	0,24	0,150

Tab. 15 Doporučené hodnoty součinitelů prostupu tepla

Konstrukce	U vypočtené [W/m ² . K]	U dle normy [W/m ² . K]	Tloušťka vrstvy izolace [m]
Obvodová stěna vnější	0,198	0,20	0,11
Podlaha zemina	0,284	0,30	0,11
Střešní šikmá konstrukce do 45° včetně stropu	0,155	0,16	0,23

Tab. 16 Hodnoty součinitelů prostupu tepla pro pasivní budovy

Konstrukce	U vypočtené [W/m ² . K]	U dle normy [W/m ² . K]	Tloušťka vrstvy izolace [m]
Obvodová stěna vnější	0,118	0,12	0,22
Podlaha zemina	0,148	0,15	0,23
Střešní šikmá konstrukce do 45° včetně stropu	0,098	0,10	0,37

V předchozích tabulkách je uveden součinitel prostupu tepla podlahou přilehlé k zemině, který byl vypočítán dle vztahu (4) a byl použit pouze pro kontrolu, aby vyhovoval nerovnosti (3), která musí být v každém případě dodržena. Do výpočtu celkové tepelné ztráty prostupem se nicméně započítává součinitel prostupu tepla podlahy přilehlé k zemině ze vztahu (7) (8).

V tabulce 17 jsou zobrazeny jednotlivé místnosti právě s tímto výpočetním součinitelem prostupu tepla zeminou pro každý modelový případ rodinného domu.

Tab. 17 Součinitelé prostupu tepla zeminou pro 3 varianty rodinného domu

Požadované hodnoty U		Doporučené hodnoty U		Hodnoty U pro pasivní budovy	
Číslo místnosti	U_z [W/m ² ·K]	Číslo místnosti	U_z [W/m ² ·K]	Číslo místnosti	U_z [W/m ² ·K]
100	0,256	100	0,196	100	0,118
101	0,279	101	0,207	101	0,123
102	0,338	102	0,246	102	0,135
103	0,299	103	0,223	103	0,128
104	0,181	104	0,149	104	0,098
105	0,266	105	0,202	105	0,121
106	0,289	106	0,216	106	0,126
107	0,294	107	0,219	107	0,127
108	0,132	108	0,113	108	0,081

Součinitelé prostupu tepla na požadované hodnoty podle normy ČSN 73 0540-2 jsou dosahovány pouze změnou tloušťky bez jakýchkoliv změn provedení stavební konstrukce. Tloušťka tepelné izolace je určena na základě výpočtu a zaokrouhlena podle dostupnosti jednotlivých rozměrů tepelných izolací na trhu. Změna tloušťky tepelné izolace se prováděla pouze u stavební konstrukce oddělující vnitřní prostředí od venkovního, tedy u obvodové stěny, střešní konstrukce a podlahy přilehlé k zemině.

U ostatních stavebních konstrukcí ve všech variantách se počítalo se stejným součinitelem prostupu tepla. Součinitel prostupu tepla pro podlahu a strop je $0,39 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ a pro vnitřní stěnu je roven $0,62 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. U oken a dveří je uvažován v souvislosti s tabulkou číslo 11, jelikož není počítán, nýbrž určen dle výrobce daných konstrukcí splňující požadované hodnoty.

6.2.2. Součinitel tepelné ztráty prostupem

Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí:

$$H_{T,ie} = \sum S \cdot U + \sum \Psi_1 \cdot L_1, \quad [\text{W/K}] \quad (9)$$

kde:

S	plocha stavební části	$[\text{m}^2]$
U	součinitel prostupu tepla	$[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$
Ψ_1	součinitel lineárního prostupu tepla tepelného mostu	$[\text{W/m} \cdot \text{K}]$
L_1	délka lineárního tepelného mostu	$[\text{m}]$

Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí nevytápěním prostředí:

$$H_{T,iue} = \sum S \cdot U \cdot b_u + \sum \Psi_1 \cdot L_1 \cdot b_u, \quad [\text{W/K}] \quad (10)$$

$$b_u = \frac{\theta_{\text{int}} - \theta_u}{\theta_{\text{int}} - \theta_e}, \quad [1] \quad (11)$$

kde:

b_u	teplotní redukční činitel	$[1]$
θ_u	teplota nevytápěného prostoru	$[^\circ\text{C}]$

Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do sousedního prostoru vytápěného na výrazně jinou teplotu:

$$H_{T,ij} = \sum S \cdot U \cdot f_{i,j}, \quad [\text{W/K}] \quad (12)$$

$$f_{i,j} = \frac{\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{sp}}}{\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{e}}}, \quad [1] \quad (13)$$

kde:

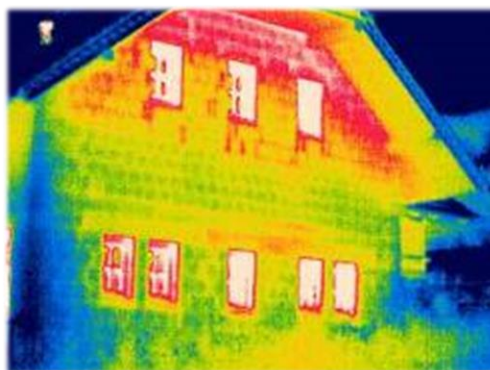
$f_{i,j}$ teplotní redukční činitel [1]

θ_{sp} teplota vytápěného sousedního prostoru [°C]

Součinitel tepelné ztráty prostupem zeminou je počítán zjednodušeně dle vztahu (9).

6.2.3. Tepelné mosty

Tepelný most se dá definovat jako místo stavební konstrukce, kde dochází k vícerozměrnému vedení tepla. Jednoduše řečeno ke vzniku tepelného mostu dochází tam, kde dochází ke spojení jednotlivých stavebních konstrukcí. V současnosti se jedná o zásadní věc, která ovlivňuje statiku stavby a při jejím zanedbaní může vést až k destrukci dané budovy. V praxi se nejčastěji vyskytují tepelné mosty způsobené vedením tepla. V ojedinělých případech se můžeme setkat i s těmi, které jsou způsobeny prouděním či sáláním. V takovém místě, kde je oslabená konstrukce, uniká více tepelné energie. Ve vnitřním prostředí je povrch studenější a ve vnějším naopak teplejší oproti okolním konstrukcím. [4]



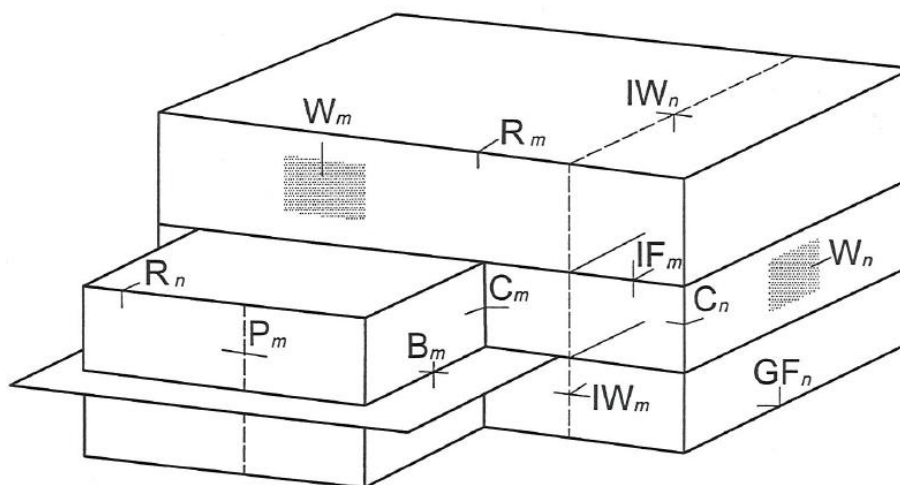
Obr. 13 Termogram [15]

Na názorném příkladu z obrázku číslo 13 je vidět, že tepelné mosty se z největší části vyskytují nad okny a mezi jednotlivými tvárnicemi.

Z teoretického hlediska je jasné, že čím vyšší nároky na budovu jsou, tím více se snižuje podíl tepelných mostů. Čím je vyšší tloušťka izolace, tím je menší procento tepelných mostů, proto ve výpočtech je uvažováno s takzvaným opravným součinitelem na tepelné mosty, který zohledňuje myšlenku popisovanou výše a opravuje hodnoty z tabulky číslo 18. Pro případ požadovaných hodnot součinitelů prostupu tepla je uvažováno 30 % z hodnoty lineárního součinitele tepelného mostu, pro doporučené hodnoty je uvažováno 20 % a pro hodnoty pasivních budov je počítáno s 10 %.

Tab. 18 Uvažované lineární mosty pro výpočet modelových situací

Typ lineárního tepelného mostu	Hodnota Ψ
IW6-vnitřní příčka/střecha	0
IW1-vnitřní příčka/venkovní stěna	0
R1-venkovní stěna/střecha	0,3
C1-venkovní stěna/venkovní stěna	0,15
GF1-venkovní stěna/podlaha	0,2
W7-okna, dveře	0,3



Obr. 14 Běžná místa výskytu dvojrozměrných tepelných mostů [33]

Z následující tabulky číslo 19 je názorně vidět, že se zvyšujícími se nároky na součinitel prostupu tepla, respektive na tloušťku izolace, se snižuje procento tepelných mostů, a naopak součin $U \cdot S$ roste.

Opravný součinitel na tepelné mosty byl zaveden, protože bez jeho použití by při zvyšujících se požadavcích budovy rostl podíl tepelných mostů i přesto, že by se měl naopak snižovat. Je to způsobeno tím, že součin $\Psi \cdot L$ není závislý na tloušťce, a tím je tato hodnota neměnná. Součin $U \cdot S$ s rostoucí tloušťkou klesá a tím se zvyšuje podíl tepelných mostů.

Tab. 19 Procentuální podíl tepelných mostů vůči součinu $U \cdot S$

Požadované hodnoty U		Doporučené hodnoty U		Hodnoty U pro pasivní budovy	
U · S [%]	Tepelné mosty [%]	U · S [%]	Tepelné mosty [%]	U · S [%]	Tepelné mosty [%]
89,73	10,27	90,68	9,32	91,97	8,03

6.3. Tepelná ztráta větráním

K tomu, abychom mohli vypočítat návrhovou tepelnou ztrátu větráním, je zapotřebí stanovit součinitele návrhové tepelné ztráty větráním (15) a výpočtové vnitřní a venkovní teploty, které jsou známé z předchozích výpočtů.

$$\Phi_V = H_V \cdot (\theta_{\text{int}} - \theta_e), \quad [\text{W}] \quad (14)$$

kde:

H_V součinitel návrhové tepelné ztráty větráním [W/K]

θ_{int} vnitřní výpočtová teplota [°C]

θ_e venkovní výpočtová teplota [°C]

6.3.1. Součinitel tepelné ztráty větráním

$$H_V = \dot{V} \cdot \rho \cdot c, \quad [\text{W/K}] \quad (15)$$

kde

\dot{V} výměna vzduchu ve vytápěném prostoru $[\text{m}^3/\text{h}]$

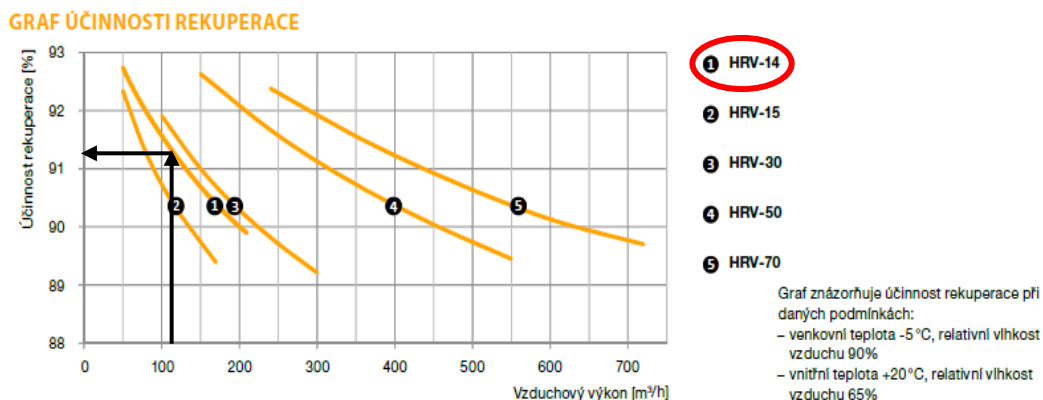
ρ hustota vzduchu při vnitřní teplotě $[\text{kg}/\text{m}^3]$

c měrná tepelná kapacita vzduchu při vnitřní teplotě $[\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}]$

Pro větší efektivitu a snížení tepelných ztrát větráním byla do návrhu přidána rekuperační jednotka značky Venus HRV-14 Recover. Důležitým parametrem je účinnost rekuperační jednotky.

Když vezmeme v úvahu, co se děje při 0% účinnosti, mohli bychom to přirovnat k účinnosti otevřeného okna, kdy studený (čerstvý) vzduch je přiváděn do místnosti, která se jím ochlazuje na venkovní teplotu a teplý je z místnosti bez užítku odváděn. Naopak při 100% účinnosti, která je prakticky nemožná, by se čerstvý vzduch ohřál od odváděného vzduchu na jeho původní teplotu, čím by nedošlo k žádné tepelné ztrátě energie. Celý princip rekuperačního výměníku je tedy v ohřátí venkovního přivodního vzduchu vzduchem odváděným, avšak sama o sobě rekuperace vytápět budovu nedokáže. Snižuje pouze určité množství energie, které je potřeba na dohřátí čerstvého vzduchu na požadovanou teplotu vnitřního prostředí. [16]

Účinnost jednotky byla určena z následujícího grafu, která činí 91,3 %.



Obr. 15 Určení účinnosti rekuperační jednotky Venus HRV-14 [17]

Úprava vztahu součinitele tepelné ztráty větráním po doplnění rekuperační jednotky vypadá následovně:

$$H_V = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \cdot (1 - \eta_{zzt}), \quad [\text{W/K}] \quad (16)$$

kde:

$$\eta_{zzt} \quad \text{účinnost rekuperační jednotky} \quad [1]$$

Pro obytné místnosti je důležité zajištění čerstvého vzduchu, přesněji řečeno snížení koncentrace CO₂. Abychom mohli určit výměnu vzduchu ve vytápěném prostoru (17), je důležité zvážit, zda použít do návrhu větrání přirozené či větrání nucené. Nejčastěji se používá pro návrh rodinného domu klasické větrání pomocí oken, ideálně krátce a co největšími průřezy, a nucené rovnotlaké větrání se zpětným získáváním tepla, kde množství přivodního vzduchu se rovná množství odváděného vzduchu.

Pro návrh větrání bylo zvoleno nucené rovnotlaké větrání, pro které je použit vztah:

$$\dot{V} = V \cdot n, \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (17)$$

kde:

$$V \quad \text{objem vytápěné místnosti} \quad [\text{m}^3]$$

$$n \quad \text{intenzita výměny venkovního vzduchu} \quad [1/\text{h}]$$

Podmínka minimální intenzity výměny venkovního vzduchu nuceného větrání:

$$n \geq 0,3 \quad [1/\text{h}] \quad (18)$$

Z tabulky číslo 20 lze vyčíst, že odvod je roven přívodu, který má hodnotu 108 m³/h. Toto číslo je poté použito v grafu na obrázku číslo 15 pro určení účinnosti rekuperační jednotky.

Tab. 20 Návrh odvodu a přívodu vzduchu

Přízemí				Podkroví			
Číslo místnosti	Typ vzduchu	Množství vzduchu [m ³ /h]	Intenzita větrání [1/h]	Číslo místnosti	Typ vzduchu	Množství vzduchu [m ³ /h]	Intenzita větrání [1/h]
100	Odváděný	3,81	0,4	200	Odváděný	3,94	0,4
101	Přiváděný	26,78	0,4	201	Odváděný	12,71	0,5
102	Přiváděný	8,22	0,5	202	Přiváděný	18,10	0,4
103	Přiváděný	15,12	0,4	203	Přiváděný	19,60	0,4
104	Odváděný	12,93	0,8	204	Odváděný	14,73	0,8
106	Odváděný	33,09	0,8	205	Odváděný	4,16	0,8
107	Přiváděný	19,86	0,4				
108	Odváděný	22,85	0,5				

6.4. Výsledné vypočtené tepelné ztráty

Pro tři modely rodinného domu byly vypočteny ztráty prostupem a ztráty větráním s účinností rekuperační jednotky 91,3 % všech vytápěných místností budovy. Následně byla určena celková tepelná ztráta objektu vyobrazena v tabulce číslo 21. Detailnější přehled výpočtu celkových tepelných ztrát je uveden v příloze číslo 1.

Tab. 21 Výsledné tepelné ztráty variant rodinného domu

Varianta RD	Tepelná ztráta prostupem [W]	Tepelná ztráta větráním [W]	Celková tepelná ztráta budovy [W]
Požadované hodnoty U	5807	206	6013
Doporučené hodnoty U	4270	206	4476
Hodnoty U pro pasivní budovy	2486	206	2692

7 Výpočet potřeby tepla

Potřeba tepla je maximální množství energie nezbytné pro vytápění místností na požadovanou teplotu a přípravu teplé vody. Potřeba tepla na vytápění je stanovena dle normy ČSN EN ISO 13 790 a potřeba teplé vody je určena dle směrnice ČSN 06 0320.

7.1. ČSN EN ISO 13 790

Tato legislativa byla vydána roku 2009. Norma se zaměřuje na metody, které zhodnocují roční spotřeby energie na vytápění a chlazení budov. Obsahem směrnice jsou výpočty přenosu tepla prostupem a větráním budovy, vnitřních a vnějších tepelných solárních zisků, roční potřeby a spotřeby energie na vytápění a chlazení budovy. Součástí normy je také metodika výpočtu hodinové metody, dle které je v této práci také počítáno. Norma je platná pouze pro budovy navrhované a stávající. [18]

7.2. Potřeba tepla na vytápění

Ke stanovení výsledné potřeby tepla na vytápění je nutné nejprve určit celkovou potřebu tepla (20), následně vnitřní (24) a solární tepelné zisky (25) snižující potřebné množství tepelné energie pro vytápění a v poslední řadě faktory, kterými je celková potřeba na vytápění ovlivňována.

$$Q_{H,n} = a_{H,red} \cdot (Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}), \quad [\text{kWh}] \quad (19)$$

kde:

$Q_{H,n}$	výsledná potřeba tepla	[kWh]
$Q_{H,c}$	celková potřeba tepla	[kWh]
$Q_{H,gn}$	celkové tepelné zisky	[kWh]
$a_{H,red}$	redukční faktor na přerušené vytápění	[1]
$\eta_{H,gn}$	faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	[1]

7.2.1. Celková potřeba tepla

Celková potřeba (20) je stanovena jako součet potřeby prostupem (21) tepla a potřeby tepla větráním (22).

$$Q_{H,c} = Q_{H,T} + Q_{H,V} \quad [\text{kWh}] \quad (20)$$

Potřeba tepla prostupem je dána dle vztahu:

$$Q_{H,T} = H_T \cdot (t_{is} - t_{es}) \cdot n_{\text{hod}} \quad [\text{kWh}] \quad (21)$$

Potřeba tepla větráním je dána dle vztahu:

$$Q_{H,V} = H_V \cdot (t_{is} - t_{es}) \cdot n_{\text{hod}} , \quad [\text{kWh}] \quad (22)$$

kde:

H_T	měrný tepelný tok prostupem celé budovy	[W/K]
H_V	měrný tepelný tok větráním celé budovy	[W/K]
t_{is}	průměrná vnitřní teplota objektu	[°C]
t_{es}	střední venkovní teplota v daném měsíci	[°C]
n_{hod}	počet hodin v daném měsíci	[hod]

Celkové hodnoty potřeby tepla na vytápění jsou znázorněny v tabulce číslo 22 při průměrné vnitřní teplotě objektu 20,23 °C vypočítané ze vztahu (23):

$$t_{is} = \frac{\sum V_i \cdot t_i}{\sum V}, \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (23)$$

kde:

V_i objem dané místnosti $[\text{m}^3]$

V celkový objem všech místností $[\text{m}^3]$

t_i vnitřní výpočtová teplota $[^{\circ}\text{C}]$

Tab. 22 Celková potřeba tepla variant rodinného domu

Měsíc	n_{hod} [hod]	t_{ep} [$^{\circ}\text{C}$]	$Q_{\text{H,ht}}$ [kWh] Požadované hodnoty U	$Q_{\text{H,ht}}$ [kWh] Doporučené hodnoty U	$Q_{\text{H,ht}}$ [kWh] Hodnoty U pro pasivní budovy
Leden	744	-1	2928	2178	1305
Únor	672	1	2396	1782	1068
Březen	744	4	2239	1665	998
Duben	720	9	1499	1115	668
Květen	744	14,6	777	578	346
Červen	720	17	0	0	0
Červenec	744	18,2	0	0	0
Srpen	744	18,8	0	0	0
Září	720	13,8	859	639	383
Říjen	744	9,4	1494	1111	666
Listopad	720	4	2166	1611	966
Prosinec	744	-0,5	2859	2127	1274

V červnu, červenci a srpnu jsou hodnoty celkové potřeby tepla na vytápění nulové, jelikož není splněna podmínka pro zahájení otopné sezóny.

7.2.2. Tepelné zisky

Vnitřními tepelnými zisky můžeme nazývat všechny procesy, které produkují teplo. Klíčovými zdroji tohoto tepla jsou především samotní lidé, osvětlení, elektronické zařízení nebo také systémy vytápění, větrání či chlazení.

Pro návrhový výpočet je počítáno s vnitřním tepelným tokem od osob dané domácnosti a tepelným tokem od domácích spotřebičů a umělého osvětlení, který se předpokládá 100 W za každou osobu. Tepelný tok od osob je uvažován 100 W na bytovou jednotku bez ohledu na počet osob. Pro rodinný dům se 4 osobami je vnitřní zisk vypočítán dle vztahu (24):

$$\Phi_{\text{zisk,vnitřní}} = n_{\text{os}} \cdot \Phi_{\text{s,o}} \cdot f + \Phi_{\text{s,os}}, \quad [\text{W}] \quad (24)$$

kde:

n_{os}	počet osob v domácnosti	[1]
$\Phi_{\text{s,o}}$	tepelný zisk od spotřebičů a osvětlení	[W/osobu]
$\Phi_{\text{s,os}}$	tepelný zisk od osob v domácnosti	[W/bytovou jednotku]
f	přítomnost osob v budově	[1]

Pro všechny modelové varianty je vnitřní tepelný zisk stejný a činí 380 W při 70% přítomnosti osob doby v roce. V následující tabulce jsou uvedeny vnitřní tepelné zisky počítány podle hodinové metody v kWh.

Tab. 23 Vnitřní tepelné zisky podle hodinové metody

Měsíc	n_{hod} [hod]	$\Phi_{\text{zisk,vnitřní}}$ [kWh]	Měsíc	n_{hod} [hod]	$\Phi_{\text{zisk,vnitřní}}$ [kWh]
Leden	744	283	Červenec	744	283
Únor	672	255	Srpen	744	283
Březen	744	283	Září	720	274
Duben	720	274	Říjen	744	283
Květen	744	283	Listopad	720	274
Červen	720	274	Prosinec	744	283

Vnější solární tepelné zisky závisí na mnoha proměnných, které jsou uvedeny na následujících řádcích. Podstatnými činiteli, na kterých závisí hodnota solárních zisků, je geometrie budovy, velikost a orientace na světovou stranu průsvitných a neprůsvitných teplosběrných ploch.

$$\Phi_{\text{sol}} = f_{\text{sh}} \cdot \sum A_{\text{sol}} \cdot I_{\text{sol}} - F_{\text{r,i}} \cdot \Phi_{\text{r,i}}, \quad [\text{W}] \quad (25)$$

kde:

A_{sol}	účinná sběrná plocha s danou orientací a úhlem sklonu	$[\text{m}^2]$
I_{sol}	sluneční ozáření za jednotku času	$[\text{W}/\text{m}^2]$
f_{sh}	korekční součinitel stínění na externí překážky	[1]
F_{r}	faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou	[1]
Φ_{r}	přídavný tepelný tok v důsledku sálení	[W]

Tab. 24 Celkové sluneční záření za měsíc [34]

Měsíc	$I_{\text{sol}} [\text{W}/\text{m}^2]$				Střecha
	S	J	V	Z	
Leden	7	50	15	20	23
Únor	13	56	26	28	40
Březen	23	82	51	53	79
Duben	32	95	74	72	118
Květen	47	97	104	93	161
Červen	52	87	115	88	166
Červenec	47	93	100	93	162
Srpen	38	100	88	88	143
Září	24	95	60	64	96
Říjen	17	75	34	48	57
Listopad	9	36	14	18	24
Prosinec	6	29	11	12	17

Pro účinnou sběrnou plochu vnějších tepelných zisků průsvitnými konstrukcemi je dán vztah (26):

$$A_{\text{sol,gl}} = F_{\text{sh,gl}} \cdot g_{\text{gl}} \cdot (1 - F_f) \cdot A_{\text{w,pohledová}}, \quad [\text{m}^2] \quad (26)$$

$$g_{\text{gl}} = F_w \cdot g_n, \quad [1] \quad (27)$$

kde:

$F_{\text{sh,gl}}$	korekční činitel stínění	[1]
g_{gl}	celková propustnost průhlednými prvky	[1]
F_f	podíl plochy rámu	[1]
$A_{\text{w,pohled}}$	celková pohledová plocha zaskleného prvku	[m ²]
F_w	korekce pro nerozptylující zasklení	[1]
g_n	výsledná propustnost zasklení	[1]

Pro všechny modelové varianty rodinného domu se uvažovalo s korekčním součinitelem stínění 70 %, s korekcí pro nerozptylující zasklení 90 % a s celkovou propustností průhlednými prvky 63 %. Podíl plochy rámu a celková propustnost zasklení se měnila v závislosti na daném modelovém případě. S rostoucími nároky roste kvalita zasklení, čímž klesá podíl rámu vůči zasklené ploše.

Tab. 25 Srovnání parametrů průsvitných prvků

Typ budovy	F_f [1]	g_n [1]
Požadované hodnoty U	0,3	0,75 (dvojsklo)
Doporučené hodnoty U	0,25	0,75 (dvojsklo)
Hodnoty U pro pasivní budovy	0,15	0,7 (trojsklo)

Pro účinnou sběrnou plochu vnějších tepelných zisků neprůsvitnými konstrukcemi je dán vztah (28):

$$A_{sol,c} = \alpha_c \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_{c,pohled}, \quad [m^2] \quad (28)$$

kde:

α_c	pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků	[1]
R_{se}	tepelný odpor přestupu tepla na vnějším povrchu	[m ² . K/W]
U_c	součinitel prostupu tepla neprůhledných částí	[W/m ² . K]
$A_{c,pohled}$	pohledová plocha neprůhledných částí	[m ²]

Pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků je uvažována pro výpočetní modely 60 %, tepelný odpor přestupu tepla na vnějším povrchu je 0,4 m². K/W a součinitelé prostupu tepla neprůhledných částí jsou převzaty z předešlých výpočtů součinitelů prostupu tepla jednotlivými konstrukcemi.

Tab. 26 Porovnání pohledových a sběrných ploch pro požadované hodnoty U

Orientace	$A_{w,pohled}$ [m ²]	$A_{sol,gl}$ [m ²]	$A_{c,pohled}$ [m ²]	$A_{sol,c}$ [m ²]
S	2,3	0,76	76,28	0,51
J	17	5,62	61,58	0,41
V	8,95	2,96	48,60	0,33
Z	7,5	2,48	50,05	0,34
Střecha	-	-	203,78	1,14

Tab. 27 Porovnání pohledových a sběrných ploch pro doporučené hodnoty U

Orientace	$A_{w,pohled}$ [m ²]	$A_{sol,gl}$ [m ²]	$A_{c,pohled}$ [m ²]	$A_{sol,c}$ [m ²]
S	2,3	0,82	76,28	0,36
J	17	6,02	61,58	0,29
V	8,95	3,17	48,60	0,23
Z	7,5	2,66	50,05	0,24
Střecha	-	-	203,78	0,76

Tab. 28 Porovnání pohledových a sběrných ploch pro hodnoty U pasivních budov

Orientace	$A_{w,pohled}$ [m ²]	$A_{sol,gl}$ [m ²]	$A_{c,pohled}$ [m ²]	$A_{sol,c}$ [m ²]
S	2,3	0,86	76,28	0,23
J	17	6,37	61,58	0,18
V	8,95	3,35	48,60	0,14
Z	7,5	2,81	50,05	0,15
Střecha	-	-	203,78	0,48

Z tabulek je zjevné, že sběrná plocha neprůsvitných prvků je menší i přesto, že má větší pohledovou plochu ve srovnání s průsvitnými prvky. Se zdokonalujícími se parametry rodinného domu sběrná plocha průsvitných prvků roste z důvodu zmenšování podílu rámu a zlepšování parametrů zasklení. Naopak u neprůsvitných prvků s rostoucími nároky výpočtového modelu sběrná plocha klesá. Je to dané zlepšujícím se součinitelem prostupu tepla.

V neposlední řadě je zohledněno sálání vůči obloze dané rovnicí (29):

$$\Phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_{w,pohledová} \cdot h_r \cdot \Delta t_{e,r}, \quad [W] \quad (29)$$

kde:

h_r součinitel přestupu tepla sáláním na vnější straně [W/m². K]

$\Delta t_{e,r}$ střední rozdíl venkovní teploty vzduchu a zdánlivé teploty oblohy [°C]

Sálání vůči obloze je zohledněno pouze u průsvitných prvků. Součinitel přestupu tepla sáláním na vnější straně je 5 W/m². K odpovídající průměrné teplotě 10 °C a střednímu rozdílu venkovní teploty vzduchu a zdánlivé teploty oblohy se uvažuje 11 K pro mírné teplotní pásmo.

Tab. 29 Hodnoty sálání vůči obloze u jednotlivých modelových variant

Orientace	Požadované hodnoty U $\Phi_{r,průsvitné}$ [W]	Doporučené hodnoty U $\Phi_{r,průsvitné}$ [W]	Hodnoty U pro pasivní budovy $\Phi_{r,průsvitné}$ [W]
Sever	7,59	6,07	3,04
Jih	56,10	44,88	22,44
Východ	29,54	23,63	11,81
Západ	24,75	19,80	9,90

Poslední zbývajícím parametrem, aby bylo možné určit výsledný solární zisk, je korekce stínění na externí překážky, jejíž hodnota pro horizontální stavební konstrukce je rovna 1 a pro vertikální stavební konstrukce je rovna 0,5.

Výsledné měsíční solární zisky jsou uvedeny v tabulce číslo 30 pro všechny modelové varianty. Pro přehlednost je v příloze číslo 2 uvedena tabulka celého výpočtu solárních zisků.

Tab. 30 Výsledné solární zisky modelových variant

Měsíc	Solární tepelné zisky pro požadované hodnoty U [kWh]	Solární tepelné zisky pro doporučené hodnoty U [kWh]	Solární tepelné zisky pro hodnoty U pasivních budov [kWh]
Leden	285	300	323
Únor	340	351	370
Březen	649	658	679
Duben	818	821	837
Květen	1022	1016	1026
Červen	970	961	969
Červenec	995	988	997
Srpen	962	961	975
Září	743	751	771
Říjen	541	554	576
Listopad	212	222	242
Prosinec	158	170	190
Celkem	7694	7752	7954

7.2.3. Využitelnost tepelných zisků

Pro určení výsledné potřeby tepla na vytápění zbývá stanovit faktor využitelnosti tepelných zisků (30) (31) (32), jehož výpočet závisí na podmínce bezrozměrného bilančního poměru pro režim vytápění, a redukční faktor pro přerušované vytápění.

$$\text{když } \gamma_H > 0 \text{ a } \gamma_H \neq 0, \text{ tak } \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}}, \quad [1] \quad (30)$$

$$\text{když } \gamma_H = 1, \text{ tak } \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1}, \quad [1] \quad (31)$$

$$\text{když } \gamma_H < 0, \text{ tak } \eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H}, \quad [1] \quad (32)$$

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,c}}, \quad [1] \quad (33)$$

kde:

γ_H bezrozměrný bilanční poměr pro režim vytápění [1]

a_H bezrozměrný časový parametr [1]

Bezrozměrný časový parametr (34) a časovou konstantu budovy (35) určíme následovně:

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}, \quad [1] \quad (34)$$

$$\tau = \frac{C_m}{3600(H_T + H_V)}, \quad [h] \quad (35)$$

kde:

$a_{H,0}$ bezrozměrný číselný parametr pro měsíční metodu [1]

$\tau_{H,0}$ referenční časová konstanta pro měsíční metodu [hod]

C_m vnitřní tepelná kapacita budovy [J/K]

Vnitřní tepelná kapacita budovy je stanovena hodnotou 370 000 J/K pro velmi těžkou stavbu. Referenční hodnota činí 15 h a bezrozměrný časový parametr pro měsíční metodu je 1. Jelikož je rodinný dům navržen pro nepřetržité vytápění, redukční faktor pro přerušované vytápění je roven 1.

Tab. 31 Porovnání časových konstant a bezrozměrných časových parametrů

Varianta RD	τ [hod]	a_H [1]
Požadované hodnoty U	0,555	1,037
Doporučené hodnoty U	0,746	1,050
Hodnoty U pro pasivní budovy	1,244	1,083

Tab. 32 Porovnání bilančního poměru pro režim vytápění a faktoru využitelnosti tepelných zisků

Požadované hodnoty U			Doporučené hodnoty U			Hodnoty U pro pasivní budovy		
Měsíc	γ_H [1]	$\eta_{H,gn}$ [1]	Měsíc	γ_H [1]	$\eta_{H,gn}$ [1]	Měsíc	γ_H [1]	$\eta_{H,gn}$ [1]
Leden	0,19	0,85	Leden	0,27	0,80	Leden	0,46	0,71
Únor	0,25	0,81	Únor	0,34	0,76	Únor	0,59	0,65
Březen	0,42	0,72	Březen	0,57	0,65	Březen	0,96	0,53
Duben	0,73	0,59	Duben	0,98	0,52	Duben	1,66	0,39
Květen	1,68	0,38	Květen	2,25	0,31	Květen	3,78	0,22
Červen	-	-	Červen	-	-	Červen	-	-
Červenec	-	-	Červenec	-	-	Červenec	-	-
Srpen	-	-	Srpen	-	-	Srpen	-	-
Září	1,18	0,47	Září	1,60	0,39	Září	2,73	0,28
Říjen	0,55	0,66	Říjen	0,75	0,58	Říjen	1,29	0,45
Listopad	0,22	0,83	Listopad	0,31	0,78	Listopad	0,53	0,68
Prosinec	0,15	0,88	Prosinec	0,21	0,84	Prosinec	0,37	0,75

7.2.4. Výsledná vypočtená potřeba tepla na vytápění

Tab. 33 Výsledná potřeba tepla na vytápění pro všechny modelové situace

Měsíc	Požadované hodnoty U	Doporučené hodnoty U	Hodnoty U pro pasivní budovy
	Výsledná potřeba na vytápění [kWh]		
Leden	2447	1710	876
Únor	1913	1321	659
Březen	1570	1050	489
Duben	856	549	235
Květen	282	169	64
Červen	0	0	0
Červenec	0	0	0
Srpen	0	0	0
Září	385	236	93
Říjen	954	623	276
Listopad	1765	1225	617
Prosinec	2473	1747	918
Roční potřeba tepla na vytápění [kWh/rok]	12644	8630	4228
Měrná roční potřeba na vytápění [kWh/m².rok]	59	39	18

Z tabulky číslo 33 lze vidět poměrně velké rozdíly potřeby tepla na vytápění mezi jednotlivými navrženými variantami. Lze poměrně snadno určit, do jaké kategorie budov jednotlivé modely rodinného domu patří na základě měrné potřeby tepla na vytápění vztažené na 1 m² energeticky vztažné plochy za rok.

Modelový výpočet pro doporučené hodnoty součinitelů prostupu tepla je řazen do nízkoenergetických budov, jelikož měrná roční potřeba na vytápění je nižší než 50 kWh/m². Varianta hodnot pro pasivní budovy součinitelů prostupu tepla odpovídá právě pasivním budovám, protože měrná roční potřeba je pod hranicí 19 kWh/m². Tabulka kompletního výpočtu potřeby tepla na vytápění je uvedena v příloze číslo 3.

7.3. Potřeba tepla na přípravu teplé vody

Výpočet denní potřeby tepla na přípravu teplé vody je dán podle vztahu (36):

$$Q_{TV} = \frac{(1 + z) \cdot n_{os} \cdot V_{2P} \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3600}, \quad [\text{kWh}] \quad (36)$$

kde:

z	poměrná ztráta tepla přípravy a distribuce TV	[1]
V_{2P}	potřeba teplé vody na osobu	[m ³]
c	měrná tepelná kapacita vody	[J/kg.K]
n_{os}	počet osob v domácnosti	[1]
t_{TV}	teplota teplé vody	[°C]
t_{SV}	průměrná teplota přiváděné studené vody	[°C]

Návrhové hodnoty jednotlivých proměnných jsou uvedeny v tabulce číslo 34 pro všechny modelové varianty stejné.

Tab. 34 Návrhové parametry k určení potřeby tepla přípravy TV

z [1]	V_{2P} [m ³ /den]	c [J/kg.K]	n_{os} [1]	t_2 [°C]	t_1 [°C]
0,2	0,035	4187	4	55	10

Poměrná ztráta tepla přípravy a distribuce teplé vody je dána především délkou potrubních rozvodů teplé vody, u rodinných domů se pohybuje okolo 20 % až 30 %. Reálná potřeba teplé vody na den je v rozmezí 35 až 40 litrů na osobu.

Tab. 35 Celková potřeba teplé vody ve srovnání se sníženou potřebou teplé vody v letních měsících

Měsíc	Počet dnů v měsíci	Potřeba TV Q_{TV} [kWh]	Snížená potřeba TV Q_{TV} [kWh]
Leden	31	273	273
Únor	28	246	246
Březen	31	273	273
Duben	30	264	264
Květen	31	273	273
Červen	30	264	264
Červenec	31	273	204
Srpen	31	273	204
Září	30	264	264
Říjen	31	273	273
Listopad	30	264	264
Prosinec	31	273	273
Celkem za rok (kWh/rok)		3209	3073

Pro další výpočty je uvažováno se sníženou roční potřebou tepla pro přípravu teplé vody v letních měsících, která je způsobená nižší přítomností osob v rodinném domě (letní prázdniny, dovolené atd.)

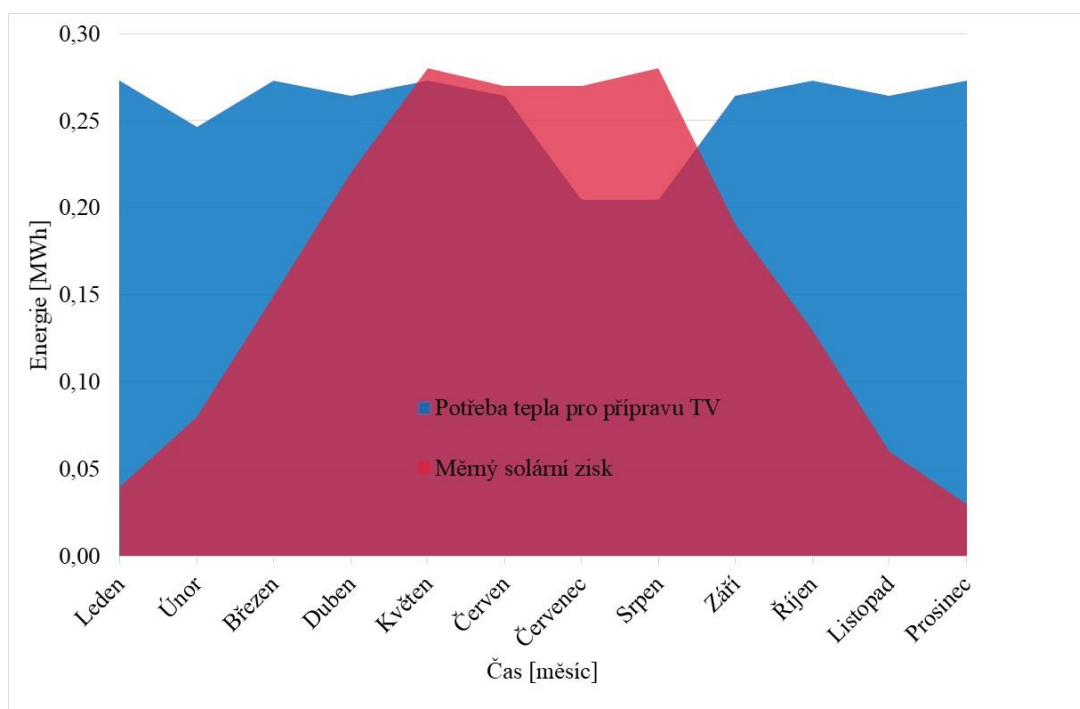
7.3.1. Využití solárních kolektorů na přípravu teplé vody

Oddělenou variantou modelového návrhu rodinného domu je použití solárních kolektorů pro snížení potřeby tepla na přípravu teplé vody. Pro výpočet byl zvolen trubkový solární kolektor Vitosol 300-TM SP3C 1,51 m². Vstupní parametry výpočtu solárního kolektoru jsou zobrazeny v následující tabulce.

Tab. 36 Vstupní parametry výpočtu solárního kolektoru [19]

Počet trubíc	3x12
Optická účinnost η_0 [1]	0,752
Koeficient ztráty a_1 [1]	1,906
Koeficient ztráty a_2 [1]	0,006
Vztažná plocha kolektoru [m²]	0,126
Plocha apertury kolektoru [m²]	0,133
Sklon kolektorů [°]	30

Výpočet byl stanoven podle zjednodušené měsíční bilance solární tepelné soustavy skrze výpočetní nástroj v souladu s TNI 73 0302:2014. [20]

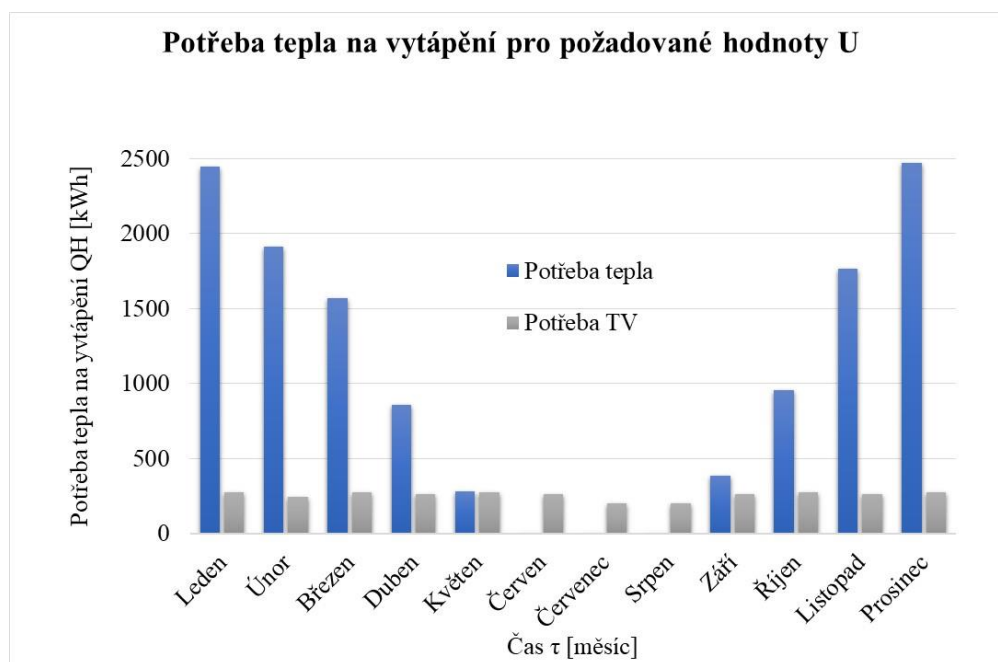


Obr. 16 Hodnota využití energie solárních kolektorů pro přípravu teplé vody

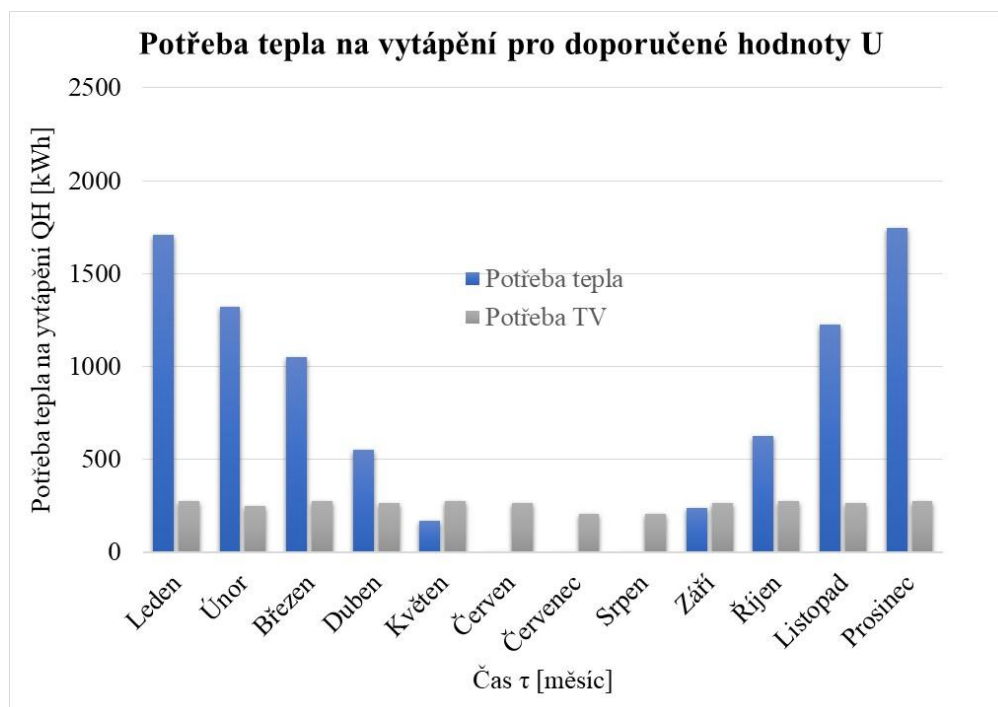
Energický zisk soustavy solárních kolektorů je 1840 kWh za rok. Měrný solární zisk je roven 385 kWh/m² za rok a solární pokrytí kolektorů z pohledu požadavku na přípravu teplé vody činí 59,9 %. Z obrázku je patrné, že od dubna do září mají solární kolektory 100% pokrytí potřeby tepla pro přípravu teplé vody. V červenci a srpnu jsou výraznější solární přebytky, jelikož v těchto letních měsících je počítáno se sníženým odběrem teplé vody. Nevyužitou energii je možno akumulovat nebo využít např. při podpoře ohřevu bazénu apod.

7.4. Srovnání potřeb tepla

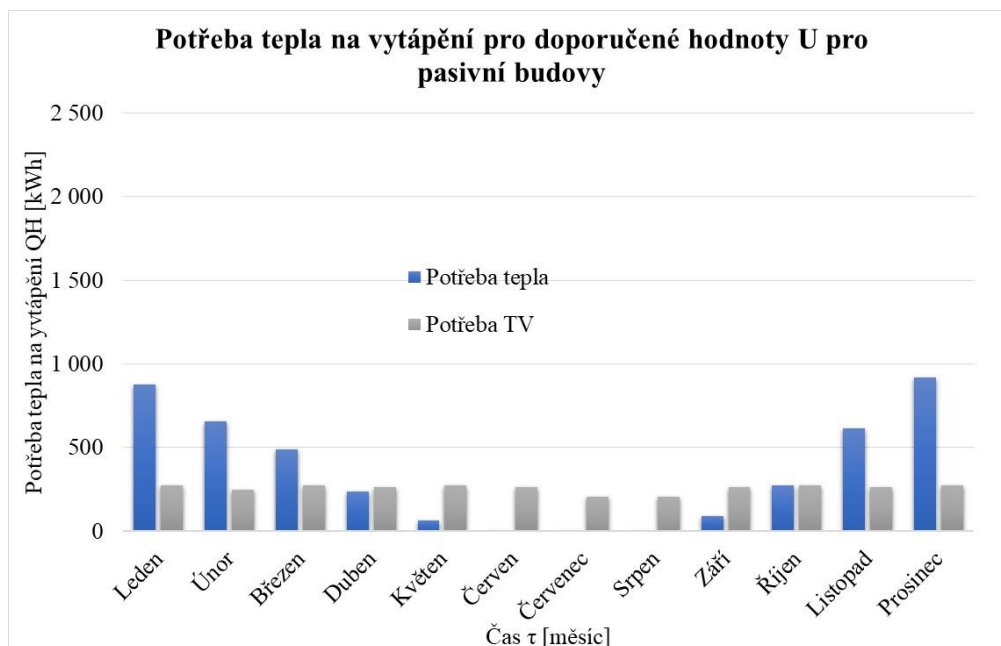
V této kapitole je věnována pozornost grafickému srovnání potřeby tepla na vytápění a potřeby tepla na přípravu teplé vody bez solárních kolektorů a se solárními kolektory pro jednotlivé varianty rodinného domu.



Obr. 17 Porovnání potřeb tepla bez solárních kolektorů pro požadované hodnoty U



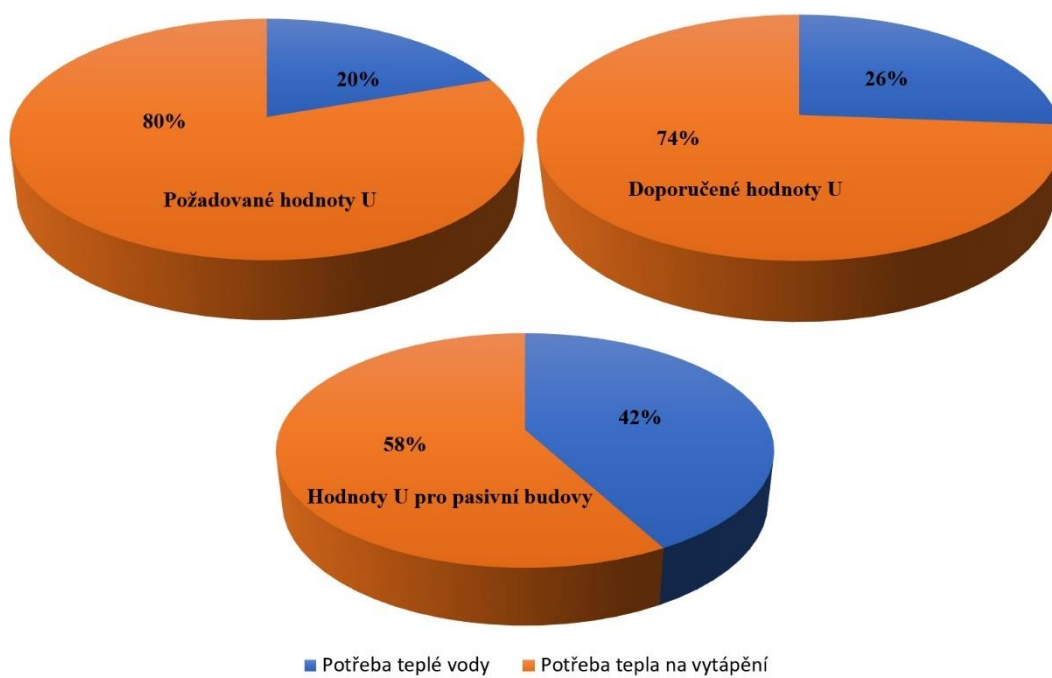
Obr. 18 Porovnání potřeb tepla bez solárních kolektorů pro doporučené hodnoty U



Obr. 19 Porovnání potřeb tepla bez solárních kolektorů pro hodnoty U pasivních budov

Na obrázcích 17 až 19 je zobrazeno porovnání potřeb tepla na vytápění a na přípravu teplé vody u jednotlivých výpočetních modelů. Je očividné, že největší potřeba na vytápění je v zimních měsících a nejmenší v letních měsících, kde dosahuje nulové potřeby. Co se týče potřeby teplé vody, během roku se tolik neliší, pouze v červenci a v srpnu je snížena o 25 % z důvodu letních prázdnin, kdy lidé odjíždějí na dovolenou.

Koláčový graf na obrázku číslo 20 názorně zobrazuje, jaké procento potřeby tepla na vytápění a potřeby tepla na přípravu teplé vody je v daných variantách zastoupeno. Oddělená varianta použití solárních kolektorů může přinést výrazné snížení potřebné energie přípravy teplé vody, což znamená také snížení finančních nároků.



Obr. 20 Poměr potřeby tepla na vytápění a potřeby teplé vody jednotlivých variant bez solárních kolektorů

8 Náklady a investice

8.1. Určení ceny hrubé stavby

Výpočet hrubé ceny stavby (37) je dán na základě jednoduchého výpočtu zohledňující užitnou plochu budov, lokalitu, kde se bude objekt nacházet, svažítost pozemku, patrovost budovy a způsob provádění stavby. Cena je uvedena bez DPH.

$$\begin{aligned} \text{Cena hrubé stavby} = & \text{cena za } 1\text{m}^2 \cdot \text{užitná plocha} \cdot \text{patrovost} \cdot \\ & \cdot \text{svažítost pozemku} \cdot \text{způsob provádění stavby} \cdot \text{lokalita} \quad [\text{Kč}] \quad (37) \end{aligned}$$

Vstupní parametry výpočtu jsou zobrazeny v následující tabulce. Hrubá stavba je určena pro užitnou plochu 163 m² s cenou 14 000 Kč za 1 m². Jedná se o dvoupodlažní rodinný dům s rovinným pozemkem. Je uvažováno, že se bude nacházet v Praze a budova bude zrealizována pomocí stavební firmy.

Tab. 37 Vstupní parametry do výpočtu ceny hrubé stavby [21]

Patrovost	1 patro = 1,05	2 a více pater = 1
Svažítost pozemku	Svažítý = 1,1	Rovinatý = 1
Způsob provádění stavby	Svépomocí = 0,9	Stavební firma = 1
Lokalita	Praha a Středočeský kraj = 1,2	Ostatní = 1

Výsledná cena hrubé stavby je dle výpočtu stanovena na 2 738 400 Kč pro všechny výpočtové varianty.

8.2. Určení ceny zateplení

Cena tepelné izolace je určena pro každou variantu rodinného domu zvlášť a následně porovnávána. Stanovila se pro konstrukce oddělující interiér a exteriér, tj. obvodová stěna, podlaha přilehlá k zemině a střešní konstrukce.

Jak už bylo zmiňováno v kapitole „Zateplení stavebních konstrukcí“, pro zateplení rodinného domu byl vybrán takzvaný šedý expandovaný polystyren EPS značky ISOVER. Cena izolačního materiálu je vyčíslena na 1 m² plochy s ohledem na tloušťku vrstvy polystyrénu bez DPH ze stránek daného výrobce. [22]

Tab. 38 Cena izolace pro požadované hodnoty U

Požadované hodnoty			
Typ	Stavební konstrukce	Tloušťka [m]	Cena Izolace za 1 m ²
Expandovaný polystyren ISOVER	Střešní konstrukce	0,15	366 Kč
Expandovaný polystyren ISOVER	Podlaha k zemině	0,07	223 Kč
Expandovaný polystyren ISOVER Greywall	Obvodová stěna	0,06	149 Kč
Celková kalkulace			
Typ konstrukce		Plocha konstrukce [m ²]	Cena izolace dané konstrukce
Střešní konstrukce		127,71	46 742 Kč
Podlaha k zemině		104,05	23 234 Kč
Obvodová stěna		232,05	34 668 Kč
Celková cena za izolaci			104 645 Kč

Tab. 39 Cena izolace pro doporučené hodnoty U

Doporučené hodnoty			
Typ	Stavební konstrukce	Tloušťka [m]	Cena Izolace za 1 m ²
Expandovaný polystyren ISOVER	Střešní konstrukce	0,23	805 Kč
Expandovaný polystyren ISOVER	Podlaha k zemině	0,11	319 Kč
Expandovaný polystyren ISOVER Greywall	Obvodová stěna	0,11	249 Kč
Celková kalkulace			
Typ konstrukce		Plocha konstrukce [m ²]	Cena izolace dané konstrukce
Střešní konstrukce		127,71	102 832 Kč
Podlaha k zemině		104,05	33 192 Kč
Obvodová stěna		236,51	58 891 Kč
Celková cena za izolaci			194 915 Kč

Tab. 40 Cena izolace pro hodnoty U pasivních budov

Doporučené Hodnoty pro pasivní budovy			
Typ	Stavební konstrukce	Tloušťka [m]	Cena Izolace za 1 m²
Expandovaný polystyren ISOVER	Střešní konstrukce	0,37	903 Kč
Expandovaný polystyren ISOVER	Podlaha k zemině	0,23	734 Kč
Expandovaný polystyren ISOVER Greywall	Obvodová stěna	0,22	548 Kč
Celková kalkulace			
Typ konstrukce		Plocha konstrukce [1 m²]	Cena izolace dané konstrukce
Střešní konstrukce		127,71	115 297 Kč
Podlaha k zemině		104,05	76 341 Kč
Obvodová stěna		248,21	135 969 Kč
Celková cena za izolaci			327 608 Kč

Z tabulek 38 až 40 je možno usoudit, že mezi jednotlivými variantami je rozdíl zhruba 100 000 Kč, co se týče zateplení rodinného domu. Teoretický přechod z požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla na hodnoty pasivních budov je v řádu 200 000 Kč.

8.3. Určení ceny oken a dveří

Určení ceny oken a dveří je provedeno skrze kalkulátor oken [23]. Podle navržených rozměrů je v kalkulátoru vybrán typ okna, popřípadě typ dveří, následně materiál a typ zasklení. Po určení těchto parametrů je spočítána výsledná cena bez DPH. V tabulkách 41 až 43 je zobrazena cena pro jednotlivé typy oken a dveří A až H popisovány v kapitole „Okna a dveře“.

Tab. 41 Cena zasklených prvků pro požadované hodnoty U

Požadované hodnoty U	
Typ okna/dveří	Cena za kus bez DPH
Okno A	4 044 Kč
Okno B	3 487 Kč
Okno C	1 106 Kč
Okno D	1 549 Kč
Okno E	5 177 Kč
Okno F	2 867 Kč
Dveře G	3 084 Kč
Dveře H	5 903 Kč
Cena celkem za průhledné prvky	27 217 Kč

Tab. 42 Cena zasklených prvků pro doporučené hodnoty U

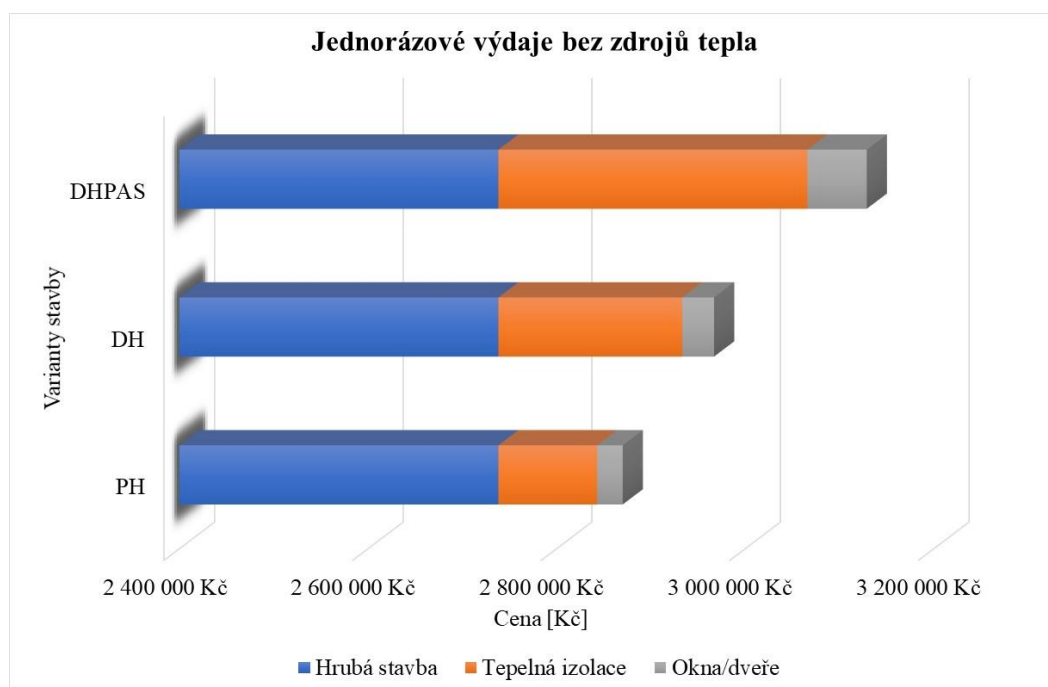
Doporučené hodnoty U	
Typ okna/dveří	Cena za kus bez DPH
Okno A	5 020 Kč
Okno B	4 328 Kč
Okno C	1 373 Kč
Okno D	1 922 Kč
Okno E	6 426 Kč
Okno F	3 559 Kč
Dveře G	3 828 Kč
Dveře H	7 327 Kč
Cena celkem za průhledné prvky	33 783 Kč

Tab. 43 Cena zasklených prvků pro hodnoty U pasivních budov

Hodnoty U pro pasivní budovy	
Typ okna/dveří	Cena za kus bez DPH
Okno A	9 393 Kč
Okno B	7 977 Kč
Okno C	2 628 Kč
Okno D	3 897 Kč
Okno E	12 588 Kč
Okno F	6 266 Kč
Dveře G	6 917 Kč
Dveře H	13 385 Kč
Cena celkem za průhledné prvky	63 051 Kč

Největší rozdíl cen zasklených prvků je mezi doporučenými hodnotami U a hodnotami U pro pasivní budovy, který činí kolem 30 000 Kč.

Pro požadované hodnoty a doporučené hodnoty U jsou zvolena dvojskla s pětikomorovým systémem a pro hodnoty U pasivních budov jsou stanovena trojskla se sedmikomorovým systémem. Hlavním důvodem odlišnosti ceny je požadavek na součinitele prostupu tepla zasklením, který je zmiňován v předešlých kapitolách.



Obr. 21 Porovnání celkových jednorázových výdajů u jednotlivých variant rodinného domu

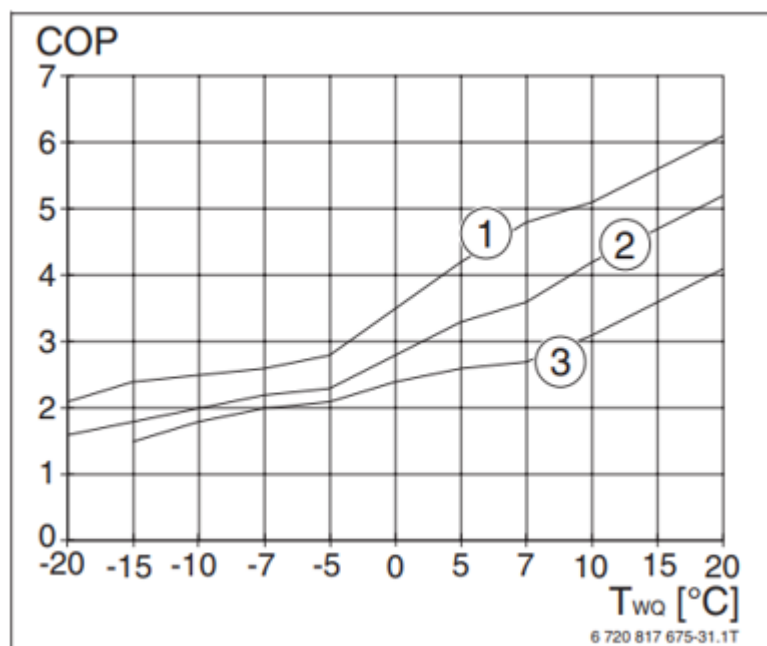
8.4. Určení ceny energií na vytápění a přípravu teplé vody

Pro vytápění a pro přípravu teplé vody jsou použity 3 varianty zdrojů tepla, tepelné čerpadlo vzduch-voda, plynový kondenzační kotel a kotel na biomasu. Jako oddělená varianta jsou pro přípravu teplé vody použity solární kolektory.

8.4.1. Tepelné čerpadlo

Jako tepelné čerpadlo vzduch-voda je zvolen Logatherm WPLS 8.2. Cena tepelného čerpadla včetně akumulčního zásobníku 200 l je 172 400 Kč bez DPH, zjištěno z katalogu výrobce. [24]

Aby mohla být stanovena cena energií za provoz tepelného čerpadla, je nezbytné určit celkovou roční spotřebu tepla tepelného čerpadla. Prvním krokem je vyčíslení sezónního topného faktoru tepelného čerpadla.



- [1] 35 °C
 [2] 45 °C
 [3] 55 °C
 COP Topný faktor
 T_{wo} Teplota venkovního vzduchu

Obr. 22 Výkonová křivka tepelného čerpadla Logatherm WPLS 8.2 [25]

Provozování teplé vody a otopné soustavy je 55/40 °C. Výpočet sezónního topného faktoru *SPF* je zobrazeno v tabulce číslo 44 za pomoci obrázku číslo 22. Topný faktor pro 40 °C je určen interpolací. Výsledný sezónní topný faktor je vypočten jako součet vážených průměrů topného faktoru *COP* jednotlivých měsíců.

Tab. 44 Výpočet sezónního topného faktoru

Měsíc	Počet dnů	Střední měsíční venkovní teploty v ČR [°C]	WPLS 8,2	
			40 °C (VYT)	55 °C (TV)
září	30	13,8	4,00	3,50
říjen	31	9,4	3,53	3,00
listopad	30	4	2,98	2,60
prosinec	31	-0,5	2,68	2,40
leden	31	-1	2,58	2,30
únor	28	1	2,80	2,50
březen	31	4	2,98	2,60
duben	30	9	3,46	2,95
květen	31	14,6	4,10	3,60
červen	30	17	-	3,80
červenec	31	18,2	-	4,00
srpen	31	18,8	-	4,05
SPF			3,23	3,11

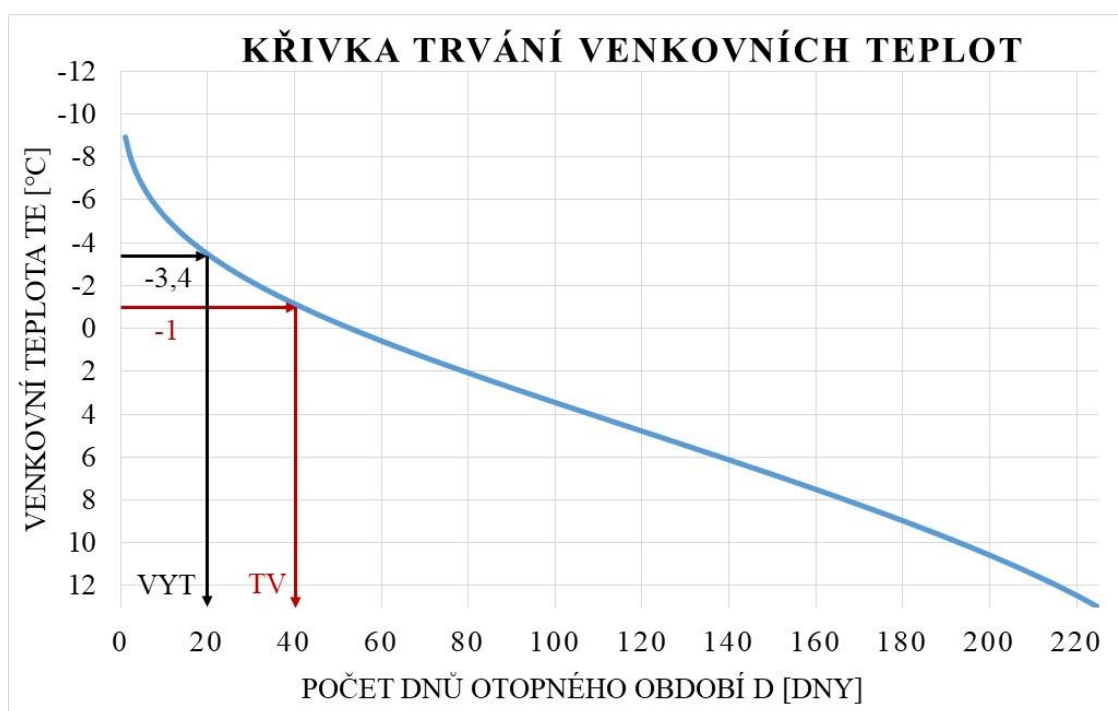
Následně stanovíme takzvaný koeficient tepelného čerpadla pro vytápění a pro přípravu teplé vody. Obecný vzorec pro výpočet koeficientu (38) je:

$$k_{T\dot{C}} = \frac{d_{\text{otopné/roční}} - d_{\text{bez provozu}}}{d_{\text{otopné/roční}}}, \quad [1] \quad (38)$$

kde:

$d_{\text{otopné/roční}}$ počet dnů za otopné období nebo během celého roku [den]

$d_{\text{bez provozu}}$ počet dnů, kdy není čerpadlo schopné zásobování [den]



Obr. 23 Křivka trvání venkovních teplot

Na obrázku číslo 23 je zobrazeno, kolik dní není schopno tepelné čerpadlo dodávat energii. Vychází se z tabulky číslo 44. Pokud hodnota topného faktoru COP je menší nebo rovna 2,3, nastane problém z hlediska využitelnosti energie tepelného čerpadla. V tu chvíli čerpadlo není schopné dodávat energii, proto jeho provoz nahrazuje elektrická topná patrona. Pro tento konkrétní případ není čerpadlo schopno zásobovat po dobu 40 dní v roce, co se týče přípravy teplé vody, a po dobu 20 dní není schopno dodávat tepelnou energii na vytápění. Z teoretického obecného hlediska je otopná soustava v provozu 225 dní v roce a příprava teplé vody je potřeba po celý rok.

Koeficient tepelného čerpadla na vytápění je roven z výpočtu hodnotě 0,91 a koeficient tepelného čerpadla na přípravu teplé vody je roven hodnotě 0,89.

Dalším krokem je převést potřebu tepla na spotřebu tepla na vytápění a přípravu teplé vody (40) (41). Spotřeba je dána právě již spočteným sezónním topným faktorem, účinností regulace potrubí 98 % a účinností tepelných rozvodů 97 %.

$$Q_{s,c} = Q_{s,H} + Q_{s,TV}, \quad [\text{kWh}] \quad (39)$$

kde:

$Q_{s,VYT}$ spotřeba tepla na vytápění za rok [kWh]

$Q_{s,TV}$ spotřeba tepla pro přípravu teplé vody za rok [kWh]

$$Q_{s,H,T\check{c}} = \frac{Q_H}{\frac{\eta_R \cdot \eta_O}{SPF_H}} \cdot k_{T\check{c},H} + (1 - k_{T\check{c},H}) \cdot \frac{Q_H}{\eta_R \cdot \eta_O}, \quad [\text{kWh}] \quad (40)$$

kde:

Q_H potřeba tepla na vytápění [kWh]

η_R účinnost rozvodů [1]

η_O účinnost regulace, ovládání [1]

SPF_H sezonní topný faktor na vytápění [1]

$k_{T\check{c},H}$ koeficient tepelného čerpadla na vytápění [1]

$$Q_{s,TV,T\check{C}} = \frac{Q_{TV}}{\eta_R \cdot \eta_O} \cdot k_{T\check{C},TV} + (1 - k_{T\check{C},TV}) \cdot \frac{Q_{TV}}{\eta_R \cdot \eta_O}, \quad [\text{kWh}] \quad (41)$$

kde:

Q_{TV}	potřeba tepla na přípravu teplé vody	[kWh]
η_R	účinnost rozvodů	[1]
η_O	účinnost regulace, ovládání	[1]
SPF_{TV}	sezonní topný faktor na přípravu teplé vody	[1]
$k_{T\check{C},TV}$	koeficient tepelného čerpadla na přípravu teplé vody	[1]

Tab. 45 Výsledná spotřeba při použití tepelného čerpadla

Typ rodinného domu	Požadované hodnoty U	Doporučené hodnoty U	Hodnoty U pro pasivní budovy
Celková spotřeba $Q_{s,celk}$ [MWh]	6,21	4,63	3,34

V poslední řadě je potřeba zvolit tarif, podle kterého je zpoplatněn roční provoz tepelného čerpadla. I kdyby tepelné čerpadlo nepracovalo, je nutností platit takzvaný stálý měsíční tarif ve výši, která je stanovena podle velikosti jističe tepelného čerpadla. Pro tepelné čerpadlo je stanovena dvoutarifová sazba D56d pro vytápění tepelným čerpadlem s jističem o velikosti 16 A. Výsledná cena ročních energií je vyčíslena z tabulky dodavatele elektřiny skupiny ČEZ uvedené v příloze číslo 4, kde 1 MWh odpovídá částce 1897 Kč s paušálním měsíčním tarifem 297 Kč na měsíc. [26]

Tab. 46 Celková roční cena za provoz tepelného čerpadla u jednotlivých variant rodinného domu

Typ rodinného domu	Požadované hodnoty U	Doporučené hodnoty U	Hodnoty U pro pasivní budovy
Celková roční cena za provoz zdroje [Kč]	15 342	12 339	9 898

8.4.2. Kotel na biomasu

Automatický kotel na biomasu je zvolen Atmos D14-P s účinností 90,3 %. Palivem kotle na biomasu jsou dřevěné pelety. Do ceny kotle na biomasu jsou zohledněny tyto položky: kotel s nádrží na pelety, hořák, odkouření, akumulární nádrž s izolací 500 l a ochrana proti nízkoteplotní korozi. Pro soustavu jsou uvažována také oběhová čerpadla a regulace (přepínací a směšovací trojcestný ventil). Celková cena činí 83 081 Kč bez DPH. Cena hlavních komponent je zjištěna ze stránek výrobce. [27]

Vztah pro výpočet spotřeby tepla na vytápění a přípravy teplé vody (42) (43):

$$Q_{s,H,KB} = \frac{Q_H}{\eta_Z \cdot \eta_R \cdot \eta_O}, \quad [\text{kWh}] \quad (42)$$

$$Q_{s,TV,KB} = \frac{Q_{TV}}{\eta_Z \cdot \eta_R \cdot \eta_O}, \quad [\text{kWh}] \quad (43)$$

kde:

η_Z účinnost zdroje [1]

Tab. 47 Výsledná spotřeba při použití kotle na biomasu

Typ rodinného domu	Požadované hodnoty U	Doporučené hodnoty U	Hodnoty U pro pasivní budovy
Celková spotřeba $Q_{s,celk}$ [MWh]	17,53	12,85	7,72

Pro výpočet provozní ceny je nutné spočítat, kolik kilogramů dřevěných pelet je potřeba ke hrazení celkové spotřeby tepla za rok. Dřevěné pelety se prodávají po 300 kg balení a mají výhřevnost 0,005 MWh/kg. Potřebné roční množství pelet se vypočítá dle vztahu (44):

$$m = \frac{Q_{s,celk}}{H}, \quad [\text{kg}] \quad (44)$$

kde:

H výhřevnost dřevěných pelet [MWh/kg]

Z potřebného množství pelet je určeno, kolik kusů balení je nutné koupit pro roční spotřebu tepla na vytápění a přípravu teplé vody. V letních měsících je zohledněno odstavení kotle na biomasu, jelikož není potřeba vytápět, proto přípravu teplé vody během června, července a srpna hradí elektřina.

Cena pelet je 1 696 Kč za 300 kg balení včetně dopravy, která činí 603 Kč. Roční částka pro hrazení elektřinou v letních měsících sazby D45d pro přípravu teplé vody je určena od dodavatele elektřiny skupiny ČEZ uvedené v příloze číslo 4 a je rovna 4 893 Kč při částce 1978 Kč za MWh s měsíčním paušálním tarifem 297 Kč. [26]

Tab. 48 Celková roční cena za provoz kotle na biomasu u jednotlivých variant rodinného domu

Typ rodinného domu	Požadované hodnoty U	Doporučené hodnoty U	Hodnoty U pro pasivní budovy
Celková roční cena za provoz zdroje [Kč]	25 848	20 760	13 976

8.4.3. Plynový kondenzační kotel

Plynový kondenzační kotel je zvolen Logamax plus GB172-14 s účinností 92 %. Cena kotle včetně odkouření je 53 900 Kč. Technické parametry a cena zdroje je určena dle katalogu výrobce. [24]

Vztah pro výpočet spotřeby tepla na vytápění a přípravu teplé vody (42) (43) je stejný jako u kotle na biomasu, pouze se dosazují hodnoty plynového kondenzačního kotle KK.

Tab. 49 Výsledná spotřeba při použití plynového kondenzačního kotle

Typ rodinného domu	Požadované hodnoty U	Doporučené hodnoty U	Hodnoty U pro pasivní budovy
Celková spotřeba $Q_{s,celk}$ [MWh]	17,97	13,38	8,35

Když porovnáme tabulky 47 a 49, tak kotel na biomasu má celkovou spotřebu u každé varianty nižší než plynový kondenzační kotel i přesto, že účinnost kondenzačního kotle je vyšší. Je to dáno tím, že kotel na biomasu je v provozu pouze 9 měsíců, ostatní měsíce jsou hrazeny elektřinou, jak je zmiňováno výše.

Výsledná cena roční spotřeby plynu je vyčíslena z tabulek dodavatele zemního plynu skupiny ČEZ uvedené v příloze číslo 4 v závislosti na výši sazby ročního odběru. Pro požadované hodnoty U je sazba stanovena na 15-25 MWh, kde cena za 1 MWh je rovna částce 1099 Kč s měsíční paušální sazbou 190 Kč. Pro doporučené hodnoty a hodnoty pro pasivní budovy je stanovena sazba 7,56-15 MWh s částkou 1113 Kč za 1 MWh a paušálním měsíčním tarifem 172 Kč. [26]

Tab. 50 Celková roční cena za provoz plynového kondenzačního kotle u jednotlivých variant rodinného domu

Typ rodinného domu	Požadované hodnoty U	Doporučené hodnoty U	Hodnoty U pro pasivní budovy
Celková roční cena za provoz zdroje [Kč]	22 027	16 960	11 357

8.4.4. Využití solárních kolektorů

Solární kolektory jsou použity Vitosol 300-TM typu SP3C s pořizovací cenou 133 311 Kč vyhledanou pro tento typ solárních kolektorů.

Jako oddělená varianta je využití solárních kolektorů ve spojení s kotlem na biomasu a s plynovým kondenzačním kotlem. V následující kapitole je ukázáno, zda je správným řešením použít solární kolektory z hlediska návratnosti investic u těchto zdrojů tepla.

V tabulce číslo 51 je porovnání celkových spotřeb tepla daných tepelných zdrojů a celkových cen za provoz těchto zdrojů bez solárních kolektorů a se solárními kolektory

Tab. 51 Srovnání použití zdrojů bez a s použitím solárních kolektorů

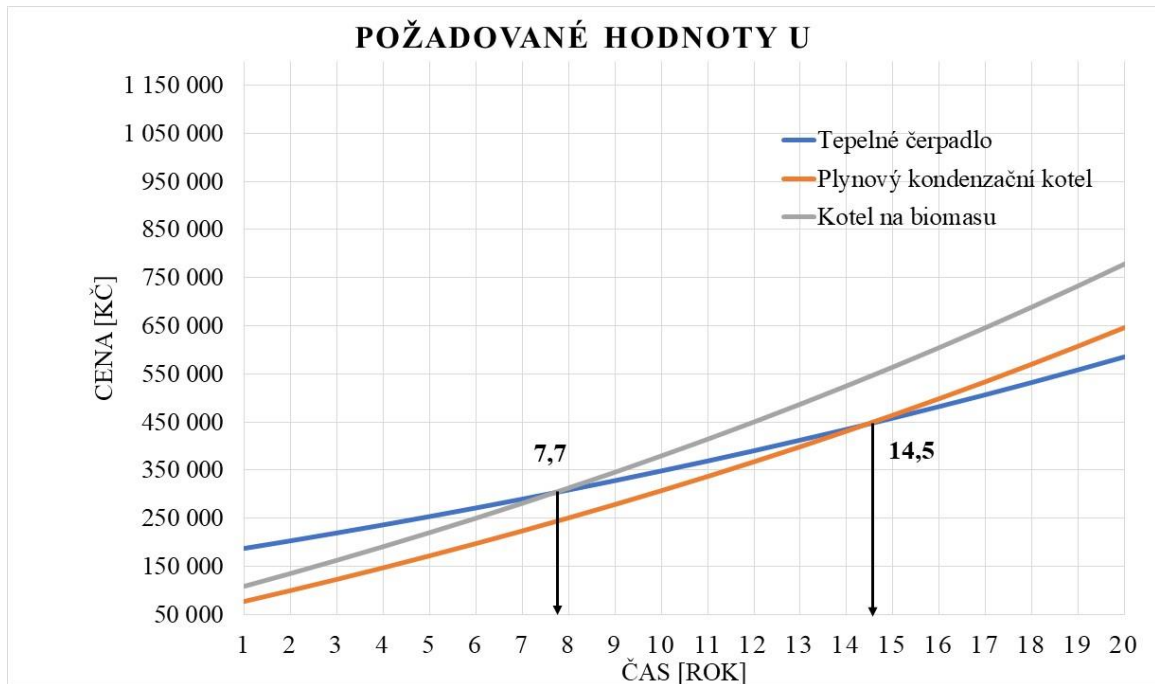
Typ rodinného domu	Požadované hodnoty U	Doporučené hodnoty U	Hodnoty U pro pasivní budovy
$Q_{s,celk}$ [MWh/rok] Kondenzační kotel	17,97	13,38	8,35
$Q_{s,celk,SOLAR}$ [MWh] Kondenzační kotel	15,87	11,28	6,24
$Q_{s,celk}$ [MWh/rok] Kotel na biomasu	17,53	12,85	7,72
$Q_{s,celk,SOLAR}$ [MWh/rok] Kotel na biomasu	15,38	10,71	5,58
Celková cena za provoz kondenzačního kotle [Kč/rok]	22 027	16 960	11 357
Celková cena za provoz kondenzačního kotle SOLAR [Kč/rok]	19 715	14 618	9 015
Celková cena za provoz kotle na biomasu [Kč/rok]	25 848	20 760	13 976
Celková cena za provoz kotle na biomasu SOLAR [Kč/rok]	22 456	17 368	12 280

8.5. Návratnost investic

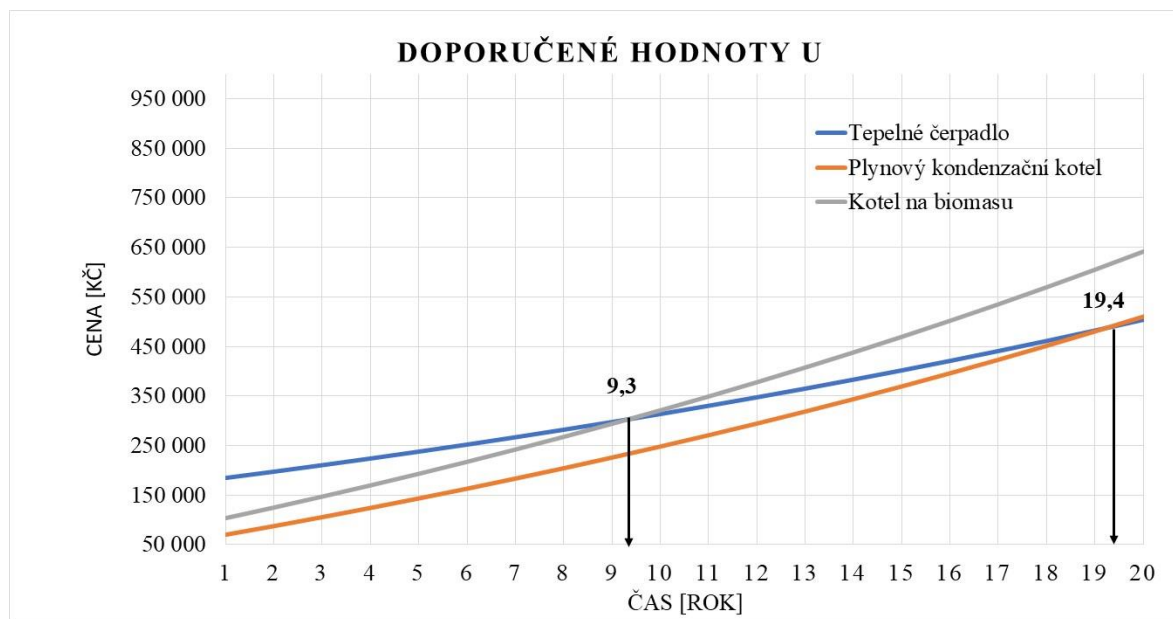
Na základě výsledků investic při použití jednotlivých zdrojů tepla u daných modelových variant rodinného domu je provedeno vyhodnocení v závislosti na čase skrze grafické znázornění doby návratnosti. Reálná doba návratnosti byla stanovena za předpokladu ročního nárůstu cen energií 3 %. Oddělenou variantou je zhodnocení návratnosti investic s použitím solárních kolektorů.

Z následujícího grafu na obrázku číslo 24 je zřejmé, že kvůli vysoké pořizovací ceně tepelného čerpadla se investice cca po 14,5 letech vrátí a jeho provoz pak bude levnější oproti ostatním zdrojům. V tomto případě se investice rozhodně nevyplatí, jelikož optimální doba návratnosti se pohybuje okolo 7 až 8 let. Investice se vyplatí pouze v případě úvahy tepelného čerpadla ve srovnání s kotlem na biomasu, kde doba návratnosti tepelného čerpadla je 7,7 let.

Z grafu lze také vyzorovat neprotnuté křivky kotlů, jelikož kotel na biomasu má vyšší pořizovací cenu a je v provozu pouze 9 měsíců a zbytek měsíců je hrazen dražší elektřinou oproti plynu.

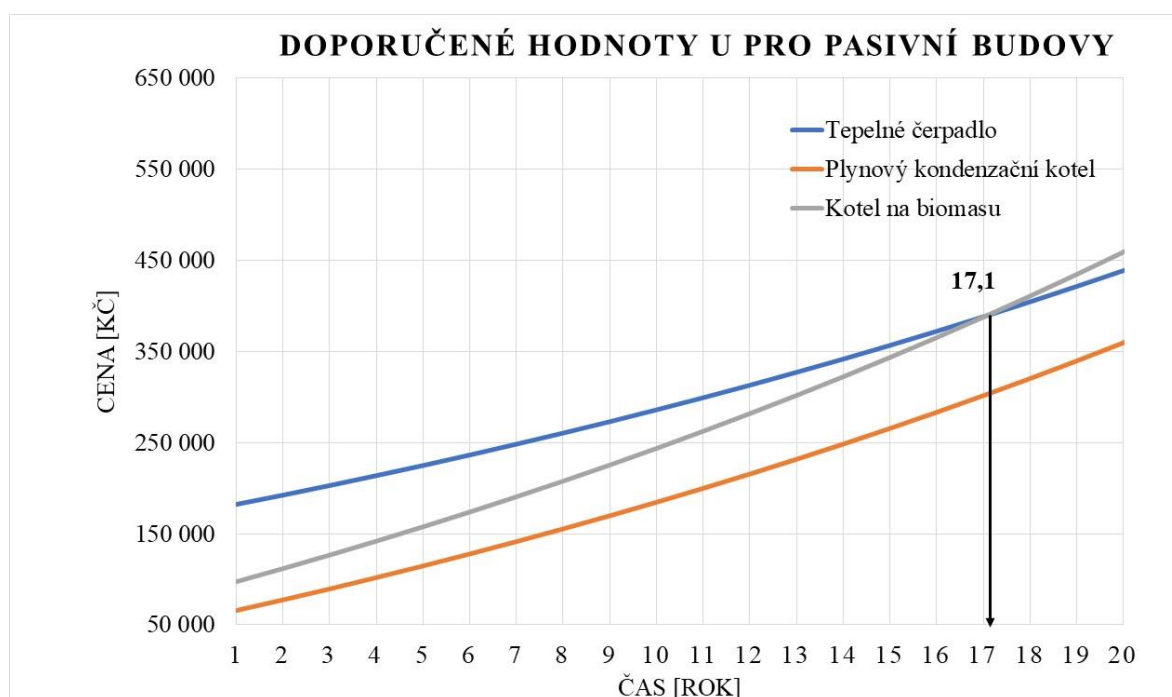


Obr. 24 Návratnost investic požadovaných hodnot U jednotlivých zdrojů tepla



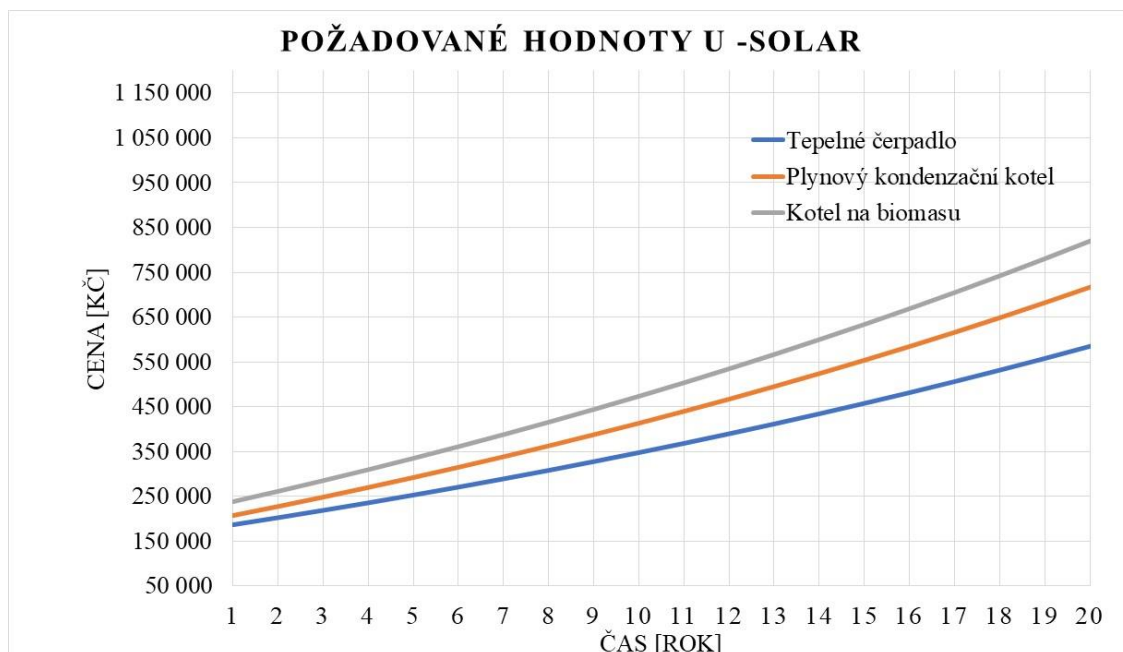
Obr. 25 Návratnost investic doporučených hodnot U pro jednotlivé zdroje tepla

Graf z obrázku 25 je víceméně stejný, pouze se navýšil časový interval doby návratnosti, kdy je provozování tepelného čerpadla levnější oproti ostatním zdrojům tepla. V případě tepelného čerpadla vůči kotli na biomasu je stále ještě zvažitelné, zda se vyplatí do zdroje investovat, když je reálná doba návratnosti tepelného čerpadla lehce nad 9 let. Co se týče srovnání návratnosti tepelného čerpadla a kondenzačního kotle, tam je jasné, že se investice nevyplatí, jelikož doba návratnosti je téměř na hranici 20 let.



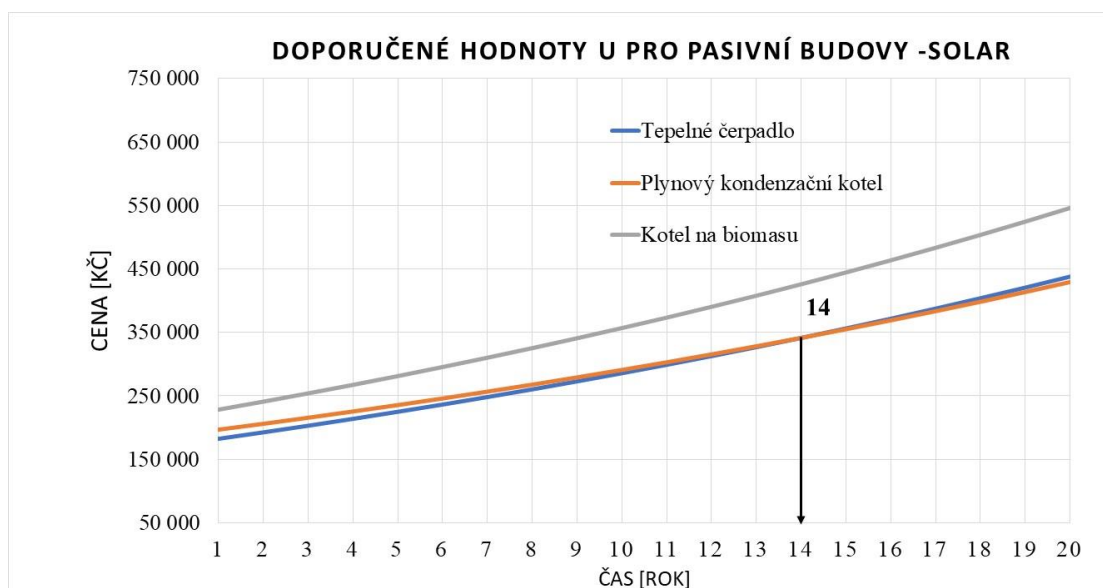
Obr. 26 Návratnost investic hodnot U pro pasivní budovy jednotlivých zdrojů tepla

Pro hodnoty U pro pasivní budovy je nejlepším investičním řešením dle grafu na obrázku číslo 26 plynový kondenzační kotel, který se provozuje nejlevněji v porovnání s ostatními zdroji tepla v intervalu 20 let. Doba, kdy se čerpadlo začne provozovat levněji, je 42 let. Po 42 letech bude mít teoreticky člověk třetí tepelné čerpadlo nebo po druhém servisování tepelného čerpadla při uvažování doby životnosti 20 let, proto se v této variantě v žádném případě tento zdroj tepla nevyplatí.



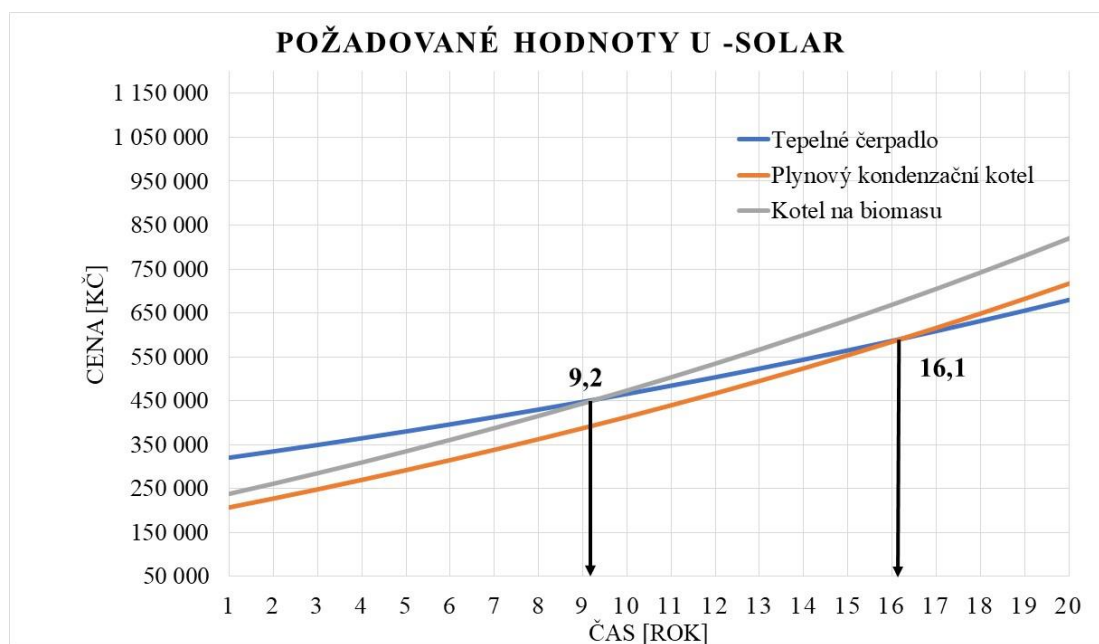
Obr. 27 Návratnost investic bez použití solárních kolektorů u tepelného čerpadla pro požadované hodnoty U

Na obrázku číslo 27 je použito solárních kolektorů u plynového kondenzačního kotle a kotle na biomasu. Po přičtení ceny kolektorů k cenám zdrojů je zřejmé, že se zde se 100% jistotou vyplatí provozování tepelného čerpadla již od začátku. U variant pro požadované a doporučené hodnoty se nestane, že by se jakýkoliv zdroj s větší počáteční investicí provozoval levněji vůči druhému s menší počáteční investicí. Varianta doporučených hodnot U se v grafu promítne pouze strmějšími křivkami. U varianty pasivního rodinného domu na obrázku číslo 28 se po 14 letech začne plynový kondenzační kotel provozovat levněji, ale i přesto je přívětivějším řešením provozování tepelného čerpadla, jelikož 14 let je nedostačující doba návratnosti.



Obr. 28 Návratnost investic bez použití solárních kolektorů u tepelného čerpadla pro hodnoty U pasivních budov

Pro ověření je vykreslen graf na obrázku číslo 29, kde tepelné čerpadlo je rovněž použito spolu se solárními kolektory a porovnáno z hlediska návratnosti investic, kde i přes poměrné finanční náklady se tepelné čerpadlo začne provozovat levněji po 16,1 letech ve srovnání s oběma zbylými zdroji tepla, ale pouze u požadovaných hodnot U . U zbylých dvou se žádné křivky neprotnou. Za zvážení by stála investice do tepelného čerpadla ve srovnání s kotlem na biomasu, kde doba návratnosti je 9,2 let.



Obr. 29 Návratnost investic zdrojů tepla se solárními kolektory u všech zdrojů tepla

Na závěr je vytvořena tabulka celkových počátečních investic, kde jsou zahrnuty ceny hrubé stavby, oken, dveří, izolace a zdroje tepla pro všechny kombinace variant a celkových stálých ročních nákladů na provoz zdrojů v prvním roce.

Tab. 52 Celkové zhodnocení počátečních a stálých nákladů

Celková počáteční investice a celkové stálé náklady na provoz zdrojů bez solárních kolektorů									
Typ zdroje	Tepelné čerpadlo			Plynový kondenzační kotel			Kotel na biomasu		
Varianta rodinného domu	PH	DH	PASH	PH	DH	PASH	PH	DH	PASH
Celková počáteční investice [mil. Kč]	3,043	3,139	3,301	2,924	3,021	3,183	2,953	3,050	3,212
Celkové stálé roční náklady na provoz zdroje [tis. Kč]	15,342	12,339	9,898	22,027	16,960	11,357	25,848	20,760	13,976

9 Závěr

Než jsem začal rozpracovávat konkrétní analytickou, respektive praktickou část, ve které se rovněž prolínaly teoretické poznatky bakalářské práce, zdůvodnil jsem aktuálnost tématu, co se týče energetické náročnosti budov. Následně jsem rozčlenil budovy z hlediska měrné roční potřeby tepla na vytápění a definoval, čím se vyznačují.

Po teoretické úvodní části následovala volba rodinného domu, pro který jsem v následující kapitole navrhoval jednotlivé stavební konstrukce, které musely odpovídat požadavkům součinitelů prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2. Výpočet tepelných ztrát pro jednotlivé modelové varianty budov rodinných domů byl stanoven na základě normy ČSN EN 12 831. Při výpočtu tepelné ztráty prostupem jsem se zaměřil na vliv tepelných mostů. Čím vyšší nároky na stavbu byly z hlediska součinitelů prostupu tepla, tím nižší procento tepelných mostů se do výpočtu zahrnovalo. U stanovení tepelné ztráty větráním jsem navrhl rekuperační jednotku pro nucené rovnotlaké větrání, která měla velký vliv na snížení potřeby tepla, čehož jsem se snažil dosáhnout hlavně u modelové varianty součinitelů prostupu tepla pro pasivní budovy. Potřebu tepla jsem počítal dle ČSN EN ISO 13 790. Pro požadované hodnoty součinitelů prostupu tepla vyšla měrná potřeba 59 kWh/m².rok, což je lehce nad hranicí nízkoenergetických domů. Výpočtový model pro doporučené hodnoty součinitelů prostupu tepla odpovídal nízkoenergetické budově s hodnotou 39 kWh/m².rok a výsledná měrná potřeba součinitelů prostupu tepla pro pasivní budovy činila 19 kWh/m².rok odpovídající pasivnímu standardu. Po vyčíslení potřeby tepla na přípravu teplé vody bylo vidět, že oproti potřebě tepla na vytápění je výrazně menší, avšak u výpočtového modelu pasivní budovy byla téměř v poměru 1:1 s potřebou tepla na vytápění. Oddělenou variantou bylo přidání solárních kolektorů pro přípravu teplé vody.

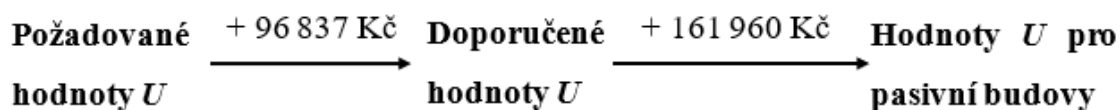
V kapitole „Náklady a investice“ jsem se zprvu zaměřoval na vyčíslení jednorázových výdajů: hrubá stavba, prosklené prvky a tepelná izolace. Dále jsem pokračoval v určení ceny energií s použitím tepelného čerpadla, kotle na biomasu a plynového kondenzačního kotle pro všechny výpočtové modely, čímž se mi výpočty rozrostly na 9 různých variant. Pro každou z nich jsem nejdříve určil celkovou spotřebu tepla a na základě cen paliva a dodavatele elektřiny a plynu stanovil výslednou cenu za provoz zdroje pro vytápění a přípravu teplé vody. V poslední kapitole jsem vše shrnul v grafickém zpracování reálné doby návratnosti investic s ročním nárůstem energií 3 %.

Dále bych se zaměřil na celkové zhodnocení získaných hodnot z hlediska reálné návratnosti investic zahrnujících veškeré předešlé výpočty z celé práce.

Nejdříve se podívám na řešení z hlediska reálné doby návratnosti zdrojů tepla na vytápění a přípravu teplé vody. Z předešlých výsledků jsem došel k závěru, že nejlepším řešením je plynový kondenzační kotel, jelikož ze všech možných variant se provozuje nejlevněji, když uvažuji optimální dobu návratnosti tepelného zdroje 7 až 8 let. Pokud by teoreticky nebylo možno zajistit dodávku plynu do rodinného domu, druhým řešením je tepelné čerpadlo pouze pro požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla i přes jeho vysoké náklady. Ve srovnání se zbývajícím zdrojem tepla, kotlem na biomasu, se tepelné čerpadlo začne provozovat levněji v prvním případě po uplynutí 7,7 let a v druhém případě po uplynutí 9,3 let, kde by se dala ještě odchylka od optimální doby tolerovat. U varianty pasivního domu je lepší jako druhé řešení zvolit kotel na biomasu, jelikož cena tepelného čerpadla se navrátí až po 17 letech, což je téměř na hranici životnosti, proto není vhodné jej volit.

Oddělenou variantou bylo přidání solárních kolektorů pouze ke kotli na biomasu a plynovému kondenzačnímu kotli. Řešení bylo jednoznačné, jelikož se křivky nikdy neprotnulý v optimální době. Proto jsem udělal ještě variantu, kde jsem připojil solární kolektory i k tepelnému čerpadlu. Ukázalo se, že ve srovnání s kotlem na biomasu u požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla i přes vysoké náklady tepelného čerpadla se investice vrátí do 9,2 let.

Posledním určením řešení je, zda se navrátí investice maximálně do 10 let s ohledem na přechod mezi jednotlivými variantami hodnot součinitele prostu tepla.



Obr. 30 Přechod mezi jednotlivými variantami hodnot U

Na obrázku 30 je zobrazeno, jaký je cenový rozdíl mezi jednotlivými variantami rodinných domů. Když vezmeme tato čísla v úvahu, musí se nám vrátit daná částka s ohledem na jakou variantu budeme rodinný dům vylepšovat v horizontu 10 let. Při zvolení nejlepšího řešení, jakým je plynový kondenzační kotel, se částka při přechodu z požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla na doporučené vrátí v časovém intervalu cca 19 let. Pokud bychom chtěli přejít z požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla rovnou na hodnoty pasivních budov, částka se vrátí při použití plynového kondenzačního kotle do 24 let.

Závěrem bych řekl, že člověk by měl investovat tak, aby se výdaje vrátily v intervalu životnosti zdroje či budovy, a pak nadále již zmíněnou investicí vydělávat. Řešení by mělo jít každopádně vstříc životnímu prostředí a šetřit co nejvíce jeho primární neobnovitelné zdroje a naopak využívat primární energii z obnovitelných zdrojů.

10 Seznam použité literatury

10.1. Knižní publikace

- [1] SMOLA, Ing. arch. Josef. *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*. Praha: Grada Publishing, 2011. ISBN 978-80-247-2995-4.
- [2] HUDCOVÁ, Lenka. *Energetická náročnost budov: základní pojmy a platná legislativa*. Praha: EkoWATT, 2009. ISBN 978-80-87333-03-7.
- [3] VAVERKA, Jiří. *Stavební tepelná technika a energetika budov*. Brno: VUTIUM, 2006. ISBN 80-214-2910-0.
- [4] ŠUBRT, Roman. *Tepelné mosty: pro nízkoenergetické a pasivní domy: 85 prověřených a spočítaných stavebních detailů*. Praha: Grada Publishing, 2011. ISBN 978-80-247-4059-1.

10.2. Elektronické zdroje

- [5] *Aktualizace Státní energetické koncepce české republiky 2012* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu. [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/2012/11/ASEK.pdf>
- [6] *Energetický průkaz* [online]. Comfort space. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <http://www.energeticky-prukaz.com/energeticky-prukaz-stitek.aspx>
- [7] *Nízkoenergetické a pasivní domy* [online]. Komparo. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <http://www.komparo.cz/vystavba>
- [8] *Projekty a domy* [online]. Gservis. [cit. 2018-06-14]. Dostupné z: http://www.gservis.cz/projekty-rodinnych-domu/pasivni_dum_aygon.html
- [9] *Pozemní stavitelství IV* [online]. Fakulta stavební Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps4/12.html>

- [10] *Nulové domy, domy s téměř nulovou spotřebou energie* [online]. ENVIC, občanské sdružení. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <http://www.nulovedomy.org/prakticke-informace-a-rady-pro-stavbu/druhy-clanek.htm>
- [11] *Inteligentní stavební systém Durisol* [online]. Durisol. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <https://webmium.blob.core.windows.net/users/71868/assets/97ce56a8003069e5c242b8a514f8542d/technickapriruckaprojektanty.pdf>
- [12] *Pozemní stavitelství II* [online]. Fakulta stavební Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps2/podlahy.html>
- [13] *Informace o střešních krytinách* [online]. Krytiny-střechy. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: https://www.krytiny-strechy.cz/technicke_info-k-navrhovani-strech/stresni-plast-odvetrani/?nid=21178-jak-spravne-odvetrat-stresni-plast-3-dil-miniserie.html#.WwlMaEiFMdV
- [14] *Česká technická norma ČSN EN 12831* [online]. Česká agentura pro standardizaci. [cit. 2018-06-14]. Dostupné z: <https://csnonline.agentura-cas.cz/Detailnormy.aspx?k=72496>
- [15] *Tepelné izolace: tepelné mosty ve stavebních konstrukcích* [online]. Tzb-info. [cit. 2018-06-15]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/2526-tepelne-mosty-ve-stavebnich-konstrukcich>
- [16] *Co je to rekuperace?* [online]. Atrea. [cit. 2018-06-15]. Dostupné z: <http://www.atrea.cz/cz/co-je-to-rekuperace>
- [17] *Rekuperační jednotka Venus* [online]. 2VV. [cit. 2018-06-15]. Dostupné z: <http://www.2vv.cz/katalog-produktu/venus>
- [18] *Technické normy: ČSN EN ISO 13 790* [online]. Tzb-info. [cit. 2018-06-15]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/normy/csn-en-iso-13790-2009-10>
- [19] *Sluneční kolektor Vitosol 300-TM* [online]. Viessmann. [cit. 2018-06-15]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/solarni-systemy/trubicove-kolektory/vitosol-300tm.html>

- [20] MATUŠKA, T. a B. ŠOUREK. *Energetické hodnocení solárních tepelných soustav-Zjednodušený výpočtový postup: Balance SS* [online]. Ústav techniky prostředí. [cit. 2018-06-15]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page_id=158.
- [21] *Kolik stojí postavit rodinný dům* [online]. Master Design. [cit. 2018-06-15]. Dostupné z: <https://www.master-design.cz/blog/obecne/kolik-stoji-postavit-rodinny-dum-vcetne-vypoctu>
- [22] *Katalog produktů ISOVER* [online]. ISOVER Saint-Gobain. [cit. 2018-06-15]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/produkty>
- [23] *Kalkulátor oken* [online]. Okna-Hned. [cit. 2018-06-15]. Dostupné z: <https://www.kalkulator-oken.cz/>
- [24] *Ceníky Buderus* [online]. Buderus. [cit. 2018-06-15]. Dostupné z: <https://www.buderus.com/cz/cs/informace/dokumenty/ceniky/>
- [25] *Technický katalog Buderus* [online]. Buderus. [cit. 2018-06-15]. Dostupné z: https://www.buderus.com/cz/media/country-pool/fuer-partner/planunsdokumente/heat_pumps/pp_wpls.2_cz.pdf
- [26] *Ceníky energií* [online]. Skupina ČEZ [cit. 2018-06-15]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/podpora/ceniky.html>
- [27] *Ceník kotlů na tuhá paliva* [online]. Atmos. [cit. 2018-06-15]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/cenik/>

10.3. Použité normy

- [28] ČSN 73 0540-1. *Tepelná ochrana budov. Část 1: Termíny, definice a veličiny pro navrhování a ověřování*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [29] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [30] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov. Část 3: Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [31] ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov. Část 4: Výpočtové metody pro navrhování a ověřování*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [32] ČSN EN ISO 13 370. *Tepelné chování budov: Přenos tepla zeminou – výpočtové metody*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [33] ČSN EN ISO 14683. *Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích: Lineární součinitel prostupu tepla – zjednodušené metody*. Praha: Český normalizační ústav, 2009.
- [34] ČSN EN ISO 13 790. *Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [35] ČSN EN 12 831. *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [37] ČSN 06 0210. *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění: Venkovní výpočtové teploty dle lokalit*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [38] ČSN 06 0320. *Tepelné soustavy v budovách: Příprava teplé vody*. Praha: Český normalizační institut, 2006.

11 Seznam obrázků

Obr. 1 Energetický štítek budovy [6].....	17
Obr. 2 Měrná roční potřeba tepla na vytápění pro jednotlivé kategorie budov	18
Obr. 3 Vizualizace rodinného domu	22
Obr. 4 Půdorys přízemí rodinného domu.....	23
Obr. 5 Půdorys podkrovní rodinného domu	24
Obr. 6 Řez obvodovou stěnou.....	26
Obr. 7 Řez vnitřní stěnou	27
Obr. 8 Řez podlahou přilehlé k zemině	29
Obr. 9 Řez stropem/podlahou	30
Obr. 10 Řez střešní konstrukcí [13]	31
Obr. 11 Schéma použitých typů oken	32
Obr. 12 Schéma nadzemního domu pro výpočet podlahy přilehlé k zemině	39
Obr. 13 Termogram [15].....	43
Obr. 14 Běžná místa výskytu dvojrozměrných tepelných mostů	44
Obr. 15 Určení účinnosti rekuperační jednotky Venus HRV-14 [17]	46
Obr. 16 Hodnota využití energie solárních kolektorů pro přípravu teplé vody	63
Obr. 17 Porovnání potřeb tepla bez solárních kolektorů pro požadované hodnoty U	64
Obr. 18 Porovnání potřeb tepla bez solárních kolektorů pro doporučené hodnoty U	64
Obr. 19 Porovnání potřeb tepla bez solárních kolektorů pro hodnoty U pasivních budov	65
Obr. 20 Poměr potřeby tepla na vytápění a potřeby teplé vody jednotlivých variant bez solárních kolektorů.....	66
Obr. 21 Porovnání celkových jednorázových výdajů u jednotlivých variant rodinného domu	71
Obr. 22 Výkonová křivka tepelného čerpadla Logatherm WPLS 8.2 [25]	72
Obr. 23 Křivka trvání venkovních teplot.....	73
Obr. 24 Návratnost investic požadovaných hodnot U jednotlivých zdrojů tepla	80
Obr. 25 Návratnost investic doporučených hodnot U pro jednotlivé zdroje tepla.....	80
Obr. 26 Návratnost investic hodnot U pro pasivní budovy jednotlivých zdrojů tepla ...	81
Obr. 27 Návratnost investic bez použití solárních kolektorů u tepelného čerpadla pro požadované hodnoty U	82

Obr. 28 Návrátnost investic bez použití solárních kolektorů u tepelného čerpadla pro hodnoty U pasivních budov	82
Obr. 29 Návrátnost investic zdrojů tepla se solárními kolektory u všech zdrojů tepla ..	83
Obr. 30 Přejchod mezi jednotlivými variantami hodnot U	86

12 Seznam tabulek

Tab. 1 Legenda využití místností	24
Tab. 2 Jednotlivé vrstvy obvodové stěny	26
Tab. 3 Jednotlivé vrstvy vnitřních stěn	27
Tab. 4 Typy podlah z hlediska poklesu dotykové teploty	28
Tab. 5 Jednotlivé vrstvy podlahy přilehlé k zemině.....	29
Tab. 6 Jednotlivé vrstvy stropu/podlahy	30
Tab. 7 Složení střešní konstrukce.....	31
Tab. 8 Členění průsvitných konstrukcí.....	32
Tab. 9 Vnitřní výpočtové teploty a plochy jednotlivých místností	36
Tab. 10 Požadované hodnoty součinitelů prostupu tepla neprůsvitných konstrukcí [29]	37
Tab. 11 Požadované hodnoty součinitelů prostupu tepla průsvitných konstrukcí [29]...37	37
Tab. 12 Stanovení tepelného odporu při prostupu tepla stavební konstrukcí [30].....	38
Tab. 13 Součinitel tepelné vodivosti k různým typům povrchu [32].....	38
Tab. 14 Požadované hodnoty součinitelů prostupu tepla	40
Tab. 15 Doporučené hodnoty součinitelů prostupu tepla.....	40
Tab. 16 Hodnoty součinitelů prostupu tepla pro pasivní budovy.....	40
Tab. 17 Součinitel prostupu tepla zeminou pro 3 varianty rodinného domu	41
Tab. 18 Uvažované lineární mosty pro výpočet modelových situací.....	44
Tab. 19 Procentuální podíl tepelných mostů vůči součinu U·S.....	45
Tab. 20 Návrh odvodu a přívodu vzduchu	48
Tab. 21 Výsledné tepelné ztráty variant rodinného domu.....	48
Tab. 22 Celková potřeba tepla variant rodinného domu	51
Tab. 23 Vnitřní tepelné zisky podle hodinové metody	52
Tab. 24 Celkové sluneční záření za měsíc [34].....	53
Tab. 25 Srovnání parametrů průsvitných prvků.....	54
Tab. 26 Porovnání pohledových a sběrných ploch pro požadované hodnoty U	55
Tab. 27 Porovnání pohledových a sběrných ploch pro doporučené hodnoty U.....	55
Tab. 28 Porovnání pohledových a sběrných ploch pro hodnoty U pasivních budov.....	56
Tab. 29 Hodnoty sálání vůči obloze u jednotlivých modelových variant	56
Tab. 30 Výsledné solární zisky modelových variant	57
Tab. 31 Porovnání časových konstant a bezrozměrných časových parametrů	59

Tab. 32 Porovnání bilančního poměru pro režim vytápění a faktoru využitelnosti tepelných zisků.....	59
Tab. 33 Výsledná potřeba tepla na vytápění pro všechny modelové situace.....	60
Tab. 34 Návrhové parametry k určení potřeby tepla přípravy TV	61
Tab. 35 Celková potřeba teplé vody ve srovnání se sníženou potřebou teplé vody v letních měsících	62
Tab. 36 Vstupní parametry výpočtu solárního kolektoru [19].....	63
Tab. 37 Vstupní parametry do výpočtu ceny hrubé stavby [21].....	67
Tab. 38 Cena izolace pro požadované hodnoty U	68
Tab. 39 Cena izolace pro doporučené hodnoty U.....	68
Tab. 40 Cena izolace pro hodnoty U pasivních budov	69
Tab. 41 Cena zasklených prvků pro požadované hodnoty U.....	69
Tab. 42 Cena zasklených prvků pro doporučené hodnoty U	70
Tab. 43 Cena zasklených prvků pro hodnoty U pasivních budov	70
Tab. 44 Výpočet sezónního topného faktoru	72
Tab. 45 Výsledná spotřeba při použití tepelného čerpadla	75
Tab. 46 Celková roční cena za provoz tepelného čerpadla u jednotlivých variant rodinného domu	75
Tab. 47 Výsledná spotřeba při použití kotle na biomasu.....	76
Tab. 48 Celková roční cena za provoz kotle na biomasu u jednotlivých variant rodinného domu	77
Tab. 49 Výsledná spotřeba při použití plynového kondenzačního kotle	77
Tab. 50 Celková roční cena za provoz plynového kondenzačního kotle u jednotlivých variant rodinného domu	78
Tab. 51 Srovnání použití zdrojů bez a s použitím solárních kolektorů	79
Tab. 52 Celkové zhodnocení počátečních a stálých nákladů.....	83

13 Přílohy

13.1. Příloha 1 Výsledné tepelné ztráty

Požadované hodnoty U			
Místnost	Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla Q_T [W]	Návrhová tepelná ztráta větráním Q_V [W]	Celková návrhová ztráta
100	41	4	45
101	1042	25	1067
102	248	8	256
103	438	14	452
104	335	14	348
106	512	31	543
107	613	19	631
108	294	21	316
200	67	4	70
201	367	12	379
202	684	17	701
203	694	18	712
204	371	16	387
205	100	4	104
Celková návrhová ztráta Q_c [W]	5807	206	6013

Doporučené hodnoty U			
Místnost	Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla Q_T [W]	Návrhová tepelná ztráta větráním Q_V [W]	Celková návrhová ztráta
100	25	4	28
101	764	25	789
102	177	8	185
103	316	14	330
104	273	14	286
106	381	31	412
107	453	19	471
108	229	21	251
200	49	4	53
201	262	12	274
202	493	17	510
203	495	18	513
204	281	16	296
205	73	4	77
Celková návrhová ztráta Q_c [W]	4270	206	4476

Hodnoty U pro pasivní budovy			
Místnost	Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla Q_T [W]	Návrhová tepelná ztráta větráním Q_V [W]	Celková návrhová ztráta
100	7	4	10
101	424	25	450
102	99	8	107
103	164	14	178
104	210	14	224
106	222	31	253
107	249	19	268
108	151	21	172
200	35	4	38
201	151	12	163
202	273	17	290
203	268	18	287
204	193	16	208
205	40	4	44
Celková návrhová ztráta Q_c [W]	2486	206	2692

13.2. Příloha 2 Výsledné solární zisky

Měsíc	Počet dnů	Počet hod	Tepelný tok solárních zisků Požadované hodnoty U										Celkový tepelný tok solárních zisků
			Průsvitné konstrukce					Neprůsvitné konstrukce					
	S	J	V	Z	Střecha	S	J	V	Z	Střecha			
	n	n_{hod}	Q_{sol}										Q_{sol}
[den]	[hod]	[kWh]										[kWh]	
Leden	31	744	1,1	188,3	22,0	27,7	0,0	2,7	15,4	3,7	5,0	19,4	285,4
Únor	28	672	4,1	192,7	41,8	38,4	0,0	4,5	15,6	5,7	6,4	30,5	339,7
Březen	31	744	10,2	322,2	101,3	88,6	0,0	8,8	25,2	12,5	13,3	66,7	648,9
Duben	30	720	14,8	364,4	147,1	119,7	0,0	11,9	28,3	17,5	17,5	96,4	817,6
Květen	31	744	23,8	384,9	218,1	162,4	0,0	18,0	29,9	25,4	23,4	136,0	1021,8
Červen	30	720	25,7	332,0	234,5	148,3	0,0	19,3	25,9	27,2	21,4	135,7	969,9
Červenec	31	744	23,8	368,2	209,3	162,4	0,0	18,0	28,6	24,4	23,4	136,8	994,9
Srpen	31	744	18,7	397,5	182,8	153,2	0,0	14,6	30,8	21,5	22,1	120,8	961,9
Září	30	720	10,4	364,4	117,2	105,4	0,0	8,9	28,3	14,2	15,6	78,5	742,9
Říjen	31	744	6,8	292,9	63,9	79,4	0,0	6,5	23,1	8,3	12,1	48,1	541,1
Listopad	30	720	2,2	125,5	19,2	23,2	0,0	3,3	10,7	3,3	4,4	19,6	211,6
Prosinec	31	744	0,6	100,4	13,2	12,9	0,0	2,3	8,9	2,7	3,0	14,4	158,5

Měsíc	Počet dnů	Počet hod	Tepelný tok solárních zisků Doporučené hodnoty U										Celkový tepelný tok solárních zisků
			Průsvitné konstrukce					Neprůsvitné konstrukce					
	S	J	V	Z	Střecha	S	J	V	Z	Střecha			
	n	n _{hod}	Q _{sol}										Q _{sol}
[den]	[hod]	[kWh]										[kWh]	
Leden	31	744	2,0	207,4	26,6	32,2	0,0	1,9	10,9	2,6	3,5	12,9	300,0
Únor	28	672	5,1	211,6	47,5	43,4	0,0	3,2	11,0	4,0	4,5	20,3	350,5
Březen	31	744	11,7	350,8	111,6	97,4	0,0	6,2	17,8	8,8	9,4	44,4	658,1
Duben	30	720	16,6	395,9	160,5	130,7	0,0	8,3	20,0	12,3	12,3	64,2	820,8
Květen	31	744	26,2	418,1	236,6	176,5	0,0	12,7	21,1	17,9	16,4	90,5	1016,1
Červen	30	720	28,3	361,2	254,1	161,3	0,0	13,6	18,3	19,1	15,1	90,3	961,3
Červenec	31	744	26,2	400,1	227,2	176,5	0,0	12,7	20,2	17,2	16,4	91,1	987,7
Srpen	31	744	20,8	431,5	198,9	166,6	0,0	10,2	21,8	15,1	15,6	80,4	960,9
Září	30	720	11,9	395,9	128,5	115,3	0,0	6,3	20,0	10,0	11,0	52,2	751,1
Říjen	31	744	8,1	319,5	71,4	87,6	0,0	4,6	16,3	5,8	8,5	32,1	553,8
Listopad	30	720	3,1	140,0	23,5	27,3	0,0	2,3	7,6	2,3	3,1	13,1	222,3
Prosinec	31	744	1,4	113,3	17,2	16,4	0,0	1,6	6,3	1,9	2,1	9,6	169,7

Měsíc	Počet dnů	Počet hod	Tepelný tok solárních zisků Hodnoty U pro pasivní budovy										Celkový tepelný tok solárních zisků
			Průsvitné konstrukce					Neprůsvitné konstrukce					
	S	J	V	Z	Střecha	S	J	V	Z	Střecha			
	n	n _{hod}	Q _{sol}										Q _{sol}
[den]	[hod]	[kWh]										[kWh]	
Leden	31	744	3,4	228,7	33,0	38,2	0,0	1,2	6,8	1,6	2,2	8,2	323,2
Únor	28	672	6,5	232,3	54,6	49,6	0,0	2,0	6,9	2,5	2,8	12,8	370,0
Březen	31	744	13,6	380,4	122,9	107,2	0,0	3,9	11,2	5,5	5,8	28,0	678,5
Duben	30	720	18,8	427,8	174,5	142,2	0,0	5,2	12,6	7,7	7,7	40,5	836,9
Květen	31	744	29,0	451,5	255,2	190,8	0,0	7,9	13,3	11,2	10,3	57,1	1026,3
Červen	30	720	31,2	391,1	273,5	174,6	0,0	8,4	11,5	11,9	9,4	57,0	968,7
Červenec	31	744	29,0	432,6	245,2	190,8	0,0	7,9	12,7	10,7	10,3	57,5	996,7
Srpen	31	744	23,2	465,8	215,3	180,4	0,0	6,4	13,7	9,4	9,7	50,7	974,6
Září	30	720	13,8	427,8	140,7	126,0	0,0	3,9	12,6	6,2	6,8	33,0	770,8
Říjen	31	744	9,8	347,2	80,5	96,7	0,0	2,8	10,2	3,6	5,3	20,2	576,5
Listopad	30	720	4,5	157,1	29,6	32,9	0,0	1,5	4,8	1,5	1,9	8,2	241,9
Prosinec	31	744	2,7	129,1	23,1	21,4	0,0	1,0	4,0	1,2	1,3	6,0	189,8

13.3. Příloha 3 Výsledná potřeba tepla

Potřeba tepla – požadované hodnoty U															
Měsíc	Dny	Hod	t_{ep} [°C]	H_T [W/K]	$Q_{H,T}$ [kWh]	H_v [W/K]	$Q_{H,V}$ [kWh]	$Q_{H,c}$ [kWh]	$\Phi_{zisk.vnitřní}$ [kWh]	Φ_{sol} [kWh]	$Q_{H,gn}$ [kWh]	γ_H [1]	$\eta_{H,gn}$ [1]	$\alpha_{H,red}$ [1]	$Q_{H,n}$ [kWh]
Leden	31	744	-1	179,02	2828	6,32	100	2928	283	285	568	0,2	0,8	1,0	2447
Únor	28	672	1		2314		82	2396	255	340	595	0,2	0,8		1913
Březen	31	744	4		2162		76	2239	283	649	932	0,4	0,7		1570
Duben	30	720	9		1448		51	1499	274	818	1091	0,7	0,6		856
Květen	31	744	14,6		750		27	777	283	1022	1305	1,7	0,4		282
Červen	30	720	17		0		0	0	274	970	1244	-	-		0
Červenec	31	744	18,2		0		0	0	283	995	1278	-	-		0
Srpen	31	744	18,8		0		0	0	283	962	1245	-	-		0
Září	30	720	13,8		829		29	859	274	743	1016	1,2	0,5		385
Říjen	31	744	9,4		1443		51	1494	283	541	824	0,6	0,7		954
Listopad	30	720	4		2093		74	2166	274	212	485	0,2	0,8		1765
Prosinec	31	744	-0,5		2762		98	2859	283	158	441	0,2	0,9		2473

Potřeba tepla – doporučené hodnoty U															
Měsíc	Dny	Hod	t_{ep} [°C]	H_T [W/K]	$Q_{H,T}$ [kWh]	H_v [W/K]	$Q_{H,V}$ [kWh]	$Q_{H,c}$ [kWh]	$\Phi_{zisk.vnitřní}$ [kWh]	Φ_{sol} [kWh]	$Q_{H,gn}$ [kWh]	γ_H [1]	$\eta_{H,gn}$ [1]	$\alpha_{H,red}$ [1]	$Q_{H,n}$ [kWh]
Leden	31	744	-1	131,5	2078	6,3	100	2178	283	300	583	0,3	0,8	1,0	1710
Únor	28	672	1		1700		82	1782	255	351	606	0,3	0,8		1321
Březen	31	744	4		1589		76	1665	283	658	941	0,6	0,7		1050
Duben	30	720	9		1064		51	1115	274	821	1094	1,0	0,5		549
Květen	31	744	14,6		551		27	578	283	1016	1299	2,2	0,3		169
Červen	30	720	17		0		0	0	274	961	1235	-	-		0
Červenec	31	744	18,2		0		0	0	283	988	1270	-	-		0
Srpen	31	744	18,8		0		0	0	283	961	1244	-	-		0
Září	30	720	13,8		609		29	639	274	751	1025	1,6	0,4		236
Říjen	31	744	9,4		1060		51	1111	283	554	836	0,8	0,6		623
Listopad	30	720	4		1537		74	1611	274	222	496	0,3	0,8		1225
Prosinec	31	744	-0,5		2029		98	2127	283	170	452	0,2	0,8		1747

Potřeba tepla – Hodnoty U pro pasivní budovy															
Měsíc	Dny	Hod	t_{ep} [°C]	H_T [W/K]	$Q_{H,T}$ [kWh]	H_v [W/K]	$Q_{H,v}$ [kWh]	$Q_{H,c}$ [kWh]	$\Phi_{sisk.vnitřní}$ [kWh]	Φ_{sol} [kWh]	$Q_{H,gn}$ [kWh]	γ_H [1]	$\eta_{H,gn}$ [1]	$\alpha_{H,red}$ [1]	$Q_{H,n}$ [kWh]
Leden	31	744	-1	76,3	1205	6,3	100	1305	283	323	606	0,5	0,7	1,0	876
Únor	28	672	1		986		82	1068	255	370	625	0,6	0,7		659
Březen	31	744	4		921		76	998	283	679	961	1,0	0,5		489
Duben	30	720	9		617		51	668	274	837	1110	1,7	0,4		235
Květen	31	744	14,6		320		27	346	283	1026	1309	3,8	0,2		64
Červen	30	720	17		0		0	0	274	969	1242	-	-		0
Červenec	31	744	18,2		0		0	0	283	997	1279	-	-		0
Srpen	31	744	18,8		0		0	0	283	975	1257	-	-		0
Září	30	720	13,8		353		29	383	274	771	1044	2,7	0,3		93
Říjen	31	744	9,4		615		51	666	283	576	859	1,3	0,5		276
Listopad	30	720	4		892		74	966	274	242	515	0,5	0,7		617
Prosinec	31	744	-0,5		1177		98	1274	283	190	473	0,4	0,8		918

13.4. Příloha 4 Tabulky dodavatele energií

	OBCHODNÍ ČÁST CENY			DISTRIBUČNÍ ČÁST CENY			CELKOVÁ CENA		
	1 cena za dodávku plynu Kč/MWh	2 stálá platba Kč/měsíc	3 cena za distribuci plynu Kč/MWh	4 stálá platba Kč/měsíc	5 celková jednotková cena za plyn Kč/MWh	6 součet stálých plateb Kč/měsíc	VÝPOČET CELKOVÉ ROČNÍ PLATBY ZA PLYN roční spotřeba v MWh x sloupec 5 + 12 x sloupec 6 v případě maloodběratele je nutné k výpočtu přičíst i dan z zemního plynu 37,03 Kč (30,60 Kč)/MWh		
ROČNÍ ODBĚR v MWh									
VAŘIM									
do 1,89	822,80 (680,00)	48,40 (40,00)	474,85 (392,44)	75,08 (62,05)	1 297,65 (1 072,44)	123,48 (102,05)			
nad 1,89 do 7,56	822,80 (680,00)	48,40 (40,00)	282,31 (233,31)	105,40 (87,11)	1 105,11 (913,31)	153,80 (127,11)			
OHŘIVÁM VODU									
nad 7,56 do 15	822,80 (680,00)	48,40 (40,00)	253,20 (209,26)	123,73 (102,26)	1 076,00 (889,26)	172,13 (142,26)			
nad 15 do 25	822,80 (680,00)	48,40 (40,00)	239,24 (197,72)	141,19 (116,69)	1 062,04 (877,72)	189,59 (156,69)			
nad 25 do 45	822,80 (680,00)	48,40 (40,00)	192,38 (158,99)	238,82 (197,37)	1 015,18 (838,99)	287,22 (237,37)			
nad 45 do 63	822,80 (680,00)	48,40 (40,00)	182,04 (150,45)	277,59 (229,41)	1 004,84 (830,45)	325,99 (269,41)			
TOPÍM HODNĚ									
nad 63 do 630	822,80 (680,00)	0,00 (0,00)	128,18 (105,93)	148,81 (122,98)	950,98 (785,93)	148,81 (122,98)	VÝPOČET CELKOVÉ ROČNÍ PLATBY ZA PLYN roční spotřeba v MWh x sloupec 5 + roční spotřeba v m ³ / 115 x sloupec 6 v případě maloodběratele je nutné k výpočtu přičíst i dan z zemního plynu 37,03 Kč (30,60 Kč)/MWh		
pro domácnosti je horní hranice bez omezení									

ELEKTRÁNA smlouva na dobu neurčitou	TYP DISTRIBUČNÍ SAZBY distribuční sazba	STANDARD		AKUMULACE 8		ELEKTRO-MOBILITA		AKUMULACE 16		PRŮMOTOP	TEPELNÉ ČERPADLO	ELEKTRICKÉ TOPENÍ	VIKEND
		D01:d	D02:d	D26:d	D27:d	D35:d	D45:d	D56:d	D57:d	D61:d			
OBCHODNÍ ČÁST CENY													
1	cena za dodávku elektřiny	Kč/MWh	1 467,73 (1213,00)	1 467,73 (1213,00)	1 828,31 (1 511,00)	1 828,31 (1 511,00)	1 828,31 (1 511,00)	1 957,78 (1 618,00)	1 957,78 (1 618,00)	1 752,08 (1 448,00)	1 588,73 (1 313,00)	1 588,73 (1 313,00)	1 622,61 (1 341,00)
2	vysoký tarif	Kč/MWh	-	-	1 082,95 (895,00)	1 082,95 (895,00)	1 082,95 (895,00)	1 380,61 (1 141,00)	1 380,61 (1 141,00)	1 525,81 (1 261,00)	1 525,81 (1 261,00)	1 525,81 (1 261,00)	1 344,31 (1 110,00)
3	nizký tarif	Kč/MWh	72,60 (60,00)	72,60 (60,00)	72,60 (60,00)	72,60 (60,00)	72,60 (60,00)	72,60 (60,00)	72,60 (60,00)	72,60 (60,00)	72,60 (60,00)	72,60 (60,00)	72,60 (60,00)
DISTRIBUČNÍ ČÁST CENY													
4	stálá platba	Kč/MWh	2 614,40 (2 160,86)	1 989,45 (1 644,17)	1 924,54 (1 590,53)	1 924,54 (1 590,53)	1 924,54 (1 590,53)	2 907,75 (2 402,29)	2 907,75 (2 402,29)	2 907,75 (2 402,29)	2 907,75 (2 402,29)	190,94 (157,60)	3 016,49 (2 492,97)
5	vysoký tarif	Kč/MWh	-	-	91,38 (75,52)	91,38 (75,52)	91,38 (75,52)	91,38 (75,52)	91,38 (75,52)	91,38 (75,52)	91,38 (75,52)	123,30 (101,90)	175,87 (145,35)
6	nizký tarif	Kč/MWh	-	-	91,38 (75,52)	91,38 (75,52)	91,38 (75,52)	91,38 (75,52)	91,38 (75,52)	91,38 (75,52)	91,38 (75,52)	123,30 (101,90)	175,87 (145,35)
7	stálá platba za rezervovaný výkon podle jističe	Kč/měsíc	10,89 (9,00)	47,19 (39,00)	59,29 (49,00)	59,29 (49,00)	59,29 (49,00)	124,63 (103,00)	124,63 (103,00)	136,73 (113,00)	136,73 (113,00)	153,67 (127,00)	12,10 (10,00)
8	do 3 × 10 A a do 1 × 25 A včetně	Kč/měsíc	18,15 (15,00)	75,02 (62,00)	95,59 (79,00)	95,59 (79,00)	95,59 (79,00)	188,44 (164,00)	188,44 (164,00)	217,80 (180,00)	217,80 (180,00)	245,63 (203,00)	19,36 (16,00)
9	nad 3 × 10 A do 3 × 16 A včetně	Kč/měsíc	22,99 (19,00)	93,17 (77,00)	118,58 (98,00)	118,58 (98,00)	118,58 (98,00)	248,05 (205,00)	248,05 (205,00)	273,46 (226,00)	273,46 (226,00)	306,13 (253,00)	24,20 (20,00)
10	nad 3 × 16 A do 3 × 20 A včetně	Kč/měsíc	27,83 (23,00)	117,37 (97,00)	148,83 (123,00)	148,83 (123,00)	148,83 (123,00)	310,97 (257,00)	310,97 (257,00)	341,22 (282,00)	341,22 (282,00)	382,36 (316,00)	31,46 (26,00)
11	nad 3 × 20 A do 3 × 25 A včetně	Kč/měsíc	36,30 (30,00)	150,04 (124,00)	189,97 (157,00)	189,97 (157,00)	189,97 (157,00)	396,88 (323,00)	396,88 (323,00)	436,81 (361,00)	436,81 (361,00)	490,05 (405,00)	39,83 (33,00)
12	nad 3 × 25 A do 3 × 32 A včetně	Kč/měsíc	44,77 (37,00)	167,55 (135,00)	238,37 (197,00)	238,37 (197,00)	238,37 (197,00)	496,10 (410,00)	496,10 (410,00)	545,71 (451,00)	545,71 (451,00)	620,73 (513,00)	49,61 (41,00)
13	nad 3 × 32 A do 3 × 40 A včetně	Kč/měsíc	56,87 (47,00)	234,74 (194,00)	297,66 (246,00)	297,66 (246,00)	297,66 (246,00)	620,73 (513,00)	620,73 (513,00)	682,44 (564,00)	682,44 (564,00)	837,75 (775,00)	61,71 (51,00)
14	nad 3 × 40 A do 3 × 50 A včetně	Kč/měsíc	71,39 (59,00)	295,24 (244,00)	375,10 (310,00)	375,10 (310,00)	375,10 (310,00)	781,66 (648,00)	781,66 (648,00)	860,31 (711,00)	860,31 (711,00)	1 381,82 (1 142,00)	77,44 (64,00)
15	nad 3 × 50 A do 3 × 63 A včetně	Kč/měsíc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 290,53 (1 895,00)	-
16	nad 3 × 63 A do 3 × 80 A včetně	Kč/měsíc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4 232,58 (3 498,00)	-
17	nad 3 × 80 A do 3 × 100 A včetně	Kč/měsíc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9 440,42 (7 802,00)	-
18	nad 3 × 100 A do 3 × 125 A včetně	Kč/měsíc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12 084,27 (9 987,00)	-
19	nad 3 × 125 A do 3 × 160 A včetně	Kč/měsíc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75,53 (62,42)	-
20	nad 3 × 160 A za každý 1 A	Kč/měsíc	1,13 (0,93)	4,68 (3,87)	5,95 (4,92)	5,95 (4,92)	5,95 (4,92)	12,41 (10,29)	12,41 (10,29)	13,65 (11,28)	13,65 (11,28)	15,21 (12,56)	1,23 (1,02)
21	nad 1 × 25 A za každý 1 A	Kč/měsíc	0,38 (0,31)	1,56 (1,29)	1,98 (1,64)	1,98 (1,64)	1,98 (1,64)	4,14 (3,42)	4,14 (3,42)	4,55 (3,76)	4,55 (3,76)	25,18 (20,61)	0,41 (0,34)
22	daně z elektřiny	Kč/MWh	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)	34,24 (28,30)
23	systemové služby	Kč/MWh	113,29 (93,83)	113,29 (93,83)	113,29 (93,83)	113,29 (93,83)	113,29 (93,83)	113,29 (93,83)	113,29 (93,83)	113,29 (93,83)	113,29 (93,83)	113,29 (93,83)	113,29 (93,83)
24	činnost OTE	Kč/měsíc	6,53 (5,40)	6,53 (5,40)	6,53 (5,40)	6,53 (5,40)	6,53 (5,40)	6,53 (5,40)	6,53 (5,40)	6,53 (5,40)	6,53 (5,40)	6,53 (5,40)	6,53 (5,40)
CELKOVÁ CENA													
25	podpora výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE)	Kč/A počet bází	18,21 (15,05)	18,21 (15,05)	18,21 (15,05)	18,21 (15,05)	18,21 (15,05)	18,21 (15,05)	18,21 (15,05)	18,21 (15,05)	18,21 (15,05)	18,21 (15,05)	18,21 (15,05)
26	podle jističe	Kč/MWh	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)
27	celková jednotková cena za elektřinu včetně daně z elektřiny a systémových služeb	Kč/MWh	4 229,66 (3 495,59)	3 604,71 (2 979,10)	3 900,39 (3 223,46)	3 900,39 (3 223,46)	3 900,39 (3 223,46)	2 396,07 (1 980,22)	2 396,07 (1 980,22)	2 190,37 (1 810,29)	2 027,02 (1 675,22)	1 927,20 (1 592,73)	4 786,64 (3 955,90)
28	vysoký tarif (řádky 1 + 4 + 21 + 22)	Kč/MWh	-	-	1 321,86 (1 092,45)	1 321,86 (1 092,45)	1 321,86 (1 092,45)	1 619,52 (1 338,45)	1 619,52 (1 338,45)	1 764,72 (1 458,45)	1 764,72 (1 458,45)	1 764,72 (1 458,45)	1 667,72 (1 378,26)
29	nizký tarif (řádky 2 + 5 + 21 + 22)	Kč/MWh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	měsíční platby	Kč/měsíc	řádek 3 + řádek 6 až 20 podle jističe + řádek 23	řádek 3 + řádek 6 až 20 podle jističe + řádek 23	řádek 3 + řádek 6 až 20 podle jističe + řádek 23	řádek 3 + řádek 6 až 20 podle jističe + řádek 23	řádek 3 + řádek 6 až 20 podle jističe + řádek 23	řádek 3 + řádek 6 až 20 podle jističe + řádek 23	řádek 3 + řádek 6 až 20 podle jističe + řádek 23	řádek 3 + řádek 6 až 20 podle jističe + řádek 23	řádek 3 + řádek 6 až 20 podle jističe + řádek 23	řádek 3 + řádek 6 až 20 podle jističe + řádek 23	řádek 3 + řádek 6 až 20 podle jističe + řádek 23
31	poplatek na podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE)	Kč/měsíc	řádek 24 × hodnota jističe (A) × počet bází	řádek 24 × hodnota jističe (A) × počet bází	řádek 24 × hodnota jističe (A) × počet bází	řádek 24 × hodnota jističe (A) × počet bází	řádek 24 × hodnota jističe (A) × počet bází	řádek 24 × hodnota jističe (A) × počet bází	řádek 24 × hodnota jističe (A) × počet bází	řádek 24 × hodnota jističe (A) × počet bází	řádek 24 × hodnota jističe (A) × počet bází	řádek 24 × hodnota jističe (A) × počet bází	řádek 24 × hodnota jističe (A) × počet bází
32	podle jističe	Kč/MWh	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)
33	podle spotřeby	Kč/MWh	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)	598,95 (495,00)
WYPOČET CELKOVÉ ROČNÍ PLATBY ZA ELEKTRINU													
roční spotřeba v MWh ve vysokém tarifu × řádek 26													
+ roční spotřeba v MWh v nízkém tarifu × řádek 27													
+ 12 měsíců × řádek 28													
+ nižší výsledek z výpočtu POZE: podle jističe: 12 měsíců × řádek 29, nebo podle spotřeby: spotřeba v MWh ve vysokém a nízkém tarifu × řádek 30													