

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**ENERGETICKÁ NÁROČNOST
RODINNÉHO DOMU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

DAVID HRUŠKA

2 – TZSI – 2022

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hruška** Jméno: **David** Osobní číslo: **491257**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Energetická náročnost rodinného domu

Název bakalářské práce anglicky:

Energy Performance of a Family House

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte rešerši energetické náročnosti rodinného domu v souladu s požadavky na dosažení nízkoenergetického nebo pasivního standardu budovy. Zaměřte se na stanovení energetické náročnosti na vytápění, přípravu teplé vody, osvětlení a systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla. Výsledky aplikujte na návrh alternativních systémů dodávky energie, zejména pak tepelné čerpadlo a místní obnovitelné zdroje energie. Pro navržené koncepce řešení zdrojů tepla proveďte stručnou ekonomickou bilanci systému.

Seznam doporučené literatury:

- [1] ČSN EN 12831-1: Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3. ÚNMZ, 2018,
- [2] ČSN EN 12831-3: Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 3: Tepelný výkon pro soustavy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8-2, M8-3. 1. ÚNMZ 2018,
- [3] ČSN EN ISO 52016-1: Energetická náročnost budov - Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony - Část 1: Výpočtové postupy. ÚNMZ 2019.

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: **29.04.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **29.06.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

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

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

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
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.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Souhrn

Bakalářská práce se zabývá návrhem rodinného domu v souladu se standardy pro pasivní domy daných normou ČSN 73 0540-2. V práci se řeší energetická náročnost pro vytápění a ohřev teplé vody, návrh zdroje tepla a jejich kombinace s alternativními zdroji. Závěrem bylo ekonomické porovnání všech variant a vyhodnocení jejich návratnosti.

Summary

The bachelor thesis is focused on projecting a family house according to standards for passive houses given by norm ČSN 73 0540-2. The thesis discusses energy performance for heating and preparation of hot water, in addition thesis is focused on projecting of heat source in combinations with an alternative source. General conclusion of the thesis was the economic comparison of all variants and evaluation of their returns.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Energetická náročnost 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 29.6.2022

David Hruška

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Romanu Vavříčkovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, cenné rady a za konzultace, které mi byly poskytnuty během roku. Dále děkuji rodině a přátelům za podporu během studia.

Obsah

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ	8
1. ÚVOD.....	11
2. VÝBĚR RODINNÉHO DOMU	12
3. NÁVRH MATERIÁLU NA KONSTRUKCI.....	14
3.1. Obvodová stěna	16
3.2. Vnitřní, nosná stěna	16
3.3. Strop přízemí/podlaha 1. patro.....	17
3.4. Podlaha přízemí.....	18
3.5. Střecha	18
3.6. Okna	19
4. VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT	20
4.1. Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla.....	20
4.2. Měrný tepelný tok prostupem z interiéru do exteriéru.....	21
4.3. Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy.....	22
4.4. Návrhová tepelná ztráta větráním.....	22
4.5. Měrný tepelný tok větráním celé budovy.....	24
5. POTŘEBA TEPLA A PALIVA.....	25
5.1. Potřeba tepla pro přípravu TV	25
5.2. Vnitřní tepelné zisky.....	27
5.3. Vnější tepelné zisky	28
5.3.1. Průsvitné prvky.....	29
5.3.2. Neprůsvitné prvky	30
5.4. Využitelnost tepelných zisků	31
5.5. Faktor využitelnosti tep. zisků pro vytápění	32
5.6. Potřeba tepla – celkový výpočet	33
5.7. Potřeba paliva	36
6. TEPELNÉ ZDROJE	37
6.1. Solární kolektor	37
6.2. Plynový kotel	37
6.3. Kotel na dřevěné pelety	38
6.4. Tepelné čerpadlo.....	39
6.5. Výběr zdroje	42
7. ZMĚNA TYPU OKNA.....	44
7.1. Vliv na tepelnou ztrátu prostupem	44

7.2.	Vliv na potřebu tepla.....	45
7.3.	Návratnost investice do izolačního trojskla	47
8.	ZÁVĚR	49
9.	SEZNAM ZDROJŮ	50
	SEZNAM OBRÁZKŮ	53
	SEZNAM TABULEK	54

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

Značka	Veličina	Rozměr [m ²]
$A_{c,p}$	pohledová plocha neprůhledných částí plocha stavební části	[m ²]
A_k		
A_{sol}	účinná sběrná plocha s danou úhlem sklonu	[m ²]
$A_{w,p}$	celková pohledová plocha zaskleného prvku	[m ²]
C_m	vnitřní tepelná kapacita budovy	[J/K]
F_f	podíl plochy rámu	[-]
$F_{r,i}$	faktor osálení mezi daným stavebním prvkem a oblohou	[-]
F_{sh}	korekční součinitel stínění na externí překážky	[-]
F_w	korekční činitel pro nerozptylující zasklení	[-]
$H_{V,i}$	měrný tepelný tok větráním	[W/K]
H_T	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostředí do venkovního prostředí	[W/K]
$H_{T,ia}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedního vytápěného prostoru	[W/K]
$H_{T,ie}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí	[W/K]
$H_{T,ig}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy	[W/K]
I_{gl}	viditelný obvod zasklení	[m]
I_{sol}	sluneční ozáření za jednotku času	[W/m ²]
$Q_{H,ht}$	celková potřeba tepla	[kWh]
$Q_{H,nd}$	celková potřeba tepla na vytápění	[kWh]
$Q_{H,tr}$	potřeba tepla prostupem	[kWh]
$Q_{H,ve}$	potřeba tepla větráním	[kWh]
R_n	tepelný odpor n-té stavební konstrukce	[m ² ·K/W]
R_{se}	vnější tepelný odpor při přestupu tepla	[m ² ·K/W]
R_{si}	vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla	[m ² ·K/W]

S_{podlahy}	plocha podlahy	[m ²]
$S_{\text{rámu}}$	plocha rámu	[m ²]
U	součinitel prostupu tepla	[W/m ² ·K]
U_W	součinitel prostupu tepla okna	[W/m ² ·K]
U_{podlahy}	součinitel prostupu tepla podlahy	[W/m ² ·K]
U_f	součinitel prostupu tepla rámu	[W/m ² ·K]
U_{skla}	součinitel prostupu zasklení	[W/m ² ·K]
\dot{V}_i	objemový průtok vzduchu	[m ³ /h]
V_{TV}	potřeba teplé vody na osobu	[m ³]
a_H	bezrozměrný časový parametr	[-]
$a_{H,0}$	bezrozměrný číselný parametr pro měsíční metodu	[-]
$a_{H,\text{red}}$	redukční faktor na přerušené vytápění	[-]
c_p	měrná tepelná kapacita	[J/kg·K]
f	koeficient přítomnosti osob v budově	[-]
$f_{ie,k}$	teplotní opravný činitel	[-]
$f_{ia,k}$	teplotní opravný činitel	[-]
$f_{U,k}$	opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanování příslušných U-hodnot	[-]
g_{gl}	celková propustnost průhlednými prvky	[-]
$g_{gl,n}$	celková propustnost zasklení	[-]
n	intenzita výměny vzduchu	[1/h]
	počet dnů	[den]
n_{hod}	počet hodin	[h]
n_{os}	počet osob	[-]
s	tloušťka	[m]
s_n	tepelný odpor n-té stavební konstrukce	[m]
t_1	průměrná teplota přiváděné studené vody	[°C]
t_2	teplota ohřáté vody	[°C]
tep	střední venkovní teplota v daném měsíci	[°C]

t_{is}	průměrná vnitřní teplota objektu	[°C]
$\alpha_{s,c}$	pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků	[-]
γ_H	faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	[-]
ΔU_{TB}	přirážka na vliv tepelných vazeb	[W/m ² ·K]
$\Delta t_{e,r}$	střední rozdíl venkovní teploty vzduchu a zdánlivé teploty oblohy	[°C]
$\eta_{H,gn}$	faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	[-]
η_t	účinnost rekuperační jednotky	[-]
θ_e	vnější výpočtová teplota	[°C]
θ_{ia}	teplota vnitřního vzduchu sousedních prostor	[°C]
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová	[°C]
λ	Součinitel tepelné vodivosti	[W/m·K]
λ_n	součinitel tepelné vodivosti n-té stěny stavební konstrukce	[W/m·K]
ρ	hustota	[kg/m ³]
τ	časová konstanta budovy	[h]
$\tau_{H,0}$	referenční časová konstanta	[h]
$\Phi_{HL,i}$	návrhový tepelný výkon budovy	[W]
$\Phi_{r,i}$	přídavný tepelný tok v důsledku sálání mezi oblohou a prvkem i	[W]
Φ_{sol}	solární tepelný tok	[W]
$\Phi_{s,o}$	tepelný tok od osob, domácích spotřebičů a umělého osvětlení	[W]
$\Phi_{s,p}$	tepelný tok na každou bytovou jednotku bez ohledu na přítomnost osob; 100 W/bytovou jednotku	[W]
$\Phi_{T,i}$	návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{V,i}$	návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru	[W]
ψ_{gl}	lineární činitel prostupu tepla zasklení a rámu	[W/m·K]

1. ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá tématem energetické náročnosti rodinného domu v souladu se standardy pasivních domů.

Úkolem je navrhnout konstrukce domu tak, aby splňovali doporučené hodnoty pro pasivní budovy dle platných norem. Docílil jsem tomu tak, že jsem zvolil pro dané konstrukce materiál s kvalitními izolačními vlastnostmi. Po výpočtu tepelných ztrát prostupem, jsem navrhnul vzduchotechnickou jednotku a vypočítal tepelné ztráty větráním. Poté jsem dopočítal potřebu tepla pro vytápění a pro ohřev teplé vody. To bylo nezbytné pro návržení zdroje tepla. Zároveň počítám s variantami – izolační dvojsklo a izolační trojsklo a jaký to bude mít vliv na tepelné ztráty prostupem a tepelné zisky průsvitnými prvky.

U výběru zdroje tepla, pracuji s třemi variantami a s variantou případné kombinace zdroje se solárními kolektory pro ohřev teplé vody. Na závěr jsem provedl pro navržené koncepte řešení zdrojů tepla ekonomickou bilanci systému.

2. VÝBĚR RODINNÉHO DOMU

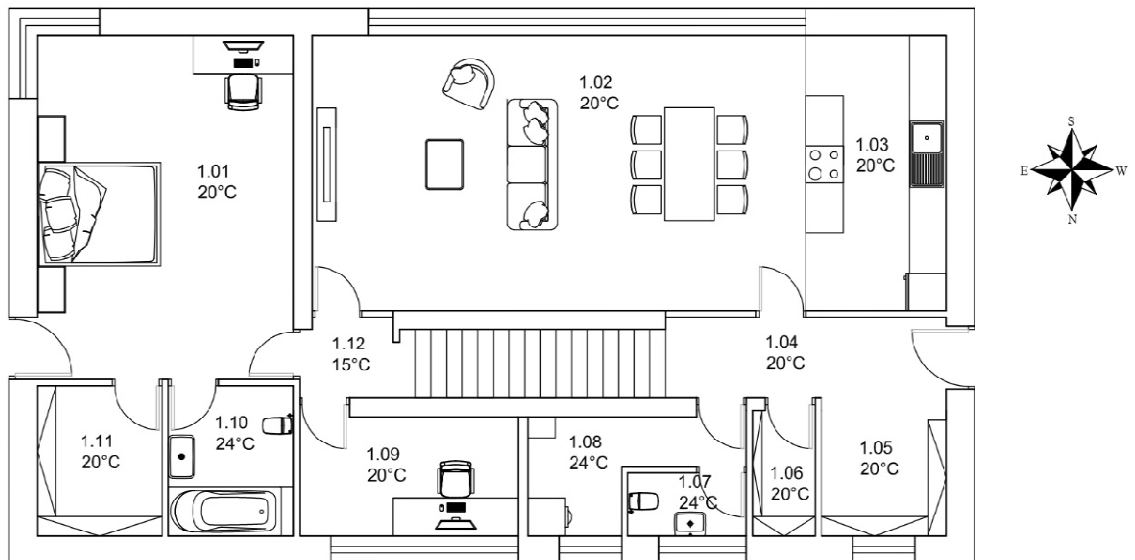
Do bakalářské práce jsem vybral z internetového portálu GSERVIS dvoupatrový dům s nevytápěnou garáží a plochou střechou. Zvolil jsem ho především kvůli výhodnému geometrickému tvaru a modernímu vzhledu. Jedná se o rodinný dům s osmnácti místnostmi a obytnou plochou o rozloze 203,5 m². V pokojích ve druhém patře a v obývacím pokoji se nachází velká okna orientovaná na jih. Výpočty vychází z předpokladu, že dům obývá čtyřčlenná rodina. [8]



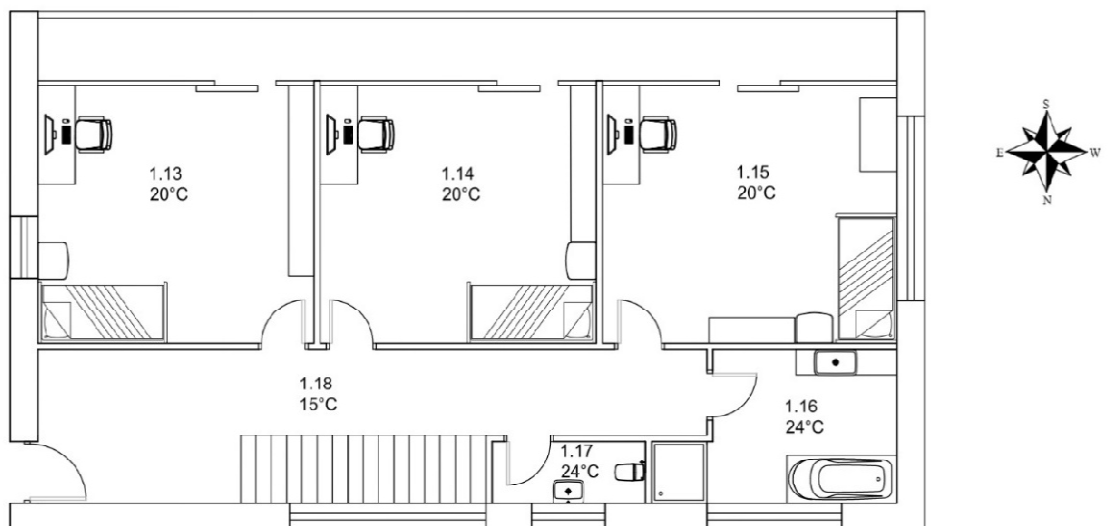
Obrázek 1 Jižní strana, rodinný dům Kamona [8]



Obrázek 2 Severní strana, rodinný dům Kamona [8]



Obrázek 3 Půdorys přízemí



Obrázek 4 Půdorys I. patra

3. NÁVRH MATERIÁLU NA KONSTRUKCI

Materiál konstrukce jsem navrhnul tak, aby splňoval požadavky normy ČSN 73 0540-2. Konkrétně abych se vešel se součinitelem prostupu tepla U do intervalu doporučených hodnot pro pasivní budovy dané normy. Součinitel prostupu tepla je definován jako množství tepla, které unikne konstrukcí o ploše 1 m^2 při rozdílu teplot jejich povrchů 1 K . Pro každý typ konstrukce je normou daný jiný interval. Pro výpočet součinitele prostupu tepla musím použít rovnici podle normy ČSN EN ISO 6946. V rámci bakalářské práce pracuji s dvěma variantami, které jsou přizpůsobeny na změnu materiálu. [1] [2]

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m R_n + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m \frac{S_n}{\lambda_n} + R_{se}}$$

(1)

Dle normy ČSN EN ISO 6946 provedu výpočet součinitele prostupu tepla pro neprůsvitné prvky rovnicí (1), kde R je tepelný odpor při prostupu tepla, R_{si} zde představuje vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla, R_{se} vnější tepelný odpor při přestupu tepla, R_n je tepelný odpor n -té stavby konstrukce, který vypočítám pomocí podílu tloušťky stěny n -té konstrukce S_n a součinitele tepelné vodivosti n -té stavební konstrukce λ_n . Hodnota tepelného odporu při přestupu tepla závisí na směru tepelného toku konstrukcí. [2]

Tabulka 1 Hodnoty tepelného odporu při prostupu tepla v závislosti na směru

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

Tabulka platí pouze pro povrchy přilehlé ke vzduchu. Pro výpočet tepelného odporu při přestupu tepla v kontaktu s přilehlou zemínou nemůžu výše zmíněnou tabulku použít. Součinitel prostupu tepla pro neprůsvitné části jsem poté vypočítal tak, aby byl v souladu s normou ČSN 73 0540-2 o tepelné ochraně budov. [1] [2]

$$U_W = \frac{\sum S_{gl} \cdot U_{gl} + \sum S_f \cdot U_f + \sum I_{gl} \cdot \psi_{gl}}{\sum S_{gl} + \sum S_f}$$

(2)

Rovnice (2) popisuje výpočet součinitele prostupu tepla průsvitných částí v souladu s normou ČSN EN 10077-1. U_W představuje součinitele prostupu tepla okna, S_{gl} plochu zasklení, U_{gl} součinitele prostupu zasklení, S_f plochu rámu, U_f součinitele prostupu tepla rámu, I_{gl} viditelný obvod zasklení a ψ_{gl} lineárního činitele prostupu tepla zasklení a rámu. Součinitel prostupu tepla oknem či i zasklením je většinou stanovený výrobcem a najdeme jej v katalogu výrobku. [1] [2]

Tabulka 2 Požadované hodnoty a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla podle normy ČSN 73 0540-2 [2]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² .K]		
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní domy
Stěna vnější Stěna k nevytápěné půdě strmě se sklonem > 45°	0,30	0,25	0,18 až 0,12
Strop pod nevytápěnou půdou	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem Střecha plochá a šikmá se sklonem <45°	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 až 0,15

3.1. Obvodová stěna

Obvodovou stěnu jsem navrhnul podle doporučené hodnoty pro pasivní domy konstrukce vnější stěny. Hlavním materiálem je tepelně izolační tvárnice YTONG Lambda YQ P2-300 s tloušťkou 450 mm a součinitelem tepelné vodivosti 0,18 W/m.K. Jako izolaci jsem zvolil ISOVER EPS Greywall Plus o tloušťce 100 mm s nízkým součinitelem tepelné vodivosti 0,031 W/m.K. Stěna je pokryta vápenocementovou omítkou, a to jak ze strany interiéru, tak ze strany exteriéru. Součinitel prostupu tepla obvodové stěny daného domu vyšel $U = 0,169 \text{ W/m}^2\text{.K}$, tudíž splňuje danou normu. [2] [14] [15] [16]

Tabulka 3 Složení obvodové stěny [14] [15] [16]

Materiál	S [m]	λ [W/m.K]	U [W/m ² .K]
YTONG LAMBDA YQ	0,45	0,18	0,169
ISOVER EPS Greywall plus	0,1	0,031	
Omítka vápenocementová 2x	0,015	0,99	

3.2. Vnitřní, nosná stěna

Pro vnitřní stěnu jsem použil jako hlavní materiál YTONG P3-550 o tloušťce 100 mm se součinitelem tepelné vodivosti 0,17 W/m.K. Ve vnitřním prostoru je rozdíl tepla pod 5 °C, tudíž nemusím uvažovat nad žádnou izolací. Součinitel prostupu tepla vnitřní stěny daného domu vyšel $U = 1,158 \text{ W/m}^2\text{.K}$. [2] [14]

Tabulka 4 Složení vnitřní stěny

Materiál	S [m]	λ [W/m.K]	U [W/m ² .K]
YTONG P3-550	0,1	0,17	1,158
Omítka vápenocementová 2x	0,015	0,99	

Pro nosnou stěnu jsem použil jako hlavní materiál YTONG P2-400 o tloušťce 300 mm se součinitelem tepelné vodivosti 0,11 W/m.K. Součinitel prostupu tepla nosné stěny daného domu vyšel $U = 0,333 \text{ W/m}^2\text{.K}$. [2] [14]

Tabulka 5 Složení nosné stěny [14]

Materiál	S [m]	λ [W/m.K]	U [W/m ² .K]
YTONG P2-400	0,3	0,11	0,333
Omítka vápenocementová 2x	0,015	0,99	

3.3. Strop přízemí/podlaha 1. patro

Strop přízemí je sdílená konstrukce s podlahou 1. patra. Pro první variantu jsme použili stejný materiál, jak pro prostory s vedlejším vytápěným prostorem, tak i pro prostory sousedící s exteriérem. Hlavním materiálem je Strop YTONG klasik o tloušťce 250 mm se součinitelem tepelné vodivosti 1,37 W/m.K. Zároveň byl přidán sádrokarton o tloušťce 20 mm se součinitelem tepelné vodivosti 0,22 W/m.K. Na podlahu 1. patra jsem použil desky z PVC o tloušťce 40 mm se součinitelem tepelné vodivosti 0,16 W/m.K. Součinitel prostupu tepla dané konstrukce vyšel $U = 0,621 \text{ W/m}^2.\text{K}$. Hodnota součinitele prostupu tepla není v souladu s normou ČSN 73 0540-2. [2] [14] [17]

Tabulka 6 Složení stropu 1. varianta [14] [17]

Materiál	S [m]	λ [W/m.K]	U [W/m ² .K]
Strop YTONG klasik	0,25	1,37	0,621
Sádrokarton	0,02	0,22	
Desky z PVC	0,04	0,16	

Pro druhou variantu jsem přidal izolaci tam, kde je sdílena konstrukce s exteriérem. ISOVER EPS Grey 100 o tloušťce 100 mm a nízké tepelné vodivosti 0,031 W/m.k a ISOVER R o tloušťce 100 mm a tepelné vodivosti 0,038 W/m.k. Součinitel prostupu tepla pro druhou variantu vyšel $U = 0,132 \text{ W/m}^2.\text{K}$. Hodnota druhé varianty je v souladu s normou ČSN 73 0540-2 [2]

Tabulka 7 Složení stropu 2. varianta [14] [17] [18] [19]

Materiál	S [m]	λ [W/m.K]	U [W/m ² .K]
Strop YTONG klasik	0,25	1,37	0,132
Sádrokarton	0,02	0,22	
Desky z PVC	0,04	0,16	
ISOVER EPS Grey 100	0,1	0,031	
ISOVER R	0,1	0,038	

3.4. Podlaha přízemí

Hlavním materiálem je železobeton s tloušťkou 250 mm a tepelnou vodivostí 1,43 W/m.K. Jako hydroizolace byl použit asfaltový nátěr s tepelnou vodivostí 0,2 W/m.K, na který byla položena izolace ISOVER EPS 100 o tloušťce 160 mm a se součinitelem tepelné vodivosti 0,037 W/m.K. Na závěr byla konstrukce zalita vrstvou betonu a pokryta deskami z PVC. Součinitel prostupu tepla pro podlahu vyšel $U = 0,159$ W/m².K a je v souladu s normou ČSN 73 0540-2. [2] [14]

Tabulka 8 Složení podlahy v přízemí [14] [17]

Materiál	S [m]	λ [W/m.K]	U [W/m ² .K]
Železobeton	0,25	1,43	0,159
Asfaltový nátěr	0,05	0,2	
ISOVER EPS 100	0,16	0,037	
Beton	0,1	1,23	
Desky z PVC	0,04	0,16	

3.5. Střecha

Nosná konstrukce je Strop YTONG klasik s tepelnou izolací ISOVER EPS a ISOVER R. Hydroizolační vrstva byla vybrána v podobě TOPDEK COVER PRO o tloušťce 18 mm a součinitelem tepelné vodivosti 0,2 W/m.K. Součinitel prostupu tepla střechou nám vyšel $U = 0,136$ W/m².K a je v souladu s normou ČSN 73 0540-2. [2]

Tabulka 9 Složení střechy [17] [18] [19] [20]

Materiál	S [m]	λ [W/m.K]	U [W/m ² .K]
Strop YTONG klasik	0,25	1,37	0,136
ISOVER EPS Grey 100	0,1	0,031	
ISOVER R	0,1	0,038	
TOPDEK COVER PRO	0,018	0,2	

3.6. Okna

Velká část obálky domu je tvořena prosklenou plochou, proto uvažují o dvou variantách typu skla. První varianta byla VEKRA PRIMA a VEKRA FUTURA STANDART s izolačním dvojsklem a druhá varianta je VEKRA Premium EVO a VEKRA NATURA 78 s izolačním trojsklem. Navíc u druhé varianty počítám s tím, že neotevíratelná okna budou zapuštěná rovnou do konstrukce domu, čímž minimalizujeme velikost rámu a jeho nepříznivých vlastností. Izolační dvojsklo u první varianty má u plastových oken součinitel prostupu tepla $U_w = 1,2$ W/m.K a u plastových prosklených dveří $U_w = 1,4$ W/m.K. Zatímco u druhé varianty se nám bude lišit součinitel prostupu tepla kvůli lepší izolaci okna a z důvodu téměř žádného rámu, budu uvažovat u neotevíratelných oken U_g , které je mnohem nižší než U_w . U druhé varianty tedy má neotevíratelné plastové okno součinitel prostupu tepla $U_g = 0,5$ W/m².K, otevíratelné $U_w = 0,7$ W/m².K a plastové prosklené dveře s izolačním trojsklem $U_w = 0,8$ W/m².K. Nevýhodou oken s izolačním trojsklem jsou nižší solární zisky a vyšší nákupní cena. [5] [3] [4] [21] [22]

Tabulka 10 Okna 1. varianta [3] [21] [22]

	U [W/m ² .K]
VEKRA PRIMA – dvojsklo	1,2
VEKRA HS Portal EVO – dvojsklo	1,4

Tabulka 11 Okna 2. varianta [4] [22]

	U [W/m ² .K]
VEKRA Premium EVO – trojsklo (neotevíratelné)	0,5
VEKRA Premium EVO – trojsklo (otevíratelné)	0,7
VEKRA HS Portal EVO – trojsklo	0,8

4. VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT

Při výpočtu tepelných ztrát rodinného domu se budu řídit podle normy ČSN EN 12831-1. Při výpočtech jsem bral v potaz návrhovou výpočtovou teplotu pro lokalitu města Prahy. Pomocí rovnice (3) vypočtu návrhový tepelný výkon a následně vypočtu jednotlivé složky tepelných ztrát. V rovnici (3) $\phi_{HL,i}$ tedy představuje již zmiňovaný návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru i , který je tvořen $\phi_{T,i}$ návrhovou tepelnou ztrátou prostupem vytápěného prostoru i , $\phi_{V,i}$ návrhovou tepelnou ztrátou větráním vytápěného prostoru i , $\phi_{hu,i}$ volitelným dodatečným zátopovým tepelným výkonem vytápěného prostoru i v případě přerušovaného vytápění a $\phi_{gain,i}$ trvalými tepelnými zisky ve vytápěném prostoru i . S $\phi_{hu,i}$ se v našem případě nemusím zabývat, jelikož se jedná o rodinný dům a nepočítám s přerušovaným vytápěním. Zároveň nebudu uvažovat ani $\phi_{gain,i}$, z důvodu, že je to netypické pro rodinné domy, jelikož se do trvalých zisků neřadí produkce tepla od lidí a ani solární zisky [2]

$$\phi_{HL,i} = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} + \phi_{hu,i} - \phi_{gain,i}$$

(3)

4.1. Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla

Návrhovou tepelnou ztrátu prostupem tepla vytápěného prostoru počítám pro každý prostor zvlášť pomocí rovnice (4) a v souladu s normou ČSN EN 12 831-1, kde $\phi_{T,i}$ představuje již zmiňovanou návrhovou tepelnou ztrátu prostupem tepla vytápěného prostoru i , H_T měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru i , $H_{T,ie}$ je konkrétně přímo do venkovního prostředí e , $H_{T,ia}$ do sousedních vytápěných prostorů a , $H_{T,ig}$ do zeminy g . To celé vynásobím rozdílem $\theta_{int,i}$ vnitřní výpočtové teploty vytápěného prostoru i a θ_e venkovní výpočtové teploty e , která je v našem případě $\theta_e = -12^\circ\text{C}$. Největší tepelné ztráty prostupem jsme vypočetli v pokoji č. 15, kde $\phi_{T,i} = 748$ W, což je způsobeno velkým podílem prosklené plochy. [2]

$$\phi_{T,i} = \left(H_{T,ie} + \sum H_{T,ia(\dots)} + H_{T,ig} \right) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e)$$

(4)

Tabulka 12 Tepelná ztráta prostupem tepla

	Tepelná ztráta prostupem tepla [W]
Přízemí (1–12)	2330
1. Patro (13-18)	2354

4.2. Měrný tepelný tok prostupem z interiéru do exteriéru

Měrný tepelný tok prostupem z vnitřního vytápěného prostoru do vnějšího nevytápěného $H_{T,ie}$ se počítá podle rovnice (5), kde A_k představuje plochu stavební části, U_k součinitele prostupu tepla stavební části, ΔU_{TB} přírážku na vliv tepelných vazeb, $f_{U,k}$ opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavební části a povětrnostní vliv, $f_{ie,k}$ teplotní opravný součinitel. V našem případě oba opravný činitelé $f_{U,k}$ a $f_{ie,k}$ jsou rovny 1. [2]

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

(5)

Přírážku na vliv tepelných vazeb ΔU_{TB} určím na základě typu stavby z tab. 14, která je v souladu s normou ČSN EN 12 831-1. V našem případě se jedná o novou budovu s optimalizovanými vazbami v souladu s obecně uznávanou a doporučovanou praxí, $\Delta U_{TB} = 0,05$. [2]

Tabulka 13 přírážka na vliv tepelných vazeb

Popis	Hodnota ΔU_{TB} [W/m ² .K]
Konstrukce téměř bez tepelných mostů – Nové budovy s vysokou úrovní tepelné izolace a ověřenou a důsledně optimalizovanou úrovní tepelných vazeb, která převyšuje obecně uznávanou praxi.	0,02
Konstrukce s mírnými tepelnými mosty – Nové budovy s optimalizovanými tepelnými vazbami v souladu s obecně uznávanou a doporučenou praxí.	0,05
Konstrukce s běžnými tepelnými mosty – Nové i staré budovy s běžnými tepelnými mosty a úrovní provedení stavby v ČR.	0,10
Konstrukce s výraznými tepelnými mosty – Budovy s převážně vnitřní tepelnou izolací narušenou pronikajícími pevnými stropními konstrukcemi (např. železobeton)	0,15

4.3. Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru $H_{T,g}$ se počítá přes rovnici (6), která obsahuje $f_{\theta ann}$ opravný součinitel zohledňující vliv změny venkovní teploty v průběhu roku, v našem případě $f_{\theta ann} = 1,45$. A_k značí plochu stavební části k , která je v přímém kontaktu se zeminou, $U_{equiv,k}$ ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části k v kontaktu se zeminou, $f_{ig,k}$ teplotní opravný činitel, který závisí jak na teplotě vytápěného prostoru i , tak venkovní teplotě. Průměrnou venkovní teplotu za otopné období vypočtu pomocí rovnice (7), kde je $f_{GW,k}$ opravný činitel zohledňující vliv spodní vody v našem případě $f_{GW,k} = 1$. [2]

$$H_{T,g} = f_{\theta ann} \cdot \sum_k (A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k}) \quad (6)$$

$$f_{ig,k} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{e,m}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (7)$$

Tabulka 14 Prostup tepla zeminou

	A_k [m ²]	B' [m]	$\theta_{e,m}$ [°C]	θ_e [°C]	ΔU_{TB} [W/m ² K]	H_T [W/K]
Přízemí	110,75	43,55	4,3	-12	0,05	14

4.4. Návrhová tepelná ztráta větráním

Pro výpočet návrhových ztrát větráním $\phi_{V,i}$ se řídím podle rovnice (8), kde $H_{V,i}$ zastává měrný tepelný tok větráním, který se dá vyjádřit pomocí součinu V_i vnitřního objemu vytápěného prostoru, $n_{min,i}$ minimální intenzity, ρ hustoty vzduchu a měrné tepelné kapacity c . $n_{min,i}$ je doporučené $n_{min,i} \geq 0,3 \text{ h}^{-1}$. Abychom získali Q_V celkovou tepelnou ztrátu, musíme sečíst $Q_{v,sup}$ tepelnou ztrátu nuceným větráním, $Q_{v,transfer}$ tepelnou ztrátu převodem vzduchu a $Q_{v,env}$ ztrátu větráním obálkou. Vzduch přivádíme do místností, ve kterých lidé tráví nejvíce času. Z důvodu vydýchaného prostoru tedy přivádím vzduch nejčastěji do obývacích pokojů a ložnic. Naopak odvádím znečištěný vzduch z míst, kde

dochází k většímu znehodnocení vzduchu jako například na toaletách, v koupelnách či kuchyních. Pro výběr vzduchotechnické jednotky potřebuji znát průtok nárazovým větráním, který vyšel 221 m³/h [2]

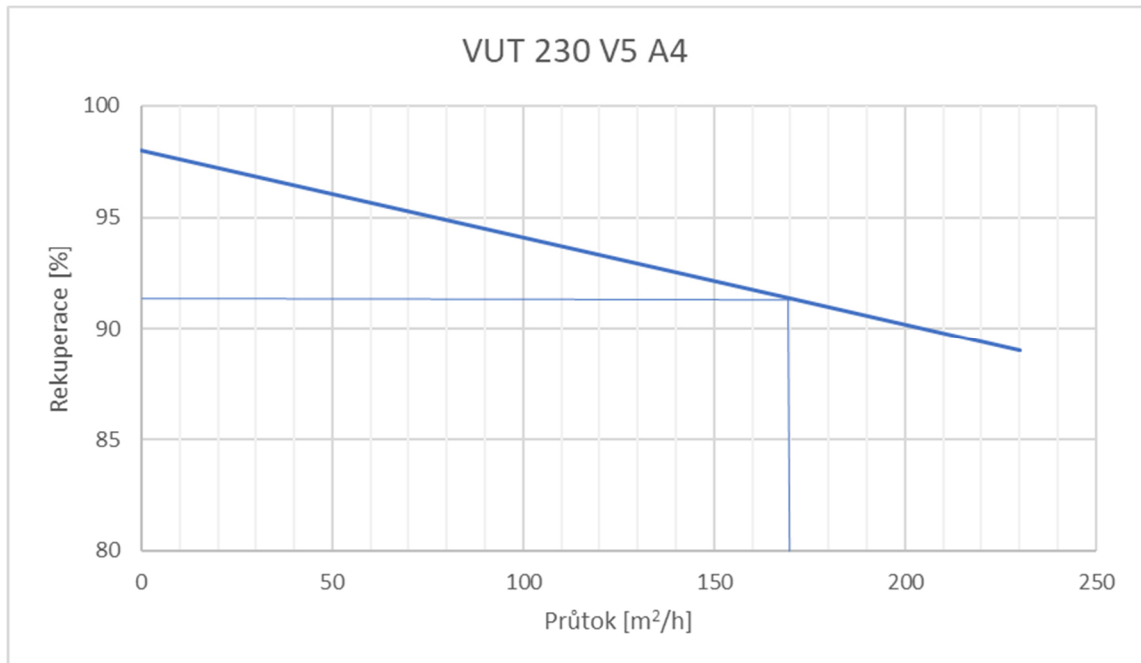
$$\phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) = V_i \cdot n_{min,i} \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (8)$$

Tabulka 15 Doporučený přívod a odvod s celkovou tepelnou ztrátou větráním rodinného domu

Místnost	název	Průtok obálkou	Doporučené trvalé		Tepelná ztráta
			Přívod	Odvod	
		$V_{v,env,i}$	$V_{e,p2}$	V_{o2}	Q_v
		[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[W]
1	Ložnice	5,17	35	-	63
2	Obývací pokoj	4,72	35	15	60
3	Kuchyně	2,41	-	40	13
4	Vstupní hala	0,79	-	-	4
5	Šatna 1	1,37	-	-	7
6	Šatna 2	0,56	-	-	3
7	WC	0,77	-	25	38
8	Technická místnost	1,09	-	15	27
9	Pokoj 1	1,88	25	-	35
10	Koupelna 1	1,45	-	25	42
11	Šatna 3	1,84	-	-	10
12	Schodiště	0,66	-	-	4
13	Pokoj 2	3,48	25	-	44
14	Pokoj 3	2,63	25	-	49
15	Pokoj 4	4,17	25	-	47
16	Koupelna 2	2,35	-	25	48
17	WC	0,71	-	25	38
18	Chodba	3,43	-	-	18
Σ		39,5	170	170	540

U výběru vzduchotechnické jednotky pro nás bylo důležité najít jednotku s vysokou účinností zpětného získávání tepla a dostatečným maximálním průtokem, aby

jednotka byla schopna zvládnout průtok nárazového větrání. Naše požadavky splnila vzduchotechnická jednotka VUT 230 V5 A4 s maximálním průtokem 230 m³/h. Při průtoku 170 m²/h má úroveň rekuperace 91,5 %. Na obrázku č. 5 lze vidět závislost rekuperace neboli zpětného získávání tepla a průtoku. Sání bude umístěno na severní straně rodinného domu, jelikož se jedná o stranu s nejmenší koncentrací solárního záření. [6]



Obrázek 5 Graf závislosti rekuperace na průtoku [6]

4.5. Měrný tepelný tok větráním celé budovy

Měrný tepelný tok větráním je stanoven jako součet infiltrace, přirozeného a nuceného větrání každé konstrukce a zóny budovy. $V_{v,i}$ je objemový tok stanovený v souladu s normou ČSN 12 831-1, viz tab. 15. f_{vent} je opravní součinitel pro případ, že výměna vzduchu konstrukcí i probíhá jen v situaci, kdy je budova užívána. Pro účely dané vyhlášky nicméně počítáme s $f_{vent} = 1$. Dále v rovnici rozlišuji ρ_a , což je hustota vzduchu a c_a měrná tepelná kapacita vzduchu. Po sečtení měrného tepelného toku infiltrací, přirozeného a nuceného větrání celého rodinného domu vyšel $H_v = 70,53 \text{ W/K}$. [2] [7]

$$H_{v,i} = f_{vent} \cdot \rho_a \cdot c_a \cdot V_{v,i}$$

(9)

5. POTŘEBA TEPLA A PALIVA

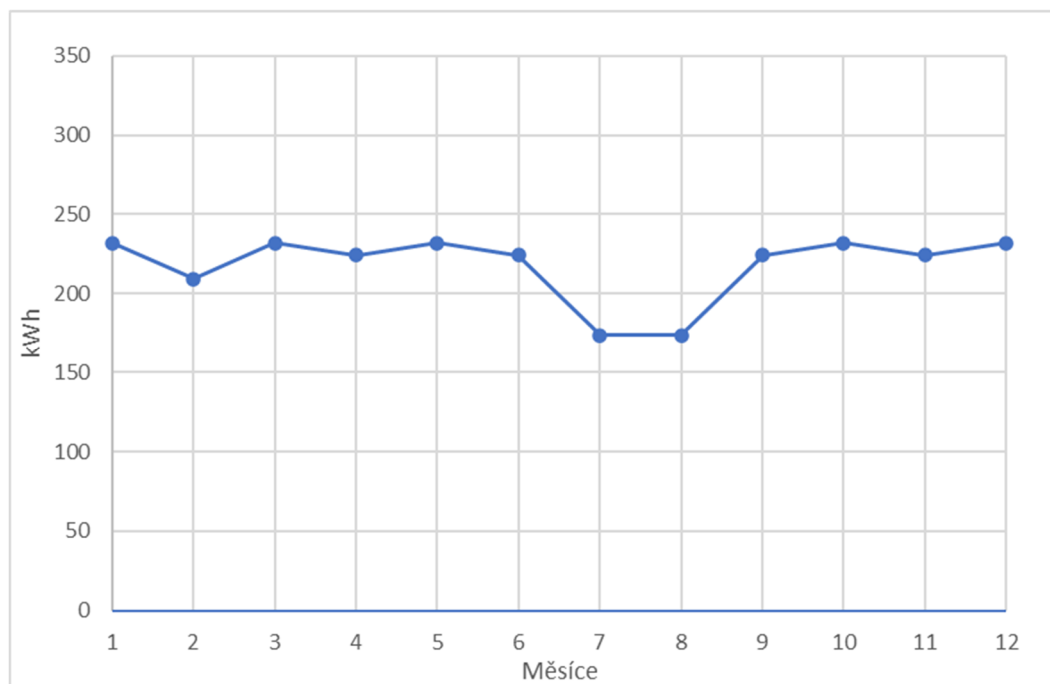
5.1. Potřeba tepla pro přípravu TV

V této kapitole se zabývám výpočtem potřeby tepla a paliva a všech potřebných veličin pro tento výpočet. Nejdříve si musím vypočítat potřebu tepla pro ohřev teplé vody. V mém případě předpokládám, že v rodinném domě žije čtyřčlenná rodina. Pro výpočty jsem počítal s tím, že potřeba teplé vody V_{TV} je na každého člena rodiny 30 l/den. Za celou rodinu počítám tedy 120 l/den, což pro výpočty musím převést na m^3 /den, což vychází na 0,12 m^3 /den. Dále budu potřebovat znát teplotu ohřáté vody t_2 , která je v našem případě $t_2 = 55^\circ C$ a průměrnou teplotu přiváděné studené vody $t_1 = 10^\circ C$. Hustotu vody ρ a měrnou tepelnou kapacitu vody c si musím zjistit pro střední hodnotu z t_2 a t_1 . Konkrétně jsem si zjistil, že při $32,5^\circ C$ bude mít hustota vody ρ hodnotu 995 kg/m^3 a měrná tepelná kapacita vody c 4176 kJ/kg.K . Poměrný koeficient z uvažuji jako 0,2. Jelikož výsledek potřebuji v kWh, tak hodnotu musím podělit 3600 na hodiny a 1000 na kW viz rovnice (10). Dobré je vzít v potaz, že v létě se potřeba vody podstatně sníží kvůli prázdninám a dovoleným. Proto počítám s tím, že v červenci a srpnu se sníží potřeba tepla pro ohřev teplé vody o 25 %. [5]

$$\phi_{TV,den} = (1 + z) \cdot \rho \cdot c \cdot V_{TV} \cdot \frac{(t_2 - t_1)}{3600 \cdot 1000}$$

(10)

Denní spotřeba pro rodinný dům vyšla $7,5 \text{ kWh}$ a potřeba na celý rok $2,6 \text{ MWh}$. Celoroční vývoj potřeby lze sledovat na obrázku č. 6, kde je také zaznamenaný letní propad o 25 %.



Obrázek 6 Potřeba tepla pro ohřev TV

Tabulka 16 Potřeba tepla pro ohřev teplé vody

TMěsíc	Počet dnů	Potřeba tepla pro ohřev TV
	n	q
	[den]	[kWh/m]
Leden	31	232
Únor	28	209
Březen	31	232
Duben	30	224
Květen	31	232
Červen	30	224
Červenec	31	174
Srpen	31	174
Září	30	224
Říjen	31	232
Listopad	30	224
Prosinec	31	232

5.2. Vnitřní tepelné zisky

Vnitřní tepelné zisky jsou podle vyhlášky 148/2007 Sb. dány produkcí tepla v objektu, tedy metabolickým teplem uživatelů a obyvatelů budovy, tepelným výkonem spotřebičů a osvětlovacích zařízení. Počítají se pomocí rovnice (11), kde $\phi_{s,o}$ představuje tepelné zisky od domácích spotřebičů a osvětlení na osobu, což je přibližně 100 W. V našem rodinném domě žije čtyř členná rodina, tudíž $\phi_{s,o} = 400$ W. Jako přítomnost osob se uvažuje 70 %, takže $f = 0,7$ a $\phi_{s,p}$ představuje vnitřní tepelné zisky na každou bytovou jednotku, v případě rodinného domu se počítá jako s jednou bytovou jednotku, tudíž $\phi_{s,p} = 100$ W. [5] [7]

$$\phi_{H,int} = \phi_{s,o} \cdot f + \phi_{s,p}$$

(11)

Tabulka 17 Vnitřní tepelné zisky

Měsíc	Počet dnů	Počet hodin	Vnitřní tepelné zisky
	n	n_{hod}	$\phi_{H,int}$
	[den]	[hod]	[kWh]
Leden	31	744	283
Únor	28	672	255
Březen	31	744	283
Duben	30	720	274
Květen	31	744	283
Červen	30	720	274
Červenec	31	744	283
Srpen	31	744	283
Září	30	720	274
Říjen	31	744	283
Listopad	30	720	274
Prosinec	31	744	283

5.3. Vnější tepelné zisky

Výpočet vnějších tepelných zisků vychází ze vzorce (12), kde F_{sh} představuje korekci stínění na externí překážky, pro nás $F_{sh} = 1$. A_{sol} zastupuje součet účinných solárních sběrných ploch, jak pro průhledné prvky, tak pro ty neprůhledné. A_{sol} se odlišuje výpočtem pro tyto dva typy prvků – pro průhledné použijeme rovnici (14) a pro neprůhledné rovnici (15). I_{sol} je celkové solární záření za měsíc, přičemž nejvíce solárního záření zachytí střecha a jižně orientovaná strana rodinného domu, zatímco nejméně svítí na severní straně, viz tab. 19. $F_{r,i}$ považují jako faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou, který dosahuje hodnoty 1 pro horizontální konstrukci nebo 0,5 pro tu vertikální. $\phi_{r,i}$ je sálání vůči obloze a vychází z rovnice (13), kde R_{se} je tepelný odpor přestupu tepla na vnějším povrchu, U_c součinitel prostupu tepla neprůhledných částí, $A_{c,pohledová}$ plocha neprůhledných prvků, h_r součinitel přestupu tepla sáláním na vnější straně, v našem případě $h_r = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$ a $\Delta t_{e,r}$ průměrný rozdíl venkovní teploty vzduchu a zdánlivé teploty oblohy, počítám $\Delta t_{e,r} = 11 \text{ K}$. Jelikož uvažuji o dvou variantách oken, o izolačním dvojskle a trojskle, tak u izolačního trojskla bude mírný pokles solárních zisků kvůli nižší celkové propustnosti g_{gl} . Rodinný dům je přímo orientovaný stěnami na světové strany, proto nepotřebuji znát celkové solární záření za měsíc z kombinací světových stran. [5]

$$\phi_{sol} = F_{sh} \cdot \left(\sum A_{sol} \right) \cdot I_{sol} - F_{r,i} \cdot \phi_{r,i} \quad (12)$$

$$\phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_{c,pohledová} \cdot h_r \cdot \Delta t_{e,r} \quad (13)$$

Tabulka 18 Sálání vůči obloze průhledných a neprůhledných prvků

ϕ_r	Sever	Jih	Východ	Západ	Horizont
Průhledné	5,11	12,84	2,71	1,12	0,4
Neprůhledné	26	18,27	15,09	16,68	40,53

Tabulka 19 Celkové solární záření za měsíc [5]

Měsíc	Počet dnů	Střední teplota	Celkové solární záření za měsíc				
	n	t_{ep}	$I_{sol,j}$				
	[den]	[°C]	[kWh/m ²]				
			Sever	Jih	Východ	Západ	Horizont
Leden	31	-1	7	50	15	20	23
Únor	28	1	13	56	26	28	40
Březen	31	4	23	82	51	53	79
Duben	30	9	32	95	74	72	118
Květen	31	14,6	47	97	104	93	161
Červen	30	17	52	87	115	88	166
Červenec	31	18,2	47	93	100	93	162
Srpen	31	18,8	38	100	88	88	143
Září	30	13,8	24	95	60	64	96
Říjen	31	9,4	17	75	34	48	57
Listopad	30	4	9	36	14	18	24
Prosinec	31	-0,5	6	29	11	12	17

5.3.1. Průsvitné prvky

Při výpočtu průhledných prvků se budu řídit rovnicí (14), kde u výpočtu rozlišuji, zda je řeč o otevíratelné nebo neotevíratelné prvky. Neotevíratelné lze zapustit přímo do konstrukce a obejdeme se tedy téměř bez rámu, proto má každá z těchto variant rozdílný podíl plochy rámu F_f . Pro otevíratelné $F_f = 0,3$. U neotevíratelných prvků je hodnota F_f mnohem nižší a rovná se 0,05. To znamená, že musím vypočítat A_{sol} pro každou variantu zvlášť a pro další výpočty je sečíst. [5]

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_f) \cdot A_{w,pohledová}$$

(14)

Tabulka 20 Vnější tepelné zisky průsvitné konstrukce za měsíc

Měsíc	Vnější tepelné zisky				
	Průsvitné konstrukce				
	$\Phi_{H,sol}$				
	[kWh]				
	S	J	V	Z	Střecha
Leden	41	746	44	23	9
Únor	79	857	78	32	16
Březen	142	1258	155	61	32
Duben	198	1458	226	83	48
Květen	292	1489	318	107	66
Červen	223	1335	352	101	68
Červenec	292	1427	306	107	66
Srpen	236	1535	269	101	58
Září	148	1458	183	73	39
Říjen	104	1150	103	55	23
Listopad	54	549	41	20	9
Prosinec	35	440	32	13	6

5.3.2. Neprůsvitné prvky

Při výpočtu neprůhledných prvků se budu řídit rovnicí (15), kde $\alpha_{s,c}$ představuje pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků, R_{se} tepelný odpor přestupu tepla na vnějším povrchu, U_c součinitele prostupu tepla neprůhledných částí. Zde počítám solární zisky obvodovou stěnou a střechou, které závisí na úrovni celkového záření za měsíc $I_{sol,i}$ z tab. 19, jak moc nízký součinitel prostupu tepla dané konstrukci je, jelikož v našem případě, kdy mám silně izolované obálkové konstrukce rodinného domu, tak bude i součinitel prostupu nízký, tudíž zisky budou mnohem menší oproti těm průsvitným. Celkové vnější tepelné zisky přes neprůsvitné konstrukce lze najít v tab. 21. [5]

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_{c,pohledová}$$

(15)

Tabulka 21 Vnější tepelné zisky neprůsvitné konstrukce za měsíc

Měsíc	Vnější tepelné zisky				
	Neprůsvitné konstrukce				
	$\Phi_{H,sol}$				
	[kWh]				
	S	J	V	Z	Střecha
Leden	-11	1	-5	-5	-30
Únor	-9	2	-4	-3	-23
Březen	-7	7	1	1	-6
Duben	-4	10	5	5	12
Květen	0	10	10	9	31
Červen	2	8	11	8	33
Červenec	0	9	9	9	31
Srpen	-2	11	7	8	23
Září	-6	10	2	3	2
Říjen	-8	6	-2	0	-15
Listopad	-10	-2	-5	-5	-30
Prosinec	-11	-3	-6	-6	-33

5.4. Využitelnost tepelných zisků

Pro výpočet faktoru využitelnosti tepelných zisků pro vytápění $\eta_{H,gn}$ budu muset vypočítat vnitřní tepelnou kapacitu budovy C_m a časovou konstantu budovy, které pak využiji pro výpočet bezrozměrného číselného parametru závislého na časových konstantách budovy a_h . Tepelnou kapacitu budovy C_m vypočítám pomocí hodnoty z Tab. 20, kterou pak vynásobíme podlahovou plochou. Ta je důležitá pro výpočet časové konstanty budovy τ , kterou vypočítám pomocí rovnice (13). Mám dva bezrozměrné číselné parametry závislé na časových konstantách budovy, jelikož počítám podle měsíční metody tak $a_{h,0} = 1$ a a_h vypočtu pomocí rovnice (18). [5]

Tabulka 22 Vnitřní tepelná kapacita budovy

Třída budovy	Vnitřní tepelná kapacita budovy C_m [J/K]
Velmi lehká	80 000 · Podlahová plocha vytápěné místnosti
Lehká	110 000 · Podlahová plocha vytápěné místnosti
Střední	165 000 · Podlahová plocha vytápěné místnosti
Těžká	260 000 · Podlahová plocha vytápěné místnosti
Velmi těžká	370 000 · Podlahová plocha vytápěné místnosti

$$\tau = \frac{C_m / 3600}{H_T + H_V}$$

(17)

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}$$

(18)

Tabulka 23 Veličiny pro výpočet rovnice (17) a (18)

Vnitřní tepelná kapacita budovy	Časová konstanta budovy	Referenční časová konstanta	Bezrozměrný číselný parametr závislý na časových konstantách budovy	
C_m	τ	$T_{H,0}$	$a_{h,0}$	a_h
[J/K]	[h]	[h]	[-]	
65 864 625	91,23	15	1	7,08

5.5. Faktor využitelnosti tep. zisků pro vytápění

K výpočtu faktoru využitelnosti tepelných zisků pro vytápění $\eta_{H,gn}$ je nutné vypočítat rovnici (19), tedy poměr celkových teplených zisků na celkovou potřebu tepla γ_H . Díky tomu určíme jakou rovnici můžeme použít na výpočet $\eta_{H,gn}$. Pro případ že $\gamma_H > 0$ a $\gamma_H \neq 0$ použijeme rovnici (20), když $\gamma_H = 1$ tak využijeme rovnici (21) a v případě $\gamma_H < 0$ počítáme pomocí rovnice (22). [5]

$$\gamma_H = \frac{\text{Celkové tepelné zisky}}{\text{Celková potřeba tepla}} = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad (19)$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \quad (20)$$

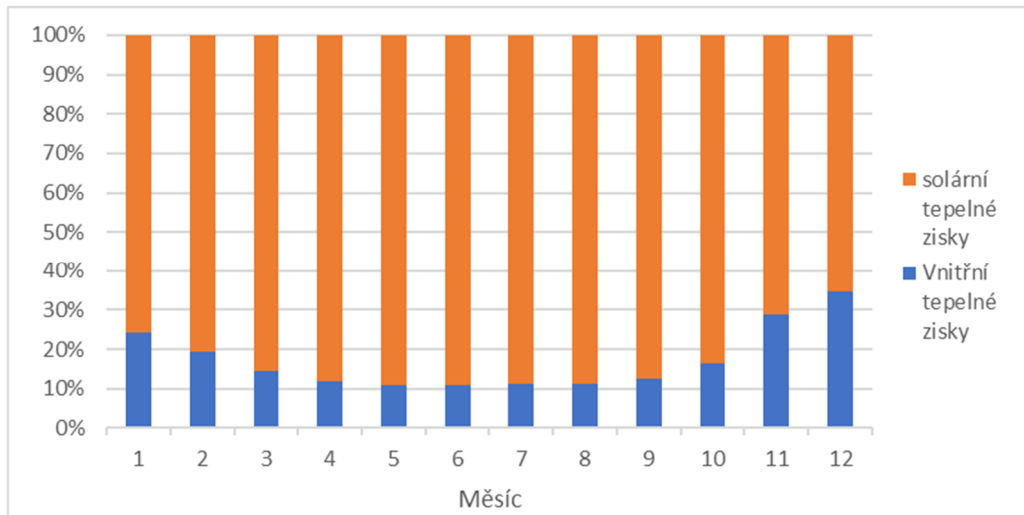
$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad (21)$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H} \quad (22)$$

5.6. Potřeba tepla – celkový výpočet

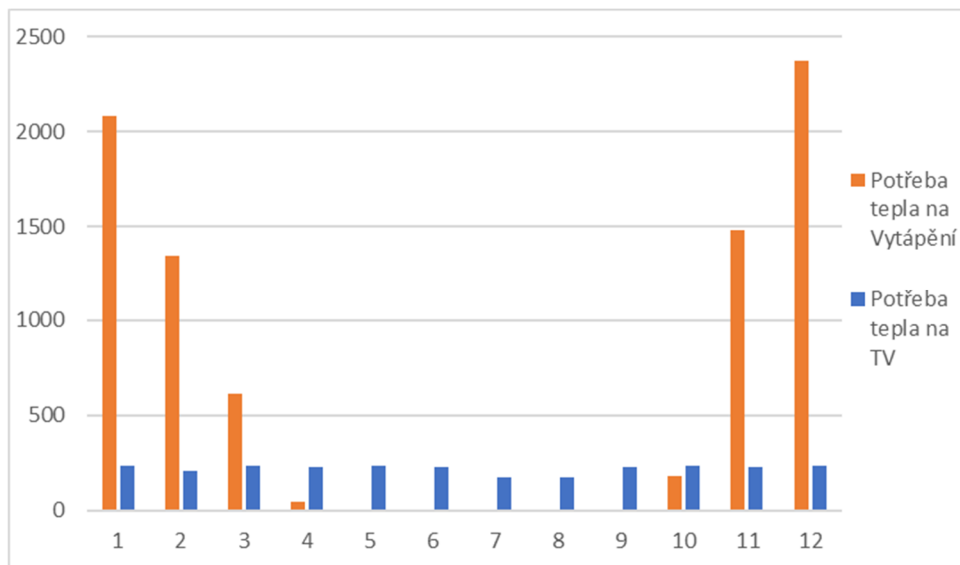
Výpočet potřeby tepla obnáší znalosti tepelných ztrát rodinného domu prostupem a větráním celé budovy. Proto využiji pro výpočet rovnici (8) z kapitoly 3.4. a pro výpočet měrného tepelného toku prostupem celé budovy H_T použiji vztahy z kapitol 3.2. a 3.3. Potřebu tepla prostupem vypočítám tím, že měrný tepelný tok prostupem budovy H_T vynásobím rozdílem teplot daného měsíce, tj. průměrná vnitřní teplota domu t_{im} (váženým průměrem přes objem místností) a průměrnou venkovní teplotou v daném měsíci t_{ep} a na závěr to vynásobím počtem hodin n_{hod} . Jelikož potřebuji náš výsledek udávat v kWh, tak podělím hodnotu tisícem. To stejné provedu i u potřeby tepla větráním. Po vypočítání těchto dvou tepelných potřeb je sečtu a vyjde celková potřeba tepla, která ale není konečná, jelikož musím od této celkové potřeby tepla ještě odečíst součet vnitřních tepelných zisků a solárních tepelných zisků vynásobenými faktorem využitelnosti tepelných zisků pro vytápění, který jsem si již vypočítal v předešlé podkapitole 4.5. V našem případě Redukční faktor na přerušované vytápění $a_{H,red}$ neuvažuji. [5]

$$Q_{h,nd} = a_{H,red} \cdot (Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}) \quad (23)$$



Obrázek 7 Graf podílu solárních a vnitřních tepelných zisků na celkových tepelných ziscích

Na obrázku č. 8 je vidět vývoj potřeby tepla na vytápění s potřebou tepla na ohřev teplé vody. Největší potřeba tepla bude od listopadu do února, nejen že celková potřeba tepla vyšší, ale také jsou mnohem nižší solární zisky.



Obrázek 8 Porovnání potřeby tepla na vytápění a potřeby tepla na TV

Tabulka 24 Celkové výpočty potřeby tepla

Měsíc	Počet dnů	Počet hod	Střední venkovní teplota	Měrný tepelný tok celé budovy	Potřeba tepla prostupem	Měrný tepelný tok větráním celé budovy	Potřeba tepla větráním	Celková potřeba tepla	Vnitřní tepelné zisky	Solární tepelné zisky	Celkové tepelné zisky	Bilanční poměr pro režim vytápění	Faktor využitelnosti tep. zisků pro vytápění	Redukční faktor na přerušené vytápění	Potřeba tepla
	n [den]	n_{hod} [hod]	t_{ep} [°C]	H_T [W/K]	$\Phi_{H,ir}$ [kWh]	H_v [W/K]	$\Phi_{H,ve}$ [kWh]	$\Phi_{H,ht}$ [kWh]	$\Phi_{H,int}$ [kWh]	$\Phi_{H,sol}$ [kWh]	$\Phi_{H,gen}$ [kWh]	Y_H [-]	$\eta_{H,gen}$ [-]	$\alpha_{H,red}$ [-]	$\Phi_{H,nd}$ [kWh]
Leden	31	744	-1		2074		1125	3199	283	883	1166	0,36	1,00		2033
Únor	28	672	1		1698		921	2620	255	1065	1320	0,50	1,00		1305
Březen	31	744	4		1590		863	2453	283	1658	1941	0,79	0,95		603
Duben	30	720	9		1071		581	1652	274	2045	2319	1,40	0,69		46
Květen	31	744	14,6		565		306	871	283	2333	2616	3,00	0,33		0
Červen	30	720	17		322	70,5	175	497	274	2243	2516	5,07	0,20		0
Červenec	31	744	18,2	130	217		117	334	283	2258	2541	7,61	0,13		0
Srpen	31	744	18,8		159		86	244	283	2249	2532	10,36	0,10		0
Září	30	720	13,8		621		337	959	274	1920	2194	2,29	0,44		2
Říjen	31	744	9,4		1068		579	1647	283	1442	1725	1,05	0,86		172
Listopad	30	720	4		1539		835	2374	274	674	948	0,40	1,00		1427
Prosinec	31	744	-0,5		2026		1099	3124	283	528	811	0,26	1,00		2313

5.7. Potřeba paliva

Potřebu paliva vypočítám pomocí rovnice (24), která se skládá ze součtu potřeby tepla pro vytápění ϕ_{VYT} a potřeby tepla pro přípravu teplé vody ϕ_{TV} . Celkový součet je vydělen výhřevností daného paliva, například zemní plyn, nebo dřevěné pelety. Musím brát v potaz daný typ zdroje, jelikož každý má jinou účinnost. Dále jsou důležité ztráty regulací a ztráty v potrubí. [5]

$$U_{VYT+TV} = \frac{\phi_{VYT} + \phi_{TV}}{H_u}$$

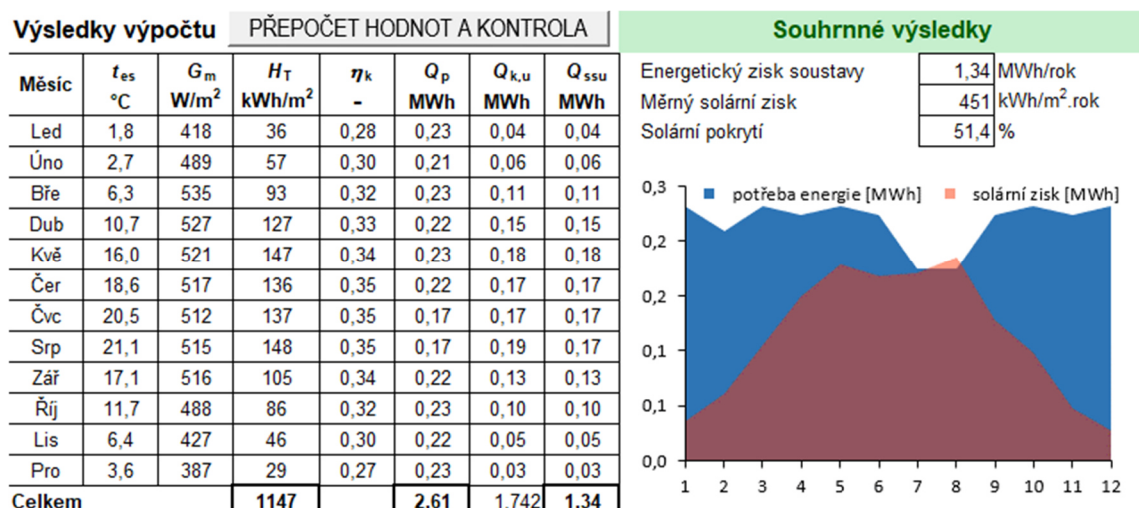
(24)

6. TEPELNÉ ZDROJE

Tato kapitola se zabývá třemi variantami tepelných zdrojů – Plynový kotel, kotel na dřevěné pelety a tepelné čerpadlo.

6.1. Solární kolektor

Pro rodinný dům jsem vybral solární kolektor Logasol SKR10 CPC s vakuovými trubicemi od firmy Buderus na odlehčení při ohřevu teplé vody. Pro výpočty solárních zisků od kolektoru jsem využil excel v souladu s normou TNI 73 0302:2014, viz obrázek č. 9. Výpočty proběhly pro dva solární kolektory Logasol SKR při sklonu 45°, optické účinnosti $\eta_o = 0,41$ a ploše kolektorového pole 5,3 m³. Solární pokrytí vyšlo na 51,4 % a energetický zisk soustavy 1,34 MWh/rok. Cena dvou solárních kolektorů vychází včetně montáže na 81 600 Kč. Ale díky dotacím od programu nová zelená úsporám lze získat zpět 50 000 Kč, tudíž je výsledná cena 31 600 Kč. [11] [12]



Obrázek 9 Výpočet energetických zisků ze solárních kolektorů

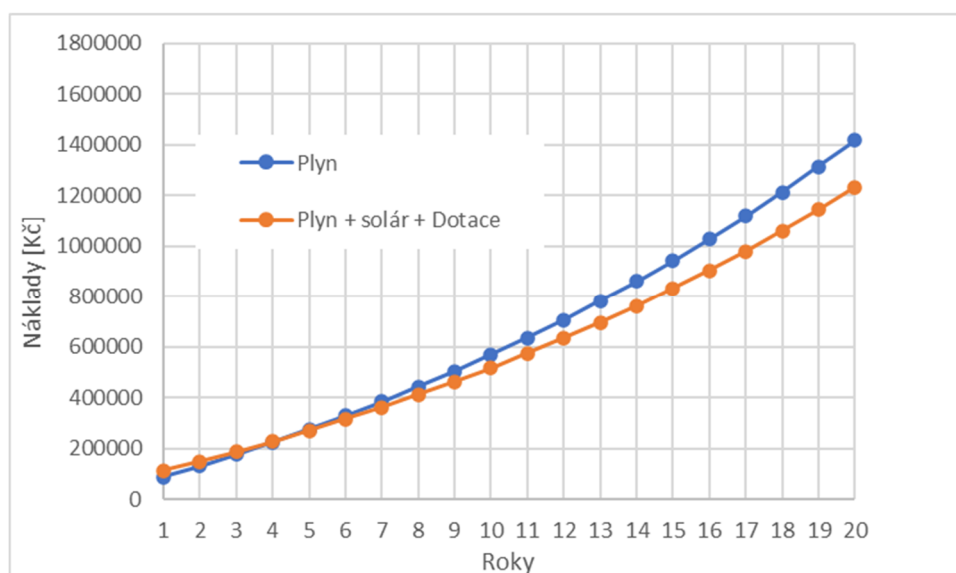
6.2. Plynový kotel

Jednou z variant byl vybrán nástěnný kondenzační kotel Logamax plus GB062 od firmy Buderus, jedná se o kotel vhodný do rodinného domu, či bytu. Modulace výkonu je od 3,3 kW až do 24 kW. Je v kombinaci s externími zásobníky teplé vody Logalux H65 W, S120. Účinnost plynového kotle je výrobcem deklarována hodnotou 93 % pro vytápění a 83 % pro přípravu teplé vody. Potřeba tepla pro vytápění vyšla 7,9 MWh a potřeba tepla pro ohřev teplé vody 2,6 MWh. Abych mohl spočítat konkrétní potřebu plynu za rok, musel jsme zjistit skutečnou potřebu tepla, kterou jsem získal podílem potřeb tepla a účinností kotle pro danou potřebu. Po zjištění skutečných potřeb jsem jejich

součet podělil ztrátou způsobenou regulací a v rozvodech, abych získal finální potřebu plynu. Cena plynu je 3,32 Kč/kWh, přičemž je zároveň účtována paušálně záloha za služby, která je 171,82 Kč/měsíc. Cena kotle je 44 044 Kč. Při kombinaci se solárním kolektorem pro ohřev teplé vody a dotací se investice s počítají pětiprocentním zdražováním za rok vrátí po 4 letech. [8] [11] [13] [23]

Tabulka 25 Vypočtené hodnoty roční potřeby plynu

Potřeba tepla na vytápění [kWh]	Potřeba tepla pro ohřev teplé vody [kWh]	Potřeba plynu za rok [kWh]	Potřeba plynu za rok (solár) [kWh]
7901	2614	12250	10522



Obrázek 10 Graf návratnosti solárních kolektorů v případě plynového kotle

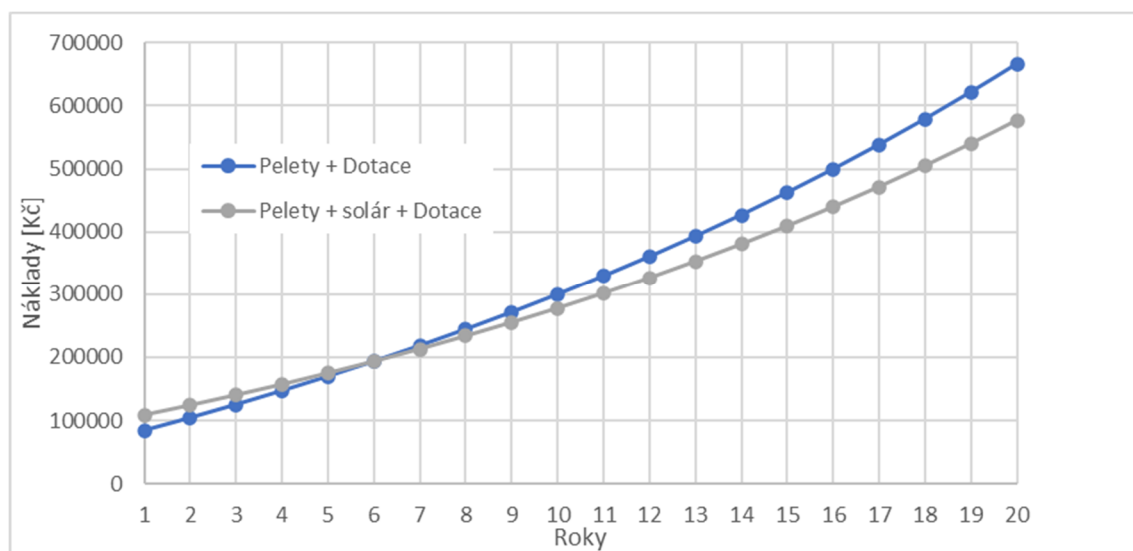
6.3. Kotel na dřevěné pelety

Pro rodinný dům jsem zvolil vysoce účinný, automatický kotel na dřevěné pelety ATMOS D14P. Kotel má účinnost 94 % a jmenovitý výkon 14 kW. Abych zjistil potřebu pelet za rok, provedl jsem stejný výpočet jako v kapitole 5.1. Použil jsem pelety bukového typu s výhřevností 18,14 MJ/kg, což představuje 5,04 kWh/kg. U této varianty musím také počítat se suchým prostorem na uskladnění pelet. Cena bukových pelet je 5,8 Kč/kg a zároveň počítám s výdaji za dovoz a manipulaci s peletami, které závisí na počtu objednávek za rok. Cena kotle je 65 461 Kč, potřebný hořák stojí 29 282 Kč, nadrž na pelety 15 609 Kč, šnekový dopravník 12 342 Kč a akumulační nádrž 24 267 Kč. Celková cena činí 146 961 Kč. Na kotel se vztahuje dotace 100 000 Kč, takže výsledná

cena kotle je 46 961 Kč. V kombinaci se solárními kolektory dosahuje celková suma 78 561 Kč. V obrázku č. 11 je vidět návratnost kotle na dřevěné pelety s pomocí trubkových solárních kolektorů na ohřev teplé vody, kde se uvažuje s pětiprocentním zdražením. Návratnost investice je 6 let. [9] [11] [25]

Tabulka 26 Vypočtené hodnoty roční potřeby pelet

Potřeba tepla na vytápění [kWh]	Potřeba tepla pro ohřev teplé vody [kWh]	Celková potřeba tepla [kWh]	Potřeba pelet za rok [kg]	Potřeba pelet za rok (solár) [kg]
9961	3196	13525	2740	2397



Obrázek 11 Graf návratnosti solárních kolektorů v případě kotle na dřevěné pelety

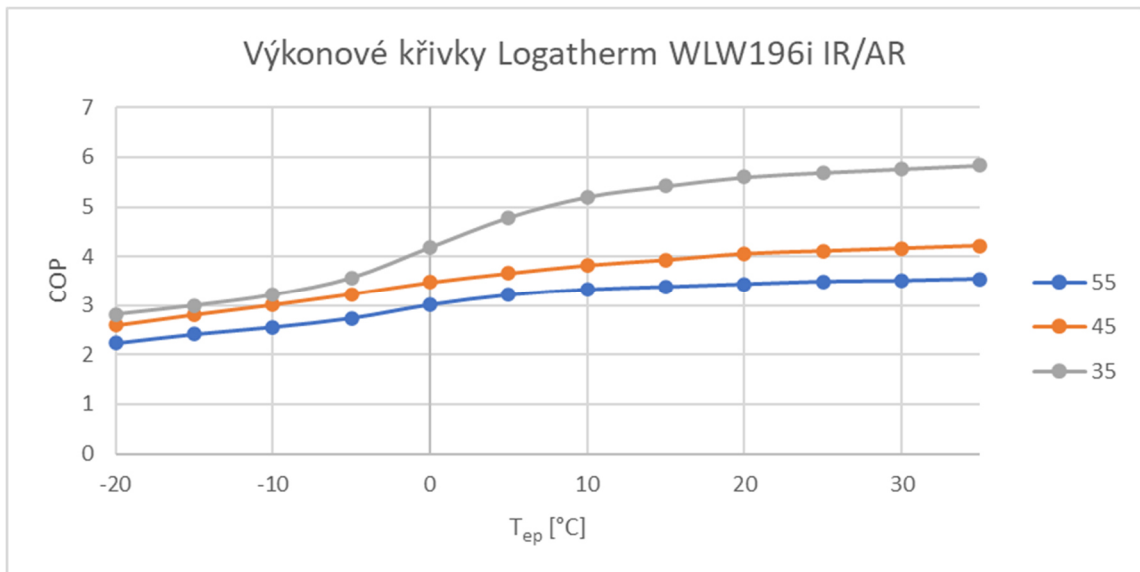
6.4. Tepelné čerpadlo

Jako typ tepelného čerpadla jsem zvolil Logatherm WLW196i AR S+. K výpočtu spotřeby elektrické energie na vytápění a ohřevu teplé vody je potřeba vypočítat COP neboli topný faktor tepelného čerpadla. Pro jeho výpočet jsem se řídil vztahem (25) a grafem z obrázku č. 12, kde Q představuje získané teplo ve wattech a ΔW příkon zařízení. Jinak řečeno COP určuje, kolik tepla v kW je získáno za 1 kW elektřiny. Danou potřebu tepla jsem podělil určeným topným faktorem – pro vytápění je to COP 35 °C a pro ohřev teplé vody COP 55 °C. Na obrázku č. 12 lze sledovat závislost topného faktoru na střední venkovní teplotě. Cena elektřiny je 6,49 Kč/kWh. Stejně jako u plynu se platí paušálně 134 Kč/měsíc. Cena tepelného čerpadla je 221 067 Kč, ale dotace na jeho

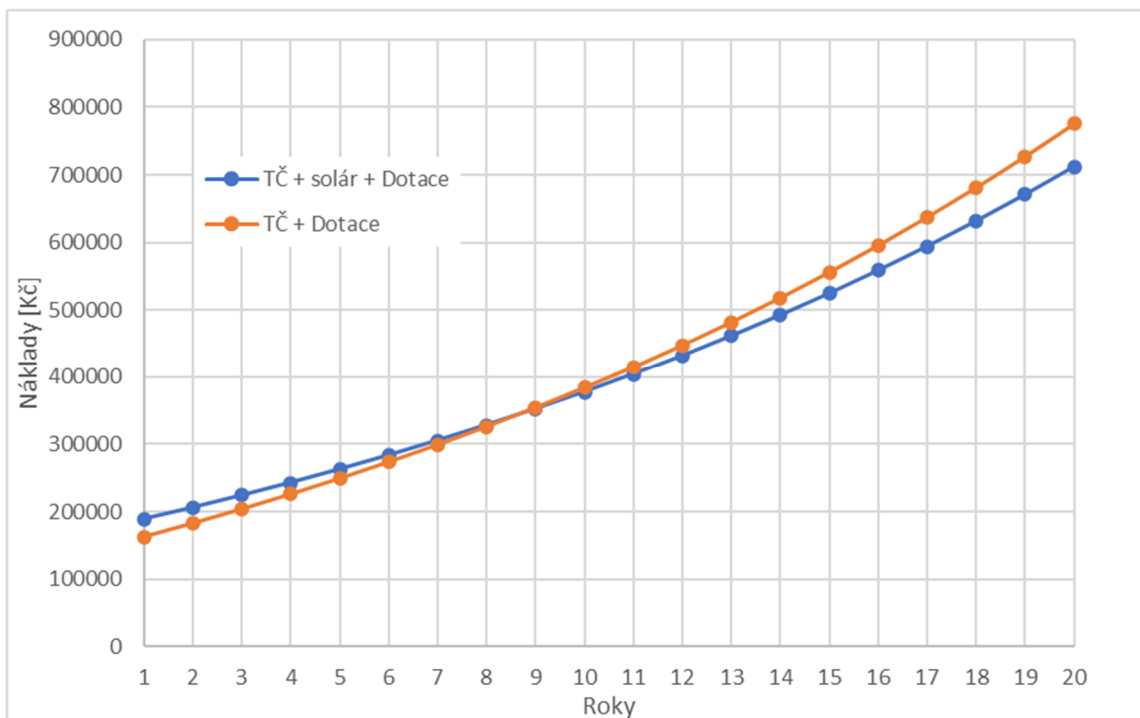
výstavbu dosahují 100 000 Kč, takže cena po dotacích je 121 067 Kč. Návratnost solárních kolektorů v kombinaci s tepelným čerpadlem je 9 let. [5] [24] [26]

$$COP = \frac{|Q|}{\Delta W}$$

(25)



Obrázek 12 Graf závislosti topného faktoru na střední venkovní teplotě



Obrázek 13 Graf návratnosti solárních kolektorů v případě tepelného čerpadla

Tabulka 27 Vypočtené hodnoty COP

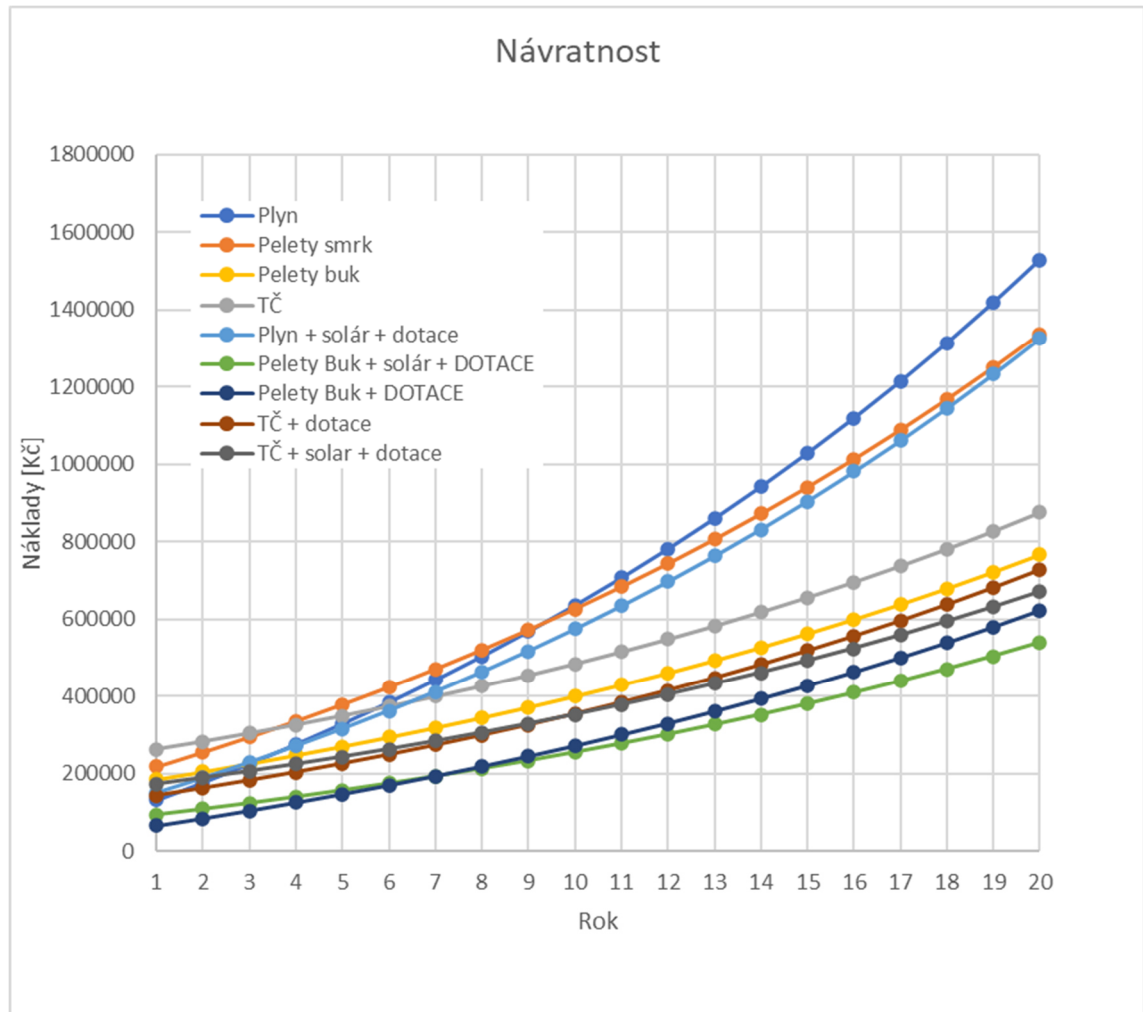
Měsíc	Střední venkovní teplota	COP – 35 °C	COP – 55 °C
	t_{ep} [°C]		
Leden	-1	4,1	3
Únor	1	4,3	3
Březen	4	4,6	3,2
Duben	9	5,1	3,3
Květen	14,6	5,5	3,4
Červen	17	5,6	3,4
Červenec	18,2	5,6	3,4
Srpen	18,8	5,6	3,4
Září	13,8	5,5	3,4
Říjen	9,4	5,2	3,3
Listopad	4	4,6	3,2
Prosinec	-0,5	4,1	3

Tabulka 28 Vypočtené hodnoty roční elektrické spotřeby

Měsíc	Potřeba tepla [kWh]	Potřeba vody [kWh]	Spotřeba elektrické energie na vytápění [kW]	Spotřeba elektrické energie na ohřev vody [kW]
Leden	2033	232	502	78
Únor	1305	209	304	69
Březen	603	232	130	73
Duben	46	224	9	68
Květen	0	232	0	68
Červen	0	224	0	66
Červenec	0	232	0	51
Srpen	0	232	0	51
Září	2	224	0	66
Říjen	172	232	33	70
Listopad	1427	224	307	71
Prosinec	2313	232	562	78
Σ			2752	

6.5. Výběr zdroje

Při výběru zdroje bylo bráno v potaz za jak dlouho se vyplatí naše investice. Na grafu lze vidět, že nejlevnější variantou je (dotovaný) kotel na dřevěné pelety, nicméně nejvýhodnější variantou je kombinace kotle na dřevěné pelety se solárními kolektory pro ohřev teplé vody. Jedná se sice o větší počáteční investici, nicméně její návratnost je kratší – 6 let. "



Obrázek 14 Graf návratnosti investice do zdroje tepla

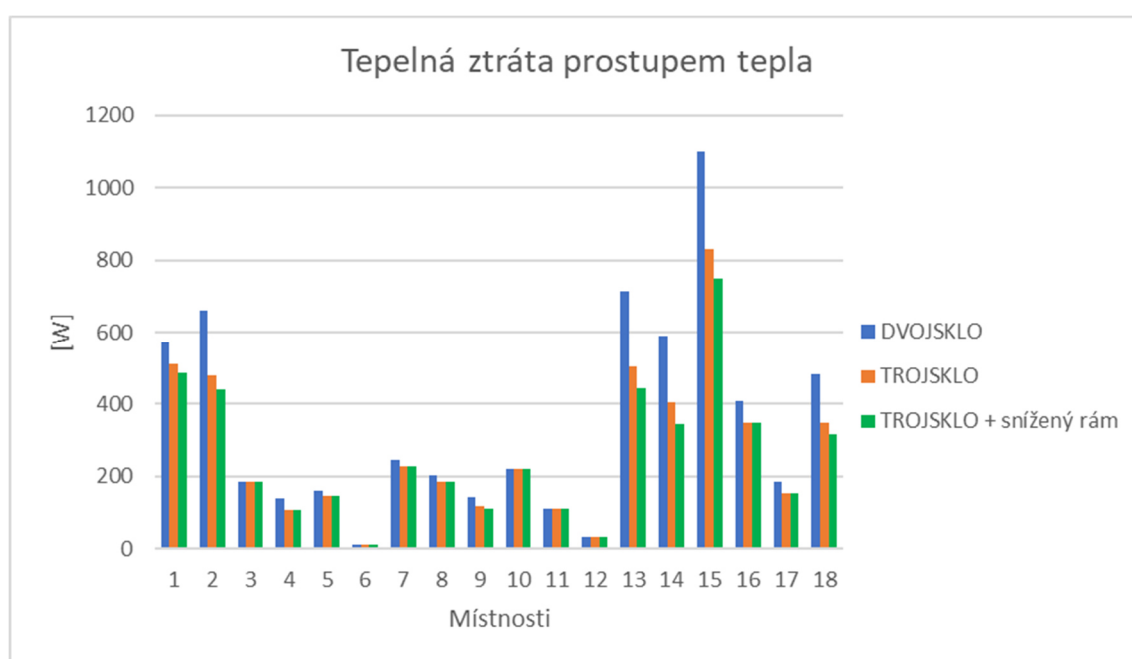
Tabulka 29 Návratnost solárních kolektorů při kotli na dřevěné pelety

Rok	Pelety + dotace [Kč]	Pelety + solár + dotace [Kč]
0	70208	99328
1	94494	119076
2	119873	139812
3	146398	161584
4	174127	184445
5	203120	208449
6	233440	233653
7	265153	260117
8	298330	287904
9	333043	317081
10	369369	347717
11	407389	379884
12	447188	413660
13	488854	449125
14	532480	486363
15	578166	525462
16	626013	566517
17	676130	609624
18	728631	654887
19	783634	702413
20	841264	752316

7. ZMĚNA TYPU OKNA

7.1. Vliv na tepelnou ztrátu prostupem

Nejdříve jsem otestoval, jak se projeví změna izolačního dvojskla za izolační trojsklo na všech výpočtech. Izolační trojsklo bude mít velký vliv na snížení tepelné ztráty prostupem tepla okna, ale na druhou stranu budou nižší vnější tepelné zisky. Konkrétně se díky této změně snížila celková tepelná ztráta na 80 % z původní hodnoty. V kombinaci se sníženým rámem se hodnota tepelné ztráty prostupem u izolačního dvojskla dostává až na 75 % z původní hodnoty, tedy činila 6158 W [5]



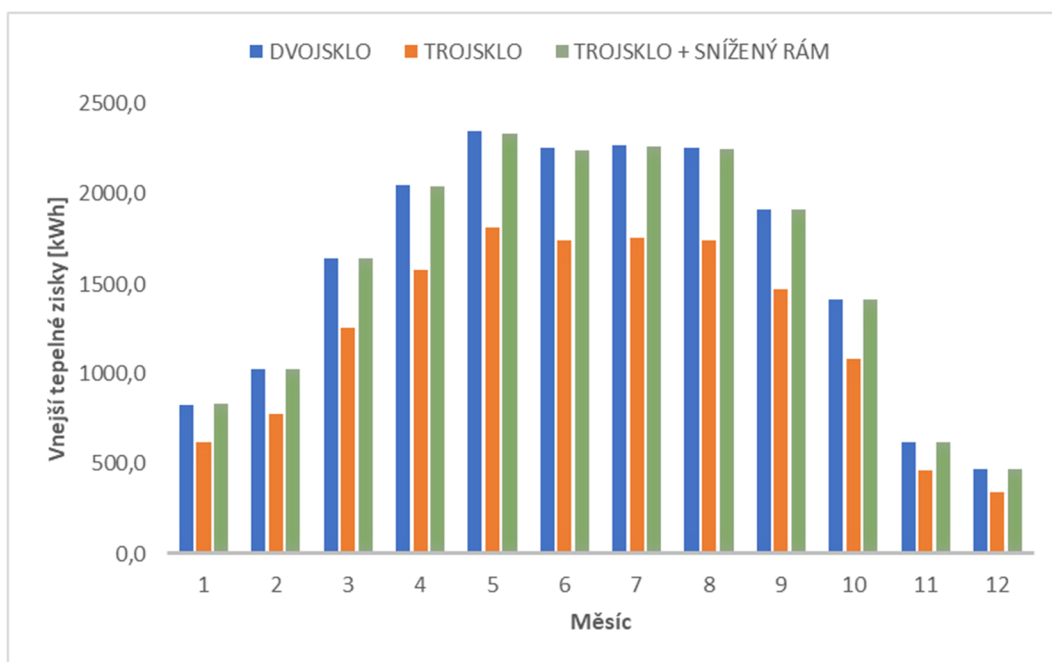
Obrázek 15 Graf porovnání tepelných ztrát prostupem tepla pro každou variantu

Tabulka 30 Celková tepelná ztráta prostupem každé varianty.

Typ	Celková tepelná ztráta prostupem [W]
Izolační dvojsklo	6158
Izolační trojsklo	4912
Izolační trojsklo + snížený rám	4610

7.2. Vliv na potřebu tepla

Jsou menší ztráty prostupem tepla, ale také se snížily solární zisky kvůli nižší propustnosti solárního záření způsobené lepší izolací okna. Celkově se solární zisky změnou z izolačního dvojskla na izolační trojsklo sníží téměř o 25 %. Abych předešel tak velkému snížení v solárních ziscích, tak izolační trojsklo je zasazeno přímo do konstrukce rodinného domu. Tím se solární zisky vrátí téměř na stejnou hodnotu jako u okna s izolačním dvojsklem. [5]

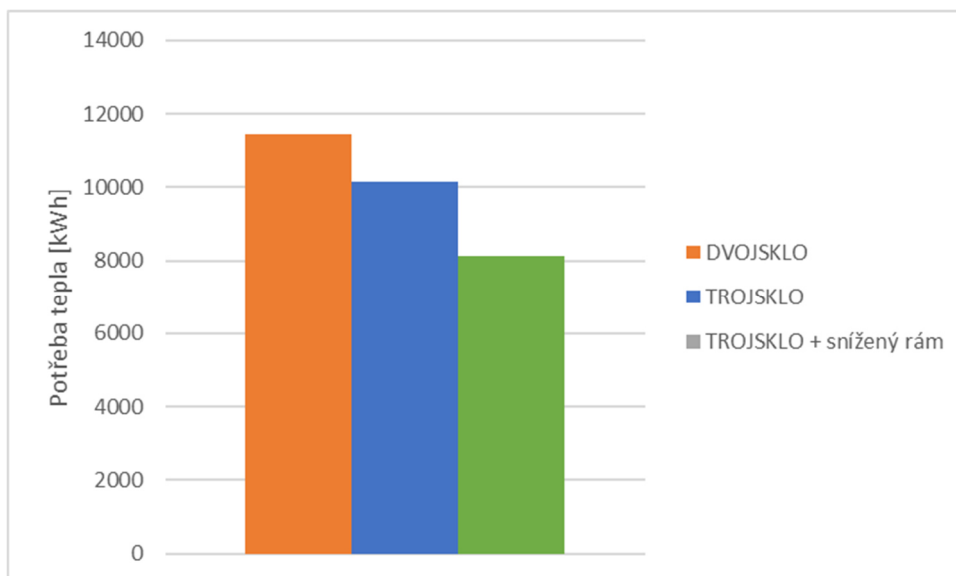


Obrázek 16 Graf porovnání vnějších tepelných zisků každé varianty

Tabulka 31 Vnější tepelné zisky od každé varianty

Typ	Vnější tepelné zisky [kWh]
Izolační dvojsklo	19 078
Izolační trojsklo	14 642
Izolační trojsklo + snížený rám	19 046

Při změně z izolačního dvojskla na trojsklo se potřeba tepla se snížila o 12 %, zatímco při snížení rámu okna se nám to snížilo až o 29 % s ohledem na variantu s dvojsklem.



Obrázek 17 Graf porovnání potřeby tepla pro všechny varianty

Tabulka 32 Potřeba tepla pro všechny varianty

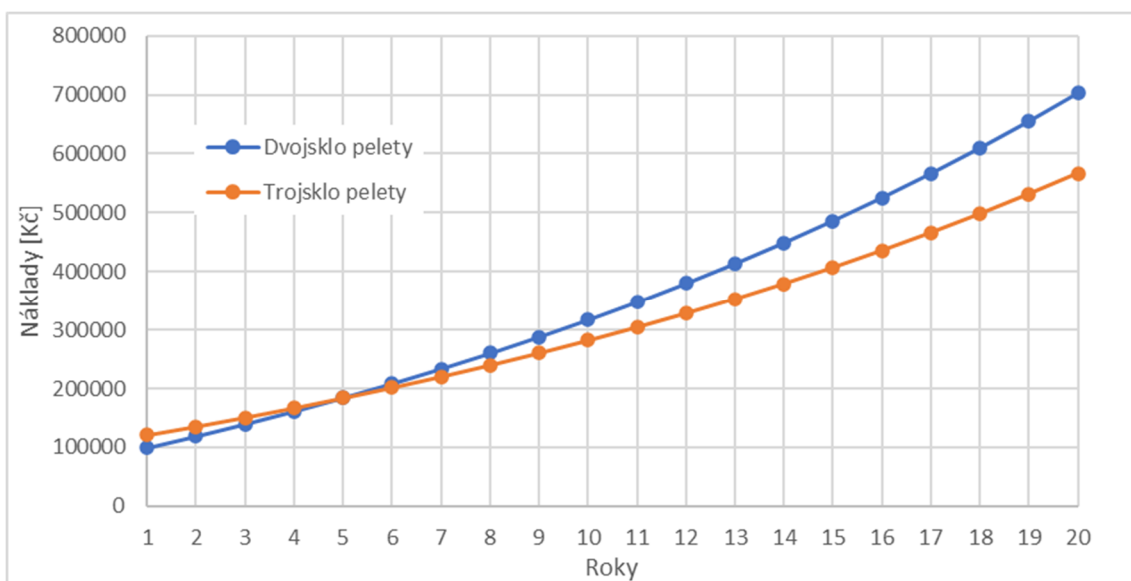
Typ	Potřeba tepla [kWh]
Izolační dvojsklo	11 432
Izolační trojsklo	10 139
Izolační trojsklo + snížený rám	8 121

Tabulka 33 Cenový rozdíl typů oken

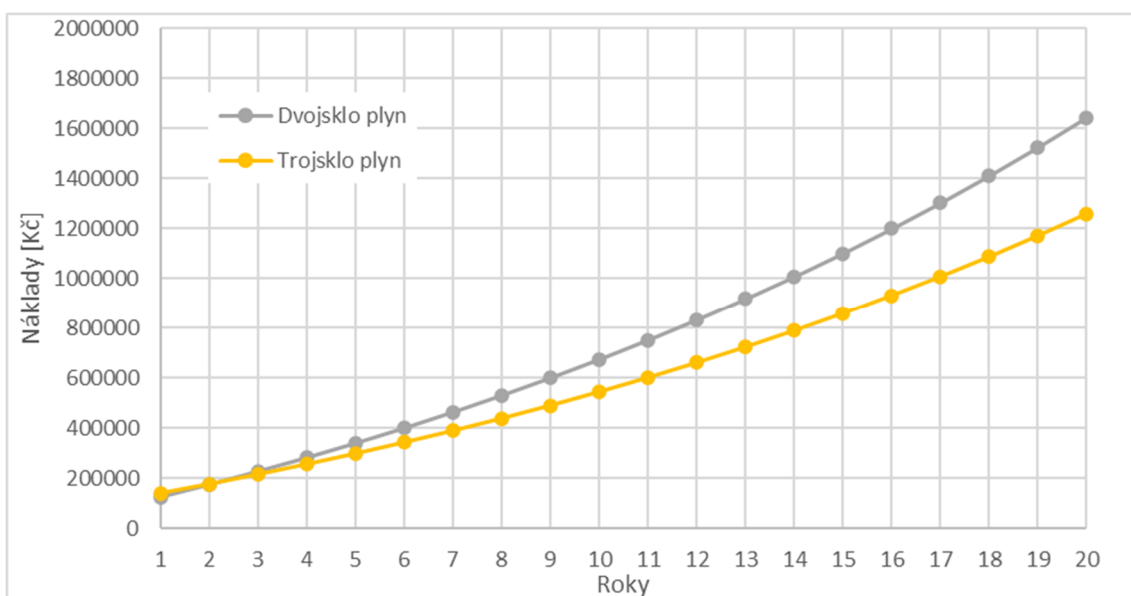
Typ	Cena [Kč]
Izolační dvojsklo	138 331
Izolační trojsklo	165 387
ROZDÍL	27 055

7.3. Návratnost investice do izolačního trojskla

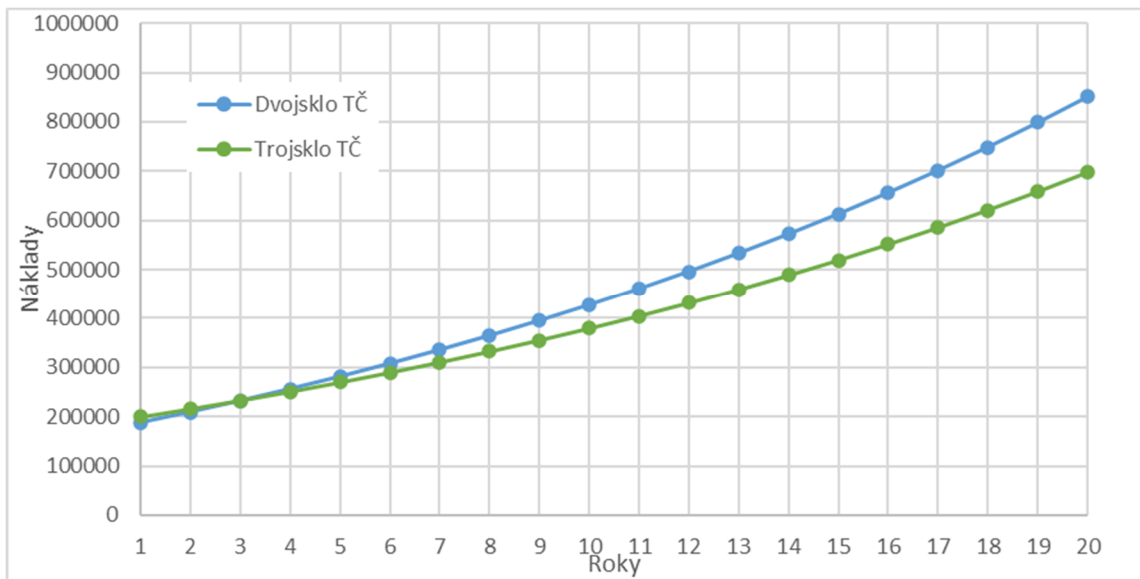
Výpočet návratnosti rozdílu ceny pro nákup izolačního trojskla jsem provedl pro každý zdroj v kombinaci se solárními kolektory a dotacemi. Rozdíl cen mezi izolačním dvojsklem a trojsklem byl přibližně 27 000 Kč. Pro kotel na dřevěné pelety se investice do izolačního trojskla vrátí za 5 let viz graf obrázek č 18. V případě kondenzačního kotle na plyn to je to hned 2 rokem viz obrázek č. 19 a návratnost v případě tepelného čerpadla je zaznamenána v grafu na obrázku č 20, která je 3 roky.



Obrázek 18 Graf návratnosti izolačního trojskla pro kotel na dřevěné pelety



Obrázek 19 Graf návratnosti izolačního trojskla pro kondenzační plynový kotel



Obrázek 20 Graf návratnosti izolačního trojskla pro tepelné čerpadlo

8. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout rodinný dům v souladu s požadavky pro standardy budov se zaměřením na energetickou náročnost. Nejdříve byl vypočítán součinitel prostupu tepla pro konkrétní konstrukce vybraného rodinného domu, díky němu se určily ztráty prostupem každé místnosti, a poté s navrženou vzduchotechnickou jednotkou se zpětným získáváním tepla i ztráty větráním. Součinitel prostupu tepla vyšel u všech konstrukcí v souladu s normou ČSN 73 0540-2 pro pasivní domy.

Následně byly vypočteny vnější solární zisky průsvitnými, neprůsvitnými konstrukcemi a vnitřní tepelnými zisky, které byly nezbytné pro výpočet potřeby tepla na vytápění a ohřev teplé vody, která vyplynula z těchto ztrát a zisků. Jelikož u zvoleného rodinného domu tvořila velkou část obálky průsvitná konstrukce, tak hlavní rozdíl nastal u výběru daného typu izolačních skel, kdy se nejlépe projevila varianta s izolačním trojsklem v kombinaci se sníženými rámy, které nahrazovaly ztrátu solárních zisků způsobenou silnější izolací těchto oken.

Důležité pak bylo navrhnout konkrétní zdroj, který se z ekonomického hlediska jevil jako nejlepší možnost. Jako vhodný zdroj se prokázal kotel na dřevěné pelety s pomocí solárních kolektorů na ohřev teplé vody s dotací, které se projeví jako spolehlivá investice do budoucna.

Na závěr bylo důležité vypočítat návratnost izolačního trojskla pro daný zdroj, abychom zjistili, zda se investice vyplatí. Návratnost této investice je 5 let.

9. SEZNAM ZDROJŮ

- [1] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [2] [online]. Copyright © [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni/001_Tepelne_ztraty_New_2019.pdf
- [3] VEKRA | Český výrobce opravdu kvalitních oken a dveří [online]. Copyright © [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: <https://www.vekra.cz/wp-content/uploads/2015/10/404.pdf>
- [4] VEKRA | Český výrobce opravdu kvalitních oken a dveří [online]. Copyright © [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: https://www.vekra.cz/wp-content/uploads/2022/03/VEKRA_Katalog_okna_dvere_2022-2023.pdf
- [5] [online]. Copyright © [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni/002_Potreba_tepla.pdf
- [6] VENTS – manufacture of ventilation and air conditioning systems [online]. Copyright © [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: https://ventilation-system.com/uploads/download/vut_vue_230_v5_product_description_01_2019.pdf
- [7] [online]. Dostupné z: http://www.tzb-info.cz/docu/clanky/0042/004274_MUR-ENB-priloha_-_vypocetni_postup.pdf
- [8] Projekt rodinného domu Kamona | GSERVIS. *Úvodní stránka* | GSERVIS [online]. Copyright © 2021 DEK a.s., [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: https://www.gservis.cz/projekty-rodinnych-domu/kamona/?sort=&is_bungalow=&is_passiv=False&in_stock=False&price_min=&price_max=&living_room_count_min=&living_room_count_max=&utility_area_min=&utility_area_max=&built_up_area_min=&built_up_area_max=&roof_slope_min=&roof_slope_max=&orientation_s=False&orientation_v=False&orientation_j=False&orientation_z=False&garage_count_0=False&garage_count_1=False&garage_count_2=False&category=4
- [9] Ceník – ATMOS. Úvod – ATMOS [online]. Copyright © 2022 [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/cenik/>

- [10] [online]. Copyright © [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: https://b5-web-product-data-service.azurewebsites.net/pdf/cs-CZ/8738212890.pdf?_ga=2.182733921.650933631.1655460721-877304221.1650893199
- [11] Rodinné domy – Nová zelená úsporám. Nová zelená úsporám – Dotace pro úsporné bydlení [online]. Copyright © Státní fond životního prostředí ČR [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/rodinne-domy/>
- [12] [online]. Copyright © [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: https://www.buderus.com/cz/media/country_pool/service/dokumenty/06-2022/08_solarni_tehnika_01062022.pdf
- [13] [online]. Copyright © [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: https://b5-web-product-data-service.azurewebsites.net/pdf/cs-CZ/7736901572.pdf?_ga=2.86215007.650933631.1655460721-877304221.1650893199
- [14] [online]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000086_katalog.html
- [15] Ytong Lambda YQ PDK 450 mm P2-300 450x249x499 mm. Víťame Vás v našem e-shopu STAVÍME PRO SEBE [online]. Copyright © [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: <https://www.stavimeprosebe.cz/ytong-lambda-yq-pdk-450-mm-p2-300-450x249x499-mm/>
- [16] SISOVER EPS Greywall Plus | Isover. ISOVER - Jistota v izolacích | Isover [online]. Copyright © 2019 [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/produkty/isover-eps-greywall-plus#descriptions>
- [17] [online]. Dostupné z: https://www.xella.cz/cs_CZ/stropni-system-klasik
- [18] ISOVER EPS Grey 100 | Isover. ISOVER - Jistota v izolacích | Isover [online]. Copyright © 2019 [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/produkty/isover-eps-grey-100#descriptions>
- [19] ISOVER R | Isover. ISOVER - Jistota v izolacích | Isover [online]. Copyright © 2019 [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/produkty/isover-r#descriptions>
- [20] [online]. Copyright © [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: <https://cdn1.idek.cz/dek/document/953544316>

- [21] VEKRA | Český výrobce opravdu kvalitních oken a dveří [online]. Copyright ©U [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: https://www.vekra.cz/wp-content/uploads/2015/10/vekra-PL-prima_2017_mail1.pdf
- [22] Plastové posuvné systémy VEKRA HS Portal řešení pro moderní domy. VEKRA | Český výrobce opravdu kvalitních oken a dveří [online]. Copyright ©2015 [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: <https://www.vekra.cz/produkt/plastove-posuvne-portaly/>
- [23] [online]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/13-prehled-cen-zemniho-plynu>
- [24] [online]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/14-ceny-elektriny>
- [25] Dřevěné pelety - BUKOVÉ - ø 8mm - Pelety z čistého měkkého a tvrdého dřeva. Vyhovují normě ENplus A1 - detail produktu. Výroby a prodeje kůrových a dřevěných ekobriket a pelet z biomasy | EKOPALIVO BOHEMIA s.r.o. [online]. Copyright © [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: <https://www.ekopalivo.cz/produkty/detail/36/drevene-pelety-bukove-8mm>
- [26] [online]. Copyright © [cit. 17.06.2022]. Dostupné z: https://b5-web-product-data-service.azurewebsites.net/pdf/cs-CZ/8738212890.pdf?_ga=2.156353020.650933631.1655460721-877304221.1650893199

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Jižní strana, rodinný dům Kamona [8]	12
Obrázek 2 Severní strana, rodinný dům Kamona [8]	12
Obrázek 3 Půdorys přízemí	13
Obrázek 4 Půdorys 1. patro.....	13
Obrázek 5 Graf závislosti rekuperace na průtoku [6].....	24
Obrázek 6 Potřeba tepla pro ohřev TV	26
Obrázek 7 Graf podílu solárních a vnitřních tepelných zisků na celkových tepelných ziscích	34
Obrázek 8 Porovnání potřeby tepla na vytápění a potřeby tepla na TV.....	34
Obrázek 9 Výpočet energetických zisků ze solárních kolektorů	37
Obrázek 10 Graf návratnosti solárních kolektorů v případě plynového kotle	38
Obrázek 11 Graf návratnosti solárních kolektorů v případě kotle na dřevěné pelety.....	39
Obrázek 12 Graf závislosti topného faktoru na střední venkovní teplotě	40
Obrázek 13 Graf návratnosti solárních kolektorů v případě tepelného čerpadla.....	40
Obrázek 14 Graf návratnosti investice do zdroje tepla.....	42
Obrázek 15 Graf porovnání tepelných ztrát prostupem tepla pro každou variantu	44
Obrázek 16 Graf porovnání vnějších tepelných zisků každé varianty	45
Obrázek 17 Graf porovnání potřeby tepla pro všechny varianty.....	46
Obrázek 18 Graf návratnosti izolačního trojskla pro kotel na dřevěné pelety	47
Obrázek 19 Graf návratnosti izolačního trojskla pro kondenzační plynový kotel.....	47
Obrázek 20 Graf návratnosti izolačního trojskla pro tepelné čerpadlo	48

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Hodnoty tepelného odporu při prostupu tepla v závislosti na směru	14
Tabulka 2 Požadované hodnoty a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla podle normy ČSN 73 0540-2 [2]	15
Tabulka 3 Složení obvodové stěny [14] [15] [16]	16
Tabulka 4 Složení vnitřní stěny	16
Tabulka 5 Složení nosné stěny [14]	17
Tabulka 6 Složení stropu 1. varianta [14] [17]	17
Tabulka 7 Složení stropu 2. varianta [14] [17] [18] [19]	18
Tabulka 8 Složení podlahy v přízemí [14] [17]	18
Tabulka 9 Složení střechy [17] [18] [19] [20]	19
Tabulka 10 Okna 1. varianta [3] [21] [22]	19
Tabulka 11 Okna 2. varianta [4] [22]	19
Tabulka 12 Tepelná ztráta prostupem tepla	21
Tabulka 13 přírážka na vliv tepelných vazeb	21
Tabulka 14 Prostup tepla zeminou	22
Tabulka 15 Doporučený přívod a odvod s celkovou tepelnou ztrátou větráním rodinného domu	23
Tabulka 16 Potřeba tepla pro ohřev teplé vody	26
Tabulka 17 Vnitřní tepelné zisky	27
Tabulka 18 Sálání vůči obloze průhledných a neprůhledných prvků	28
Tabulka 19 Celkové solární záření za měsíc [5]	29
Tabulka 20 Vnější tepelné zisky průsvitné konstrukce za měsíc	30
Tabulka 21 Vnější tepelné zisky neprůsvitné konstrukce za měsíc	31
Tabulka 22 Vnitřní tepelná kapacita budovy	32
Tabulka 23 Veličiny pro výpočet rovnice (17) a (18)	32
Tabulka 24 Celkové výpočty potřeby tepla	35
Tabulka 25 Vypočtené hodnoty roční potřeby plynu	38
Tabulka 26 Vypočtené hodnoty roční potřeby pelet	39
Tabulka 27 Vypočtené hodnoty COP	41
Tabulka 28 Vypočtené hodnoty roční elektrické spotřeby	41
Tabulka 29 Návratnost solárních kolektorů při kotli na dřevěné pelety	43
Tabulka 30 Celková tepelná ztráta prostupem každé varianty	44
Tabulka 31 Vnější tepelné zisky od každé varianty	45
Tabulka 32 Potřeba tepla pro všechny varianty	46
Tabulka 33 Cenový rozdíl typů oken	46