

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**VÝTÁPĚNÍ BUDOV S TĚMĚR NULOVOU
POTŘEBOU ENERGIE**
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Gulázsiová** Jméno: **Sandra** Osobní číslo: **395270**
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:

Vytápění budov s téměř nulovou potřebou energie

Název bakalářské práce anglicky:

Heating of Nearly Zero-Energy Buildings

Pokyny pro vypracování:

Studie možností vytápění budov s téměř nulovou potřebou energie s ohledem na tepelnětechnické vlastnosti konstrukcí. Vypracujte energetickou bilanci systému vytápění vybraného typu rezidenční budovy. Na základě ekonomického zhodnocení sestavte přehled možného využití obnovitelných zdrojů energie v posuzovaném objektu.

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.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

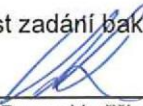
Ing. Roman Vavříčka, Ph.D., ústav techniky prostředí FS


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

Datum zadání bakalářské práce: **26.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **04.06.2018**

Platnost zadání bakalářské práce:


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


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


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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna 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

Sandra
Podpis studentky

Souhrn

Bakalářská práce se zabývá analýzou energetické potřeby na vytápění a přípravu teplé vody víkendového domu. Dům byl navržen ve čtyřech variantách. Modely objektu se liší tepelně technickými vlastnostmi obálky budovy a výplněmi okenních a dveřních otvorů. Dále bylo navrženo šest typů zdrojů tepla a bylo provedeno ekonomické porovnání.

Summary

The bachelor thesis is an analysis of an energy demand for heating and hot water of a weekend house. The house was designed in four versions. The models of the object are different by the thermal properties of the cover of the house and the windows and the doors. It was also designed six types of the heat sources and it was done an economic analysis.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Vytápění budov s téměř nulovou potřebou energie“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Romana Vavříčky, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 22. 6. 2018

Ing. arch. Sandra Gulázsiová

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu Ing. Romanovi Vavříčkovi, Ph.D. za cenné rady a poskytnuté konzultace při vypracování této bakalářské práce.

Obsah

1	ÚVOD.....	12
2	DEFINICE BUDOVY S VELMI NÍZKOU ENERGETICKOU NÁROČNOSTÍ	13
2.1	NÍZKOENERGETICKÉ BUDOVY	13
2.2	PASIVNÍ BUDOVY	13
2.3	ENERGETICKY NULOVÉ BUDOVY	15
2.4	ENERGETICKY NEZÁVISLÉ BUDOVY	17
3	ŘEŠENÍ MODELOVÝCH BUDOV – TEPELNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI....	18
3.1	SVISLÉ KONSTRUKCE	19
3.2	VODOROVNÉ KONSTRUKCE.....	19
3.3	VÝPLNĚ OTVORŮ	20
3.4	VÝPOČET SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA	20
4	TEPELNÉ ZTRÁTY	24
4.1	TEPELNÉ ZTRÁTY PROSTUPEM.....	24
4.2	TEPELNÉ ZTRÁTY VĚTRÁNÍM	27
5	TEPELNÉ ZISKY	30
5.1	VNITŘNÍ TEPELNÉ ZISKY	30
5.2	VNĚJŠÍ TEPELNÉ ZISKY	30
6	CELKOVÁ POTŘEBA TEPLA.....	35
6.1	POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ.....	35
6.2	POTŘEBA TEPLA NA PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY	39
7	ZDROJE TEPLA	41
7.1	TEPELNÁ ČERPADLA	41
7.1.1	<i>Tepelné čerpadlo země / voda (Z1).....</i>	<i>41</i>
7.1.2	<i>Tepelné čerpadlo vzduch / voda (Z2).....</i>	<i>43</i>
7.2	PLYNOVÝ KONDENZAČNÍ KOTEL (Z3)	44
7.3	PLYNOVÝ KONDENZAČNÍ KOTEL A SOLÁRNÍ KOLEKTORY (Z4)	45
7.4	KOTEL NA BIOMASU (Z5).....	46
7.5	KOTEL NA BIOMASU A SOLÁRNÍ KOLEKTORY (Z6)	47
8	EKONOMIKA PROVOZU A POŘIZOVACÍ NÁKLADY	48
8.1	POŘIZOVACÍ CENA STAVBY	48
8.2	PROVOZNÍ NÁKLADY STAVBY BEZ ZDROJE TEPLA	49
8.3	PROVOZNÍ A POŘIZOVACÍ NÁKLADY NA STAVBU VČETNĚ ZDROJE TEPLA	50
8.3.1	<i>Model 0.....</i>	<i>51</i>

8.3.2	<i>Model 1</i>	52
8.3.3	<i>Model 2</i>	53
8.3.4	<i>Model 3</i>	54
8.4	POROVNÁNÍ MODELŮ 2 A 3.....	55
9	ZÁVĚR	56
10	LITERATURA	57
11	SEZNAM OBRÁZKŮ	59
12	SEZNAM TABULEK	59
13	PŘÍLOHY	61

Značky a jednotky

$A_{c,p}$	pohledová plocha neprůhledné části	[m ²]
A_k	plocha stavební části	[m ²]
A_g	plocha uvažované podlahové konstrukce	[m ²]
A_{sol}	účinná sběrná plocha prvku k s danou orientací a úhlem sklonu	[m ²]
$A_{w,p}$	celková pohledová plocha zaskleného prvku	[m ²]
B'	charakteristický parametr	[m]
F_f	podíl plochy rámu	[-]
F_{sh}	korekční činitel stínění	[-]
$F_{sh,gl}$	korekční činitel stínění zasklených prvků	[-]
$F_{r,i}$	faktor osálení mezi daným stavebním prvkem a oblohou	[-]
F_w	korekční činitel pro nerozptylující zasklení	[-]
G_w	opravný součinitel zohledňující hladinu spodních vod nad objektem	[-]
H_T	měrný tepelný tok prostupem celé budovy	[W/K]
$H_{T,ie}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí pláštěm budovy	[W/K]
$H_{t,ig}$	součinitel tepelné ztráty prostupem do zeminy z vytápěného prostoru (do zeminy)	[W/K]
$H_{T,iue}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí nevytápěným prostorem	[W/K]
$H_{T,ji}$	součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do sousedního prostoru vytápěného na výrazně jinou teplotu	[W/K]
H_V	měrný tepelný tok větráním celé budovy	[W/K]
$H_{V,i}$	součinitel návrhové tepelné ztráty větráním	[W/K]
I_{skla}	viditelný obvod zasklení	[m]
I_{sol}	sluneční ozáření, průměrná energie slunečního záření za časový krok výpočtu	[W/m ²]
$O_{podlahy}$	obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí	[m]

P'	obvod uvažované podlahové konstrukce; myšleno konstrukce, které jsou umístěny na obvodovém plášti	[m]
$Q_{H,gn}$	celkové tepelné zisky	[kWh]
$Q_{H,ht}$	celková potřeba tepla	[kWh]
$Q_{H,int}$	vnitřní tepelné zisky	[kWh]
$Q_{H,sol}$	solární tepelné zisky	[kWh]
Q_{teor}	teoretická potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody	[kWh]
$Q_{H,tr}$	potřeba tepla prostupem	[kWh]
$Q_{H,ve}$	potřeba tepla větráním	[kWh]
R_f	tepelný odpor podlahy	[m ² ·K/W]
R_n	tepelný odpor	[m ² ·K/W]
R_{se}	tepelný odpor při přestupu tepla na venkovní straně	[m ² ·K/W]
R_{si}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně	[m ² ·K/W]
S	plocha	[m ²]
$S_{podlahy}$	plocha podlahy	[m ²]
$S_{rámu}$	plocha rámu	[m ²]
S_{skla}	plocha zasklení	[m ²]
U	součinitel prostupu tepla	[W/m ² ·K]
U_c	součinitel prostupu tepla neprůhledné části	[W/m ² ·K]
$U_{em,N,20}$	průměrný součinitel prostupu tepla	[W/m ² ·K]
$U_{equiv,k}$	ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavebních částí	[W/m ² ·K]
U_k	součinitel prostupu tepla	[W/m ² ·K]
U_{okna}	součinitel prostupu tepla okna	[W/m ² ·K]
$U_{rámu}$	plocha zasklení	[W/m ² ·K]
U_{skla}	součinitel prostupu zasklení	[W/m ² ·K]
V_i	vnitřní objem místnosti	[m ³]
\dot{V}_t	objemový průtok vzduchu	[m ³ /s]
V_{TV}	objem vody na osobu na den	[m ³]
a_H	bezrozměrného časového parametru	[-]
$a_{H,red}$	redukční faktor na přerušené vytápění	[-]
b_u	teplotní redukční činitel	[-]
c	měrná tepelná kapacita	[J/kg·K]

c_m	vnitřní tepelná kapacita budovy	[J/K]
c_p	měrná tepelná kapacita vzduchu	[J/kg·K]
d	tloušťka vrstev stavební konstrukce	[m]
d_{pr}	počet dnů v týdnu s požadovanou teplotou pro vytápění	[dny]
d_t	celková ekvivalentní tloušťka podlahy	[m]
f	koeficient přítomnosti osob	[-]
f_{g1}	součinitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty	[-]
f_{g2}	teplotní redukční součinitel zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou za otopné období a výpočtovou venkovní teplotou	[-]
$f_{i,j}$	opravný teplotní součinitel, který udává rozdíl mezi teplotou sousedního prostoru a venkovní výpočtové teploty	[-]
g_{gl}	celková propustnost průhlednými prvky	[-]
h_r	součinitel přestupu tepla sáláním na vnější straně	[W/m ² ·K]
l_l	délka lineárního tepelného mostu mezi vnitřním a vnějším prostředím	[m]
n	intenzita výměny vzduchu	[1/h]
n_{hod}	počet hodin	[h]
η_k	účinnost zdroje tepla (kotle)	[-]
η_o	účinnost obsluhy	[-]
n_{os}	počet osob	[-]
η_R	účinnost rozvodu tepelné energie	[-]
s	tloušťka vrstvy konstrukce	[m]
s_n	tloušťka stavební konstrukce	[m]
t_1	průměrná roční teplota přiváděné studené vody	[°C]
t_2	požadovaná teplota vody po ohřevu	[°C]
t_{ev}	výpočtová venkovní teplota	[°C]
$t_{m,e}$	průměrná roční venkovní teplota	[°C]
t_{es}	průměrná venkovní teplota za otopné období	[°C]
t_{iv}	výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru	[°C]
t_u	teplota přilehlého nevytápěného prostoru	[°C]
t_{vst}	teplota v sousedním vytápěném prostoru	[°C]
n_{50}	celková intenzita výměny vzduch při 50 Pa	[1/h]

w	celková tloušťka obvodových stěn obsahující všechny vrstvy (tj. svislé stěny)	[m]
z	poměrný koeficient	[-]
α_i	celkový součinitel přestupu tepla na vnitřní straně	[W/m ² ·K]
α_e	celkový součinitel přestupu tepla na venkovní straně	[W/m ² ·K]
$\alpha_{s,c}$	pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků konstrukce	[-]
γ_H	bilanční poměr pro režim vytápění	[-]
$\Delta t_{e,r}$	průměrný rozdíl venkovní teploty vzduchu a zdánlivé teploty oblohy	[°C]
$\eta_{H,gn}$	faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	[-]
η_t	účinnost rekuperační jednotky	[-]
θ_{im}	návrhová vnitřní teplota	[°C]
λ	součinitele tepelné vodivosti	[W/m·K]
λ_n	součinitel tepelné vodivosti stavební konstrukce	[W/m·K]
λ_{zeminy}	součinitel tepelné vodivosti zeminy	[W/m·K]
ρ	hustota	[kg/m ³]
τ	časová konstanta budovy	[h]
$\tau_{H,0}$	referenční časová konstanta	[h]
τ_{pr}	počet hodin v týdnu s požadovanou teplotou pro vytápění	[h]
Φ_i	celková navrhovaná tepelná ztráta vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{r,i}$	přídavný tepelný tok v důsledku sálání mezi oblohou a prvkem i	[W]
$\Phi_{s,o}$	tepelný tok od osob, domácích spotřebičů a umělého osvětlení	[W]
Φ_{sol}	solární tepelný tok	[W]
$\Phi_{s,p}$	tepelný tok na každou bytovou jednotku bez ohledu na přítomnost osob	[W]
$\Phi_{T,i}$	navrhovaná tepelná ztráta prostupem tepla	[W]
$\Phi_{V,i}$	navrhovaná tepelná ztráta větráním	[W]
ψ_l	součinitel lineárního prostupu tepla tepelného mostu	[W/m·K]
ψ_{skla}	lineární činitel prostupu tepla zasklení a rámu okna	[W/m·K]

1 Úvod

Současné tendence ukazují na nutnost stavění budov s velmi malou energetickou náročností, popřípadě s nulovou potřebou energie. Na toto je nutné myslet od samotného počátku projektování. Je potřeba zvolit materiály s vhodnými tepelně technickými vlastnostmi k stavbě objektů, aby následná potřeba tepla na vytápění a další energetické potřeby (chlazení, atd.) byly minimální. Také by se neměly opomíjet zdroje energie. Vhodnou volbou jsou obnovitelné zdroje, díky kterým se může stát budova zcela nezávislou na elektrických a tepelných rozvodných sítích. [1]

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem vytápění domu s téměř nulovou potřebou energie. Dům je zamyšlený jako rekreační a je počítáno, že jeho obsazenost bude šest dní v týdnu s maximální kapacitou deseti lidí. Celkem byly navrženy čtyři modely, které mají rozdílné tepelně technické vlastnosti. U těchto variant byly posouzeny vlastnosti obálky budovy a následně byly spočteny tepelné ztráty a zisky. Na základě těchto výstupů bylo zvoleno šest vhodných zdrojů energie na vytápění a přípravu teplé vody. Dále byla zpracována ekonomická analýza nákladů na stavbu objektu, pořízení zdroje energie a jeho následný provoz. Závěrem bylo provedeno porovnání z ekonomického hlediska.

Všechny výpočty byly provedeny v programu Microsoft Excel. V praxi se k těmto výpočtům používají speciální programy, ovšem pro naši problematiku byl Excel zcela postačující. Výkresy objektu byly zhotoveny v programu ArchiCAD.

2 Definice budovy s velmi nízkou energetickou náročností (dle ČSN 73 0540-2)

2.1 Nízkoenergetické budovy

Nízkoenergetické budovy mají nízkou potřebu tepla na vytápění, které je dosaženo pomocí vhodně zvolené konstrukce budovy. Nízkoenergetické objekty nesmí překročit doporučenou hodnotu průměrného součinitele prostupu tepla viz tabulka 1 a měrnou potřebu tepla na vytápění stanovenou ČSN EN ISO 13790, TNI 73 0329 a TNI 73 0330 nepřekračující 50 kWh/m²a. [1]

Tab. 1 Požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou θ_{im} v intervalu 18°C až 22°C včetně [1]

Požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla $U_{em,N,20}$ [W/m ² K]	
Nové obytné budovy	Nejvýše 0,50
Ostatní budovy	Pro objemový faktor: $A/V \leq 0,2 \rightarrow U_{em,N,20} = 1,05$ $A/V > 1 \rightarrow U_{em,N,20} = 0,45$ Pro ostatní hodnoty $A/V \rightarrow U_{em,N,20} = 0,30 + 0,15 (A/V)$

2.2 Pasivní budovy

Pasivní budovy mají minimalizovanou potřebu energie pro docílení požadovaného stavu vnitřního prostředí a minimalizovanou potřebu primární energie z neobnovitelných zdrojů. Tohoto je dosaženo stavebním řešením a dalšími opatřeními. Potřeba tepla a energie pro vytápění, chlazení, přípravu teplé vody a elektrické energie na provoz systému budovy či pro elektrické spotřebiče stanovují normy ČSN EN ISO 13790, TNI 73 0329 a TNI 73 0330. Dále je nutné ověřit průvzdušnost obálky budovy dle ČSN EN ISO 13790, TNI 73 0329 a TNI 73 0330. Nesmí být překročena hodnota $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ při tlakovém rozdílu 50 Pa u celkové intenzity výměny vzduchu. Roční energetická potřeba dle tabulky 3 se zahrnuje do hodnocení primární energie. Pro přepočítání na primární energii se používá faktor energetické přeměny viz tabulka 4. [1]

Tab. 2 Základní vlastnosti pasivních budov [1]

		Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/m ² K]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/m ² a]	Měrná potřeba energie na chlazení [kWh/m ² a]	Měrná potřeba primární energie [kWh/m ² a]
Obytná budova	Rodinný dům	≤ 0,25 požadováno ≤ 0,20 doporučeno	≤ 0,20 požadováno ≤ 0,15 doporučeno	0 ²⁾	≤ 60
	Bytový dům	≤ 0,35 požadováno ≤ 0,30 doporučeno	≤ 15	0 ²⁾	≤ 60
Neobytná budova s převažující teplotou 18°C – 22°C		≤ 0,35 ¹⁾	≤ 15	≤ 15	≤ 120
Ostatní budovy		Požadavky stanoveny individuálně s využitím aktuálních poznatků odborné literatury			≤ 120

POZNÁMKY

- ¹⁾ Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě $U_{em,rec}$
- ²⁾ Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné. Pokud by výjimečně bylo dodatečně použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče.

Tab. 3 Přehled energetických potřeb zahrnutých do hodnocení primární energie pasivních budov (hodnotí se položky označené X) [1]

	Obytné budovy	Neobytné budovy
Vytápění	X	X
Chlazení a úprava vlhkosti	- ¹⁾	X
Příprava teplé vody	X	X
Pomocná elektrická energie na provoz energetických systémů budovy	X	X
Elektrické spotřebiče a umělé osvětlení	-	-

- ¹⁾ Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné. Pokud by výjimečně bylo (dodatečně) použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče.

Tab. 4 Referenční hodnota faktoru energetické přeměny pro přepočítání na hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů [1]

Zdroj	Faktor energetické přeměny [kWh/kWh]
Zemní plyn a další fosilní paliva	1,1
Elektrická energie	3,0
Dřevo, ostatní biomasa	0,05
Dřevěné peletky	0,15
Soustava zásobování teplem – fosilní paliva	1,5
Soustava zásobování teplem – kombinovaná výroby elektřiny (35%) a tepla	1,1
Soustava zásobování teplem – kombinovaná výroby elektřiny (70%) a tepla	0,8
Soustava zásobování teplem – biomasa	0,3
Solární systémy termické	0,05
Solární systémy fotovoltaické – použití pro vlastní potřebu budovy	0,05
Solární systémy fotovoltaické – zapojené do veřejné sítě	0,2
Solární systém fotovoltaický nahrazující konvenční výrobu el. energie ¹⁾	-2,8
Spalování biomasy nahrazující výrobu tepla spalováním plynu ¹⁾	-1,0

¹⁾ Hodnoty jsou odvozeny zjednodušeně, jako rozdíl faktoru energetické přeměny obnovitelného a konvenčního zdroje (pro fotovoltaické systémy: $0,2 - 3,0 = -2,8$ (záporná hodnota)). Obdobně lze odvodit další hodnoty.

²⁾ Hodnoty faktoru primární energie pro zde neuvedené zdroje a systémy se stanovují kvalifikovaným přepočtem z hodnot uvedených v tabulce a dále s využitím ČSN EN 15316-4-5.

2.3 Energeticky nulové budovy

Energeticky nulové budovy se posuzují z hlediska roční bilance energetických potřeb a energetické produkce v budově a jejím okolí, převedené na primární energii. Je vhodné, aby stavební a technické zařízení budovy odpovídalo standartu pasivní budovy. Do energetických potřeb budovy se zahrnuje potřeba tepla na vytápění, potřeba energie na chlazení, energie na přípravu teplé vody, pomocná energie na provoz energetických systémů budovy, elektrická energie na umělé osvětlení a v úrovni hodnocení A se zahrnuje, oproti úrovni hodnocení B, i energie na elektrické spotřebiče.

[1]

Tab. 5 Základní požadavky na energeticky nulové budovy [1]

Závaznost kritéria		Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota podle zvolené úrovně hodnocení	
		Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/m ² K]	Měrná potřeba tepla na vytápění E_A [kWh/m ² a]	Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů PE_A [kWh/m ² a] Úroveň A Úroveň B	
Obytná budova	Nulový	$\leq 0,25$ požadováno $\leq 0,20$ doporučeno	$\leq 0,20$ požadováno $\leq 0,15$ doporučeno	0 ²⁾	≤ 60
	Blízký nulovému	$\leq 0,35$ požadováno $\leq 0,30$ doporučeno	≤ 15	0 ²⁾	≤ 60
Neobytné budovy ²⁾	Nulový			0	0
	Blízký nulovému	$\leq 0,35$ ¹⁾	$\leq 0,30$	120	90

¹⁾ Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě $U_{em,rec}$

²⁾ Neobytné budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou 18 °C až 22 °C včetně. Pro jiné budovy není stanoveno.

Tab. 6 Přehled energetických potřeb zahrnutých do hodnocení primární energie energeticky nulové budovy (hodnotí se položky označené X) [1]

	Obytné budovy		Neobytné budovy	
	Úroveň A	Úroveň B	Úroveň A	Úroveň B
Vytápění	X	X	X	X
Chlazení a úprava vlhkosti	- ¹⁾	- ¹⁾	X	X
Příprava teplé vody	X	X	X	X
Pomocná elektrická energie na provoz energetických systémů budovy	X	X	X	X
Umělé osvětlení	X	X	X ²⁾	X ²⁾
Elektrické spotřebiče	X	-	X	-

¹⁾ Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné. Pokud by výjimečně bylo (dodatečně) použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče.

²⁾ Záměrně odlišně od hodnocení pasivních neobytných budov.

Hodnoty dodané energie na vytápění se stanoví postupem podle ČSN EN ISO 13 790, na chlazení dle ČSN EN ISO 13 790 nebo podrobněji. Ostatní dodaná energie se hodnotí dle TNI 73 0329, TNI 73 0330 nebo podrobněji dle ověřených podkladů. Pro dálkové teplo, kogenerační výrobu a další kombinované energetické systémy se hodnoty určí podle ČSN EN 15316-4-5. Dále se započítává do primární energie roční produkce z obnovitelných zdrojů energie, sloužící potřebám domu i energie využitá jinde prostřednictvím energetické sítě. Dále může být zahrnuta i produkce tepla z obnovitelného zdroje (spalování biomasy, bioplynu apod.), která je předávána dalším budovám nebo tepelné síti. [1]

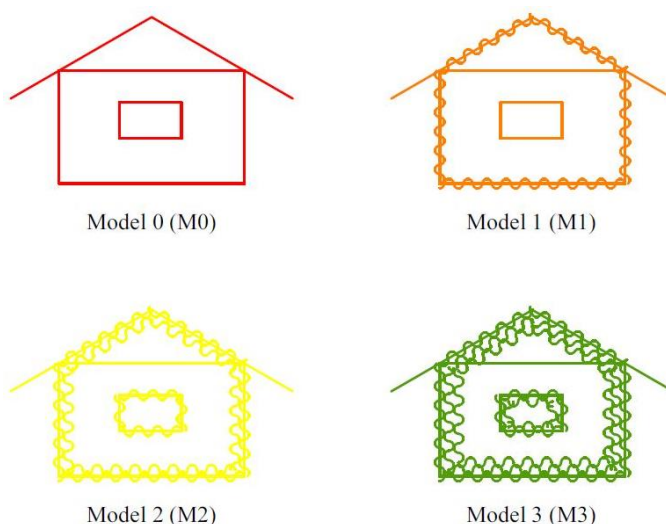
2.4 Energeticky nezávislé budovy

Energeticky nezávislé budovy jsou takové, které mají nulovou potřebu dodávky energie ze zdrojů mimo budovu. Většinou jsou to budovy mimo zastavěnou oblast. Je výhodné, aby tyto objekty byly řešeny jako pasivní. Vyrovnání mezi energetickou produkcí a spotřebou energie slouží akumulace energie do tepelných zásobníků, elektrických akumulátorů a využití akumulace energie v podzákladí. [1]

3 Řešení modelových budov – tepelně technické vlastnosti

Z energetického hlediska byly zkoumány čtyři modelové stavy budovy. Tyto modely se liší ve skladbách stavebních konstrukcí a v typu výplňových otvorů. U skladeb konstrukcí byly použity rozdílné tloušťky tepelně izolačních vrstev. Pro popis jednotlivých konstrukcí byl použit Model 2.

První varianta (Model 0) splňuje požadované hodnoty součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2. Druhá (Model 1) pak splňuje doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, třetí (Model 2) má horní hodnoty doporučené pro pasivní domy a čtvrtá varianta (Model 3) vyhovuje spodní hranici doporučené pro pasivní domy.



Obr. 1 Schéma modelových budov

Tab. 7 Popis objektu a lokality

Lokalita	Praha
Venkovní výpočtová teplota $t_{e,v}$	-12 °C
Průměrná venkovní teplota za otopné období t_{es}	4,3 °C
Druh budovy	osaměle stojící
Poloha budovy v krajině	nechráněná
Typ využití budovy	rekreační dům
Počet nadzemních podlaží	2
Počet podzemních podlaží	0
Celkový počet osob	10

Pro samotný návrh způsobu vytápění budovy je nejdříve nutné znát tepelně technické vlastnosti objektu. Tyto vlastnosti jsou závislé na součiniteli prostupu tepla U [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$] jednotlivých konstrukcí. Ten se určuje ze součinitele tepelné vodivosti λ [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$] a tloušťky vrstev konstrukce d [mm].

3.1 Svislé konstrukce

Tab. 8 Skladba obvodové zdi (M2)

Materiál konstrukce zdi	Tloušťka s [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]
Vnější sádrová omítka	5	0,470
EPS bílý	200	0,039
Porotherm 30 Profi	300	0,175
Lehčená jádrová omítka	20	0,370
Šlechtěná omítka	2	0,570
d	467	mm

3.2 Vodorovné konstrukce

Tab. 9 Skladba konstrukce podlahy (M2)

Materiál konstrukce podlahy	Tloušťka s [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]
Keramická dlažba	10	1,010
Lepící tmel	6	0,210
Penetrace	0	1,000
Rozněšecí betonová mazanina	50	1,300
Separální polyethylenová fólie	0,2	0,350
Desky z pěnového polystyrenu	160	0,037
Ochranná betonová mazanina	60	1,300
Asfaltový pás SBS modifikovaný	4	0,210
Penetrační asfaltová emulze	0	1,000
Základová ŽB deska	200	1,58
Zhutněný násyp	150	1,5
d	600	mm

Tab. 10 Skladba konstrukce střechy (M2)

Materiál konstrukce střechy	Tloušťka s [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
Asfaltový pás Elastek 40	4,5	0,210
Samolepící pás Glastek 30	3	0,210
Tepelná izolace EPS	160	0,037
Spádové klíny EPS min. tl. 100 mm	100	0,037
Polyuretanové lepidlo	0	0,000
Asfaltový pás Glastek 40	4	0,210
Nátěr Dekprimer	0	0,000
ŽB nosná konstrukce	180	1,580
Lehčená jádrová omítka	20	0,370
Šlechtěná omítka	2	0,570
d	454	mm

3.3 Výplně otvorů

Tab. 11 Tepelně technické vlastnosti oken a dveří (M2)

Materiál okna	Plocha S [m ²]	Součinitel prostupu tepla [W/m ² ·K]
Trojsklo	54,335	0,6
Dřevěný rám	9,589	0,94

3.4 Výpočet součinitele prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla definuje celkovou výměnu tepla v ustáleném stavu mezi dvěma prostředími, které jsou oddělené stavební konstrukcí. Je to množství tepla, které projde 1 m² konstrukce z teplejšího prostředí do chladnějšího při teplotním rozdílu 1 K. Součinitel prostupu tepla byl určen dle normy ČSN EN ISO 6946 pro neprůsvitné části konstrukce, dle ČSN EN ISO 10 077-1 a 2 pro části průsvitné a podle normy ČSN EN ISO 13 370 byl vypočten součinitel prostupu tepla přilehlou zeminou.

Pro výpočet součinitele prostupu tepla pro neprůsvitné konstrukce platí vztah

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

kde

α_i celkový součinitel přestupu tepla na vnitřní straně $[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$,

α_e celkový součinitel přestupu tepla na venkovní straně $[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$,

λ_n součinitel tepelné vodivosti stavební konstrukce $[\text{W/m} \cdot \text{K}]$,

s_n tloušťka stavební konstrukce $[\text{m}]$,

R_n tepelný odpor $[\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$,

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

R_{se} tepelný odpor při přestupu tepla na venkovní straně $[\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$.

Tepelný odpor se určuje dle směru toku tepla, a to ve vodorovném směru, směrem nahoru a dolů. Odpor při přestupu tepla na venkovní straně má konstantní hodnotu $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně je v případě vodorovného prostupu $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, směrem nahoru $R_{si} = 0,10 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ a směrem dolů $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Součinitel prostupu tepla pro průsvitné konstrukce se vypočte ze vztahu

$$U_{okna} = \frac{\sum S_{skla} \cdot U_{skla} + \sum S_{skla} \cdot U_{skla} + \sum I_{skla} \cdot \psi_{skla}}{\sum S_{skla} + \sum S_{rámu}} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}], \quad (2)$$

kde

U_{okna} součinitel prostupu tepla okna $[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$,

U_{skla} součinitel prostupu zasklení $[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$,

S_{skla} plocha zasklení [m²],

$U_{rámu}$ plocha zasklení [W/m²·K],

$S_{rámu}$ plocha rámu [m²],

I_{skla} viditelný obvod zasklení [m],

ψ_{skla} lineární činitel prostupu tepla zasklení a rámu okna [W/m·K].

Velikost lineárního součinitele prostupu tepla se určuje dle typu zasklení a materiálu rámu okna.

Součinitel prostupu tepla podlahou na přilehlé zemině $U_{podlahy}$ se určí dle ČSN EN ISO 13 370 ze vztahu

$$d_t < B' \quad U_{podlahy} = \frac{2 \cdot \lambda_{zeminy}}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln\left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1\right) \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}], \quad (3)$$

$$d_t \geq B' \quad U_{podlahy} = \frac{\lambda_{zeminy}}{0,457 \cdot B' + d_t} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}], \quad (4)$$

kde

d_t celková ekvivalentní tloušťka podlahy [m],

B' charakteristický parametr [m].

Celková ekvivalentní tloušťka podlahy d_t se vypočte ze vzorce

$$d_t = w + \lambda_{zeminy} \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad [\text{m}], \quad (5)$$

kde

w celková tloušťka obvodových stěn obsahující všechny vrstvy (tj. svislé stěny) [m],

λ_{zeminy} tepelná vodivost [W/m·K],

R_{si} tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně; dle ČSN EN ISO 6946 $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ (tepelný tok dolů) [m²·K/W],

R_f tepelný odpor podlahy [m²·K/W],

R_{se} tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně; dle ČSN EN ISO 6946 $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ (tepelný tok dolů) [m²·K/W].

Charakteristický parametr B' se určí ze vztahu

$$B' = \frac{S_{podlahy}}{0,5 \cdot O_{podlahy}} \quad [\text{m}], \quad (6)$$

kde

$S_{podlahy}$ plocha podlahy [m²],

$O_{podlahy}$ obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí [m].

Všechny čtyři modelové varianty byly hodnoceny dle norem ČSN EN ISO 6946, ČSN EN ISO 10 077-1 a 2 a ČSN EN ISO 13 370 a vyhověly požadovaným hodnotám součinitele prostupu tepla. Přesné hodnoty součinitele prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce jsou uvedeny v tabulce 12.

Tab. 12 Součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí modelových objektů

	Svislé konstrukce		Vodorovné konstrukce				Výplně otvorů
			Podlaha		Střecha		
	d [mm]	U [W/m ² ·K]	d [mm]	U* [W/m ² ·K]	d [mm]	U [W/m ² ·K]	U [W/m ² ·K]
Model 0	387	0,286	520	0,437	364	0,226	1,210
Model 1	407	0,250	560	0,296	434	0,158	1,210
Model 2	527	0,141	640	0,178	474	0,135	0,776
Model 3	587	0,116	680	0,149	514	0,118	0,685

* Hodnota součinitele prostupu tepla je zde uvedena pro místnost 1.08 koupelnu. Tato místnost má nejméně příznivý součinitel prostupu tepla.

4 Tepelné ztráty

Tepelné ztráty byly počítány dle normy ČSN EN 12 831 „Tepelné soustavy v budovách – výpočet tepelného výkonu“. Norma rozděluje ztráty na tepelné ztráty prostupem obálky budovy a na tepelné ztráty způsobené větráním. Pro minimalizaci tepelné ztráty obálkou budovy je nutné zabezpečit dostatečnou tepelnou izolaci a také minimalizovat tepelné mosty v konstrukci. Nemalá část tepelné ztráty budovy je tvořena větráním, které je nutné uvažovat kvůli hygienickým požadavkům na výměnu vzduchu. Tuto ztrátu lze velice dobře snížit díky rekuperační jednotce.

Výpočet celkových tepelných ztrát Φ_i se provádí dle vztahu

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad [\text{W}], \quad (7)$$

kde

$$\Phi_i \quad \text{celková navrhovaná tepelná ztráta vytápěného prostoru} \quad [\text{W}],$$

$$\Phi_{T,i} \quad \text{navrhovaná tepelná ztráta prostupem tepla} \quad [\text{W}],$$

$$\Phi_{V,i} \quad \text{navrhovaná tepelná ztráta větráním} \quad [\text{W}].$$

4.1 Tepelné ztráty prostupem

Návrhová tepelná ztráta prostupem $\Phi_{T,i}$ se vypočítá dle následující rovnice

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (t_{iv} - t_{ev}) \quad [\text{W}], \quad (8)$$

kde

$$\Phi_{T,i} \quad \text{navrhovaná tepelná ztráta prostupem tepla} \quad [\text{W}],$$

$$H_{T,ie} \quad \text{součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru} \quad [\text{W/K}],$$

do venkovního prostředí pláštěm budovy

$H_{T,iue}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí nevytápěným prostorem	[W/K],
$H_{t,ig}$	součinitel tepelné ztráty prostupem do zeminy z vytápěného prostoru	[W/K],
$H_{T,ji}$	součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do sousedního prostoru vytápěného na výrazně jinou teplotu	[W/K],
t_{iv}	výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru	[°C],
t_{ev}	výpočtová venkovní teplota	[°C].

Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí pláštěm budovy $H_{T,ie}$ se vypočte

$$H_{T,ie} = \sum A_k \cdot U_k + \sum \psi_l \cdot l_l \quad [\text{W/K}], \quad (9)$$

kde

A_k	plocha stavební části	[m ²],
U_k	součinitel prostupu tepla (dle ČSN EN ISO 6946 nebo 10 077-1)	[W/m ² ·K],
ψ_l	součinitel lineárního prostupu tepla tepelného mostu	[W/m·K],
l_l	délka lineárního tepelného mostu mezi vnitřním a vnějším prostředím	[m].

Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí nevytápěným prostorem $H_{T,iue}$ je určen dle vztahu

$$H_{T,iue} = \sum A_k \cdot U_k \cdot b + \sum \psi_l \cdot l_l \cdot b_u \quad [\text{W/K}], \quad (10)$$

kde

b_u teplotní redukční činitel [-].

Pokud je teplota nevytápěného prostoru t_u stanovená nebo navržena dle návrhových podmínek je opravný součinitel b_u dán vztahem

$$b_u = \frac{t_{int,i} - t_u}{t_{int,i} - t_e} \quad [-]. \quad (11)$$

Je-li t_u neznámá, součinitel b_u se vypočte z tepelné bilance

$$b_u = \frac{H}{H_{iu} - H_{ue}} \quad [-]. \quad (12)$$

Součinitel tepelné ztráty prostupem tepla z interiéru do sousední vytápěné místnosti, která je vytápěna na výrazně jinou teplotu $H_{T,ji}$ se určí dle vztahu

$$H_{T,ij} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot f_{i,j} \quad [\text{W/K}], \quad (13)$$

kde

$f_{i,j}$ opravný teplotní součinitel, který udává rozdíl mezi teplotou sousedního prostoru a venkovní výpočtové teploty [-].

Opravný teplotní součinitel $f_{i,j}$ se vypočte ze vzorce

$$f_{i,j} = \frac{t_{int,i} - t_{vst}}{t_{int,i} - t_e} \quad [-], \quad (14)$$

kde

t_{vst} teplota v sousedním vytápěném prostoru [$^{\circ}\text{C}$].

4.2 Tepelné ztráty větráním

K tepelné ztrátě větráním dochází z důvodu nutnosti výměny vzduchu v objektu z hygienických důvodů. Tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ se vypočte dle vzorce

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (t_{int,i} - t_e) \cdot (1 - \eta_t) \quad [\text{W}], \quad (15)$$

kde

$H_{V,i}$ součinitel návrhové tepelné ztráty větráním [W/K],

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

t_e venkovní oblastní výpočtová teplota [°C],

η_t účinnost rekuperační jednotky [-].

Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním $H_{V,i}$ se určí ze vzorce

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \cdot \rho \cdot c_p \quad [\text{W/K}], \quad (16)$$

kde

\dot{V}_i objemový průtok vzduchu [m³/s],

ρ hustota vzduchu; 1,2 kg/m³ [kg/m³],

c_p měrná tepelná kapacita vzduchu; 1 010 J/kg·K [J/kg·K].

Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním se dá zjednodušeně vyjádřit

$$H_{V,i} \approx \dot{V}_i \cdot 0,34 \quad [\text{W/K}], \quad (17)$$

kde je objemový průtok \dot{V}_i je dosazován v m³/h.

Norma ČSN EN 12 831 dělí větrání na přirozené a nucené a tomu je také přizpůsoben výpočet. V rámci této práce je Model 0 uvažován pouze s přirozeným větráním. Ostatní modely budovy jsou vybaveny rekuperační jednotkou.

Pro výpočet měrné tepelné ztráty je nutné rozlišovat množství vzduchu, které je vyměněno infiltrací spárami a styky stavebních konstrukcí a minimální výměnu vzduchu, která je nutná z důvodu hygienických standardů. Pro výpočet se následně vezme větší z hodnot. Při uvažování minimální průvzdušnosti oken a dveří, které byly v projektu zvoleny, bude požadované hygienické minimum na výměnu vzduchu vždy větší než únik vzduchu spárami a netěsnostmi. Výpočet průtoku vzduchu daný hygienickým požadavkem se určí dle vztahu

$$V_{min} = n \cdot V_i \quad [\text{m}^3/\text{h}], \quad (18)$$

kde

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

$$V_i \quad \text{vnitřní objem místnosti} \quad [\text{m}^3].$$

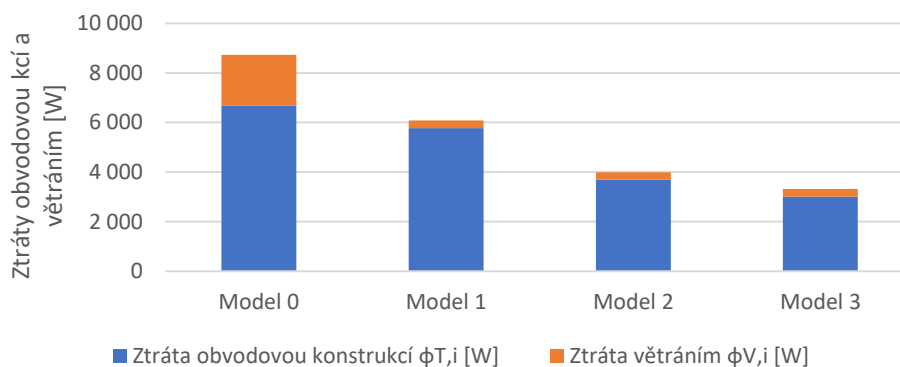
Výpočet tepelných ztrát modelových objektů byl proveden dle výše uvedených vzorců. Tepelné ztráty jednotlivých místností jsou uvedeny pro modelovou budovu 2 níže v tabulce 13. Pro Modely 1, 2 a 3 byla zvolena rekuperační jednotka Duplex Easy od firmy Atrea. Model budovy číslo 0 rekuperační jednotku nemá.

Tab. 13 Ztráty obvodovou konstrukcí a větráním (M2)

Č.	Název místnosti	Ztráta obvodovou konstrukcí $\varphi_{T,i}$ [W]	Ztráta větráním $\varphi_{v,i}$ [W]	Celková ztráta [W]
1.01	Vstupní hala	125	0	125
1.02	Technická místnost	71	0	71
1.03	Technická místnost	72	0	72
1.04	Koupelna	194	30	225
1.05	Ložnice	338	16	354
1.06	Obývací pokoj	484	57	541
1.07	Kuchyně	421	47	468
1.08	Koupelna	189	27	216
2.01	Chodba	313	0	313
2.02	Ložnice 1	335	19	354
2.03	Koupelna 1	150	19	169
2.04	Ložnice 2	250	18	267

Č.	Název místnosti	Ztráta obvodovou konstrukcí $\phi_{T,i}$ [W]	Ztráta větráním $\phi_{V,i}$ [W]	Celková ztráta [W]
2.05	WC	8	7	15
2.06	Ložnice 3	244	16	260
2.07	Koupelna 2	14	14	28
2.08	Ložnice 4	330	17	347
2.09	Koupelna 3	150	19	169
		3689	308	3996

Ztráty obvodovou konstrukcí se u jednotlivých variant modelového objektu liší v závislosti na skladbě konstrukce dané budovy. Model budovy 0 dosahuje nejvyšší ztráty a to 6 680 W, Model 1 má ztrátu 5 777 W, Model 2 3 689 W a Model 3 má nejnižší ztrátu obvodovou konstrukcí a to 3 010 W. U objektů, kde je použita rekuperační jednotka (M1, M2 a M3) je tepelná ztráta větráním rovna 308 W. Model 0, který rekuperační jednotku nemá, dosahuje ztráty 2 052 W.



Obr. 2 Ztráty obvodovou konstrukcí a větráním

5 Tepelné zisky

Tepelné zisky jsou definovány v normě ČSN EN ISO 13 790. Dále je můžeme rozdělit na tepelné zisky vnitřní a vnější.

5.1 Vnitřní tepelné zisky

Vnitřní tepelné zisky zahrnují zisky, které jsou způsobeny přítomností osob v objektu a teplem, jenž vytvářejí domácí spotřebiče a umělé osvětlení. Vnitřní tepelné zisky se určí ze vzorce

$$\Phi_{zisk,vnitřní} = \Phi_{s,o} \cdot f + \Phi_{s,p} \quad [\text{W}], \quad (19)$$

kde

$\Phi_{s,o}$ tepelný tok od osob, domácích spotřebičů a umělého osvětlení; 100 W/osoba [W],

f koeficient přítomnosti osob; 0,7 [-],

$\Phi_{s,p}$ tepelný tok na každou bytovou jednotku bez ohledu na přítomnost osob; 100 W na bytovou jednotku [W].

5.2 Vnější tepelné zisky

V důsledku slunečního záření vznikají vnější tepelné zisky. Tyto zisky jsou ovlivněny orientací ke světovým stranám, stínícími prvky a samotnými vlastnostmi konstrukce, jako je například propustnost nebo pohltivost slunečního záření.

Vnější tepelné zisky Φ_{sol} se dle normy ČSN EN 13 790 vypočtou pomocí vzorce

$$\Phi_{sol} = F_{sh} \cdot (\sum A_{sol}) \cdot I_{sol} - F_{r,i} \cdot \Phi_{r,i} \quad [\text{W}], \quad (20)$$

kde

Φ_{sol} solární tepelný tok [W],

F_{sh}	korekční činitel stínění; obvykle 0,7	[-],
A_{sol}	účinná sběrná plocha prvku s danou orientací a úhlem sklonu	[m ²],
I_{sol}	sluneční ozáření, průměrná energie slunečního záření za časový krok výpočtu	[W/m ²],
$F_{r,i}$	faktor osálení mezi daným stavebním prvkem a oblohou; nestíněná horizontální plocha 1, nestíněná vertikální plocha 0,5	[-],
$\Phi_{r,i}$	přídavný tepelný tok v důsledku sálení mezi oblohou a prvkem i	[W].

Tab. 14 Průměrná energie slunečního záření za časový krok výpočtu

Měsíc	Počet dnů n [den]	Střední teplota t_{ep} [°C]	Celkové solární záření za měsíc				
			S	J	V	Z	Horizont
			I_{sol} [W/m ²]				
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

Účinná solární sběrná plocha zasklených prvků A_{sol} se vypočte dle vzorce

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_f) \cdot A_{w,p} \quad [\text{W}], \quad (21)$$

kde

$F_{sh,gl}$ korekční činitel stínění zasklených prvků; obvykle 0,7 [-],

g_{gl} celková propustnost průhlednými prvky [-],

F_f podíl plochy rámu [-],

$A_{w,p}$ celková pohledová plocha zaskleného prvku [m²].

Celková propustnost průhlednými prvky g_{gl} je dána vztahem

$$g_{gl} = F_w \cdot g_{gl,n} \quad [-], \quad (22)$$

kde

F_w korekční činitel pro nerozptylující zasklení [-],

$g_{gl,n}$ celková propustnost zasklení [-].

Tab. 15 Celková propustnost zasklení $g_{gl,n}$

Celková propustnost zasklení	$g_{gl,n}$ [-]
Jednoduché zasklení	0,85
Dvojsklo	0,75
Dvojsklo se selektivním nízkoemisním povrchem	0,67
Trojsklo	0,7
Trojsklo se selektivním nízkoemisním povrchem	0,5
Zdvojené okno	0,75

Účinná sběrná plocha neprůhledných prvků A_{sol} se určí vztahem

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_{c,p} \quad [-], \quad (23)$$

kde

$\alpha_{s,c}$ pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků konstrukce; uvažovaná hodnota 0,6 [-],

R_{se} tepelný odpor při přestupu tepla na vnějším povrchu neprůhledné části; 0,04 m²/K·W [m²/K·W],

U_c součinitel prostupu tepla neprůhledné části [W/m²·K],

$A_{c,p}$ pohledová plocha neprůhledné části [m²].

Přídavný tepelný tok $\Phi_{r,i}$ v důsledku sálání vůči obloze je dán vztahem

$$\Phi_{r,i} = R_{s,e} \cdot U_c \cdot A_{c,p} \cdot h_r \cdot \Delta t_{e,r} \quad [\text{W}], \quad (24)$$

kde

h_r součinitel přestupu tepla sáláním na vnější straně; [W/m²·K],
5 W/m²·K

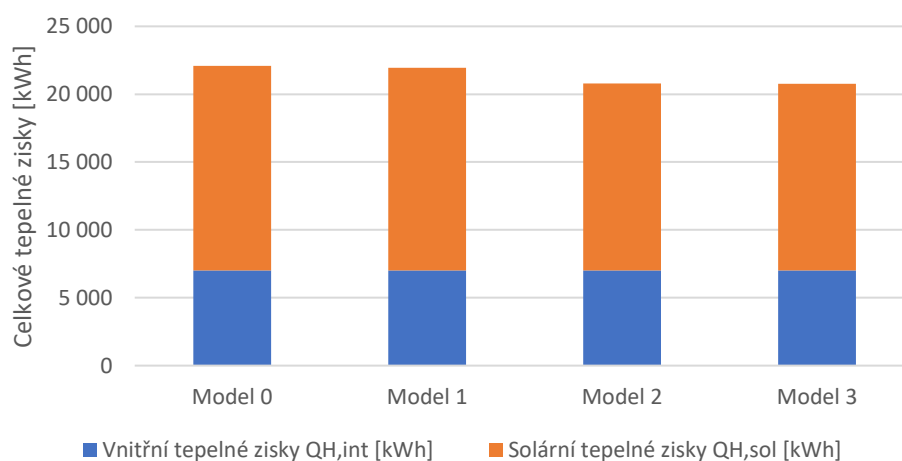
$\Delta t_{e,r}$ průměrný rozdíl venkovní teploty vzduchu a zdánlivé teploty oblohy; 11 K pro mírné teplotní pásmo [°C].

Tepelné zisky byly spočteny dle vzorců, které jsou uvedeny výše. V tabulce 16 jsou uvedeny vnitřní a vnější tepelné zisky pro Model 2.

Tab. 16 Vnitřní a vnější tepelné zisky (Model 2)

Měsíc	Počet dnů n [den]	Počet hod nhod [hod]	Vnitřní tepelné zisky $Q_{H,int}$ [kWh]	Vnější tepelné zisky $Q_{H,sol}$ [kWh]	Celkové tepelné zisky $Q_{H,gn}$ [kWh]
Leden	31	744	595	694	1 289
Únor	28	672	538	735	1 273
Březen	31	744	595	1 249	1 844
Duben	30	720	576	1 449	2 025
Květen	31	744	595	1 624	2 220
Červen	30	720	576	1 462	2 038
Červenec	31	744	595	1 567	2 162
Srpen	31	744	595	1 615	2 210
Září	30	720	576	1 402	1 978
Říjen	31	744	595	1 111	1 706
Listopad	30	720	576	492	1 068
Prosinec	31	744	595	395	990
			7 008	13 794	20 802

Vnitřní tepelné zisky jsou u všech modelů stejné, vzhledem ke stejné obsazenosti objektu osobami (10 osob). Celkové vnitřní tepelné zisky jsou za rok 7 008 kWh. Vnější tepelné zisky se u objektů liší, kvůli rozdílným skladbám konstrukcí a rozdílným výplním okenních a dveřních otvorů. Nejvyšších tepelných zisků dosahuje Model 0 a to 22 097 kWh za rok. Model 1 má tepelné zisky 21 947 kWh, Model 2 má 20 802 kWh. Nejnižší hodnoty má Model 3 a to 20 758 kWh za rok.



Obr. 3 Celkové tepelné zisky

6 Celková potřeba tepla

Potřeba tepla je definována potřebou tepla na vytápění a přípravu teplé vody. Pro přesné určení energetické bilance domu je nutné určit jednak tepelné ztráty, ale také tepelné zisky. Při výpočtu bylo postupováno dle normy ČSN EN ISO 13 790.

6.1 Potřeba tepla na vytápění

Celková potřeba tepla na vytápění objektu zohledňuje potřebu tepla a tepelné zisky.

Výsledná celková potřeba tepla na vytápění je dána vztahem

$$Q_{H,nd} = a_{H,red} \cdot (Q_{H,ht} - Q_{H,gn} \cdot \eta_{H,gn}) \quad [\text{kWh}], \quad (25)$$

kde

$a_{H,red}$ redukční faktor na přerušované vytápění [-],

$Q_{H,ht}$ celková potřeba tepla [kWh],

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

$\eta_{H,gn}$ faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění [-].

Redukční faktor na přerušované vytápění $a_{H,red}$ se určí ze vztahu

$$a_{H,red} = 1 - 3 \cdot \left(\frac{\tau_{H,0}}{\tau} \right) \cdot \gamma_H \cdot \left(1 - \frac{\tau_{pr} \cdot d_{pr}}{24 \cdot 7} \right) \quad [-], \quad (26)$$

kde

$\tau_{H,0}$ referenční časová konstanta; 15 h [h],

τ časová konstanta budovy [h],

γ_H bilanční poměr pro režim vytápění [-],

τ_{pr} počet hodin v týdnu s požadovanou teplotou pro vytápění [h],

d_{pr} počet dnů v týdnu s požadovanou teplotou pro vytápění [dny].

Časová konstanta budovy τ se určí ze vzorce

$$\tau = \frac{c_m/3600}{H_T + H_V} \quad [\text{h}], \quad (27)$$

kde

c_m vnitřní tepelná kapacita budovy [J/K],

H_T měrný tepelný tok prostupem celé budovy [W/K],

H_V měrný tepelný tok větráním celé budovy [W/K].

Tab. 17 Vnitřní tepelná kapacita budovy

Třída budovy	Vnitřní tepelná kapacita budovy c_m [J/K] (měsíční metoda)
Velmi lehká	80 000
Lehká	110 000
Střední	165 000
Těžká	260 000
Velmi těžká	370 000

Bilanční poměr pro režim vytápění γ_H se stanoví podle vztahu

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad [-]. \quad (28)$$

Celková potřeba tepla $Q_{H,ht}$ se určí vzorcem

$$Q_{H,ht} = Q_{H,tr} + Q_{H,ve} \quad [\text{kWh}], \quad (29)$$

kde

$Q_{H,tr}$ potřeba tepla prostupem [kWh],

$Q_{H,ve}$ potřeba tepla větráním [kWh].

Potřeba tepla na vytápění prostupem $Q_{H,tr}$ se vypočte jako

$$Q_{H,tr} = n_{hod} \cdot H_{T,i} \cdot (t_{iv} - t_{ev}) \quad [\text{kWh}], \quad (30)$$

kde

n_{hod} počet hodin [h],

$H_{T,ie}$ součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí pláštěm budovy [W/K],

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

t_{ev} výpočtová venkovní teplota [°C].

Potřeba tepla na vytápění větráním $Q_{H,ve}$ se určí ze vztahu

$$Q_{H,ve} = n_{hod} \cdot H_{V,i} \cdot (t_{iv} - t_{ev}) \quad [\text{kWh}], \quad (31)$$

kde

$H_{V,i}$ součinitel návrhové tepelné ztráty větráním [W/K].

Faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění γ_H je určen vztahy

$$\text{Když } \gamma_H > 0 \text{ a } \gamma_H \neq 0 \quad \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \quad [-], \quad (32)$$

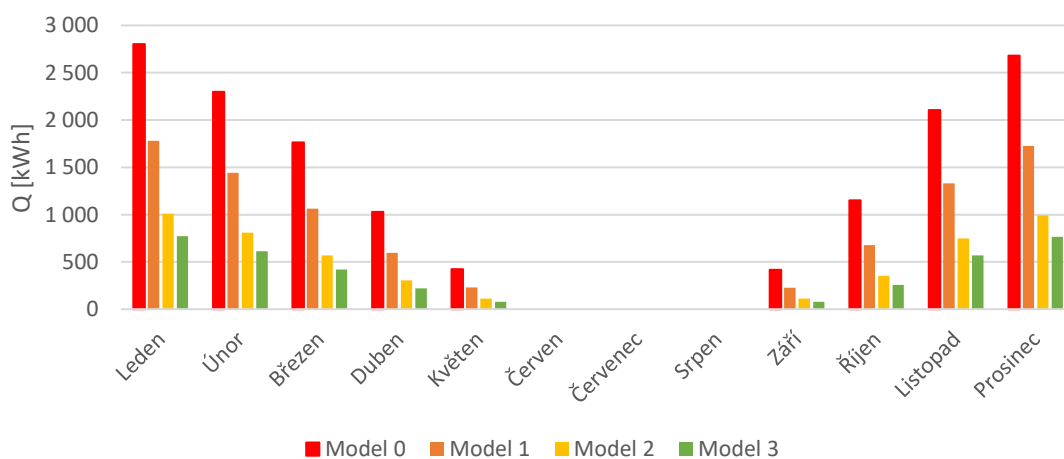
$$\text{Když } \gamma_H = 1 \quad \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{1 + a_H} \quad [-], \quad (33)$$

$$\text{Když } \gamma_H < 0 \quad \eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H} \quad [-]. \quad (34)$$

Pro výpočet bezrozměrného časového parametru a_H platí rovnice

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad [-]. \quad (35)$$

Při určování potřeby tepla na vytápění bylo postupováno dle výše uvedených vzorců. Nejvyšších hodnot dosahuje Model 0 s potřebou 14 665 kWh za rok. Model 1 má potřebu tepla na vytápění 9 069 kWh, Model 2 5 004 kWh. Model 3 má nejnižší potřebu tepla a to 3 769 kWh. V letních měsících (červen, červenec a srpen) byla uvažována nulová potřeba tepla na vytápění.



Obr. 4 Celková potřeba tepla na vytápění

6.2 Potřeba tepla na přípravu teplé vody

Potřeba tepla na přípravu teplé vody se stanoví bilancí potřeby tepla pro přípravu teplé vody na osobu za den a je dána vztahem

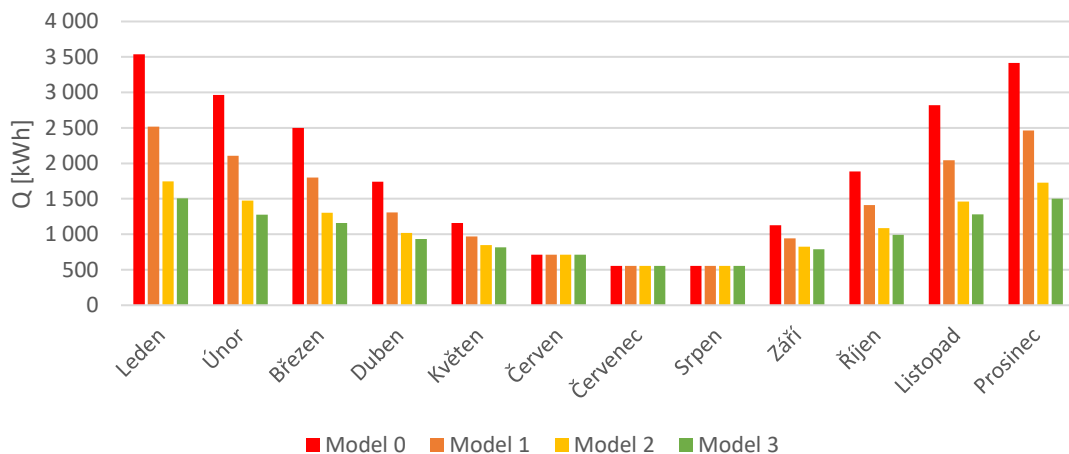
$$Q_{TV,den} = (1 + z) \cdot \rho \cdot c \cdot n_{os} \cdot V_{TV} \cdot (t_2 - t_1) \quad [\text{W}], \quad (36)$$

kde

z	poměrný koeficient (u průtočného ohřevu je $z = 0$, jinak je závislý na celkové délce rozvodů TV a stavu tepelné izolace); 0,3	[-],
ρ	hustota vody; 1 000 kg/m ³	[kg/m ³],
c	měrná tepelná kapacita vody; 4 180 J/kg·K	[J/kg·K],
V_{TV}	objem vody na osobu na den; 0,035 m ³	[m ³],
n_{os}	počet osob	[-],
t_2	požadovaná teplota vody po ohřevu	[°C],
t_1	průměrná roční teplota přiváděné studené vody	[°C].

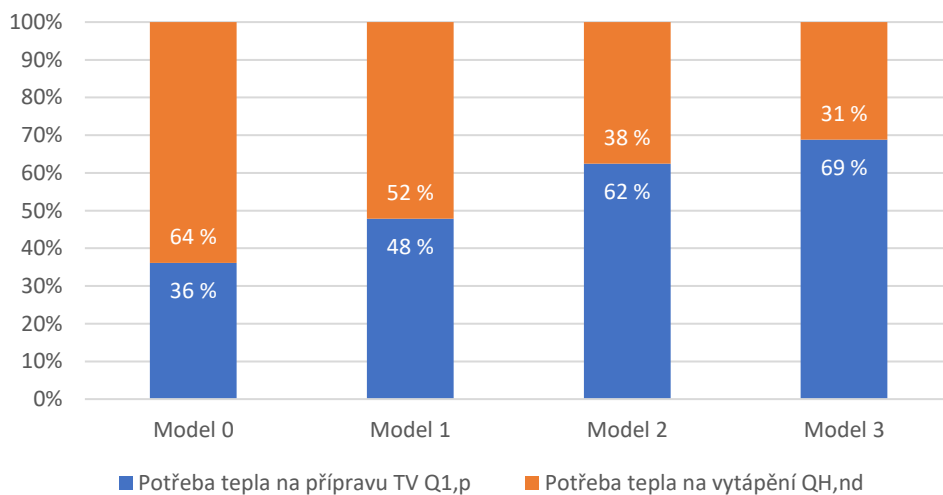
V prázdninových měsících (červenec a srpen) byla snížena potřeba teplé vody o 25 % oproti normálnímu stavu. Potřeba tepla ve všech čtyřech variantách je totožná, vzhledem k uvažování stejné obsazenosti osobami. Potřeba tepla na přípravu teplé vody dosahuje za rok 8 309 kWh. Takto vysoká hodnota potřeby tepla na přípravu TV je kvůli uvažovanému vysokému počtu osob (10 osob).

Nejvyšší nároky na potřebu tepla má Model 0 s celkovou potřebu tepla 22 974 kWh na rok. Model 1 dosahuje hodnoty 17 378 kWh, Model 2 13 313 kWh. Nejnižší potřebu tepla nalezneme u Modelu 3 a to 12 075 kWh.



Obr. 5 Celková potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody

Model 0 a 1 mají větší potřebu tepla na vytápění než na přípravu teplé vody. Společně se zvyšujícími se tepelně izolačními vlastnostmi obvodové konstrukce a zlepšením tepelně technických vlastností oken a dveří se snižuje potřeba tepla na vytápění a Modely 2 a 3 již mají nižší potřebu tepla na vytápění než na přípravu teplé vody.



Obr. 6 Procentuální porovnání potřeby tepla na vytápění a na přípravu TV

7 Zdroje tepla

V rámci této práce bylo vybráno 6 zdrojů tepla na vytápění a přípravu teplé vody. Jako první zdroj bylo navrženo tepelné čerpadlo země / voda, dále pak tepelné čerpadlo vzduch / voda, plynový kotel, plynový kotel v kombinaci se solárními kolektory, kotel na biomasu a kotel na biomasu se solárními kolektory. Následně bylo provedeno jejich vyhodnocení z ekonomického hlediska (pořizovací a provozní náklady).

7.1 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla patří mezi alternativní zdroje energie. Získávají teplo z okolního prostředí jako z vody, vzduchu nebo země a převádí ho na vyšší teplotní hladinu. Následně je teplo možné využít na přípravu teplé vody či vytápění. Pro jejich chod je samozřejmě nutné dodat určité množství energie. [10]

Pro elektricky poháněná tepelná čerpadla se ustálila celá řada hodnotících parametrů porovnávající jejich energetickou kvalitu, jako je například topný faktor tepelného čerpadla COP nebo sezónní topný faktor tepelného čerpadla SCOP. [11]

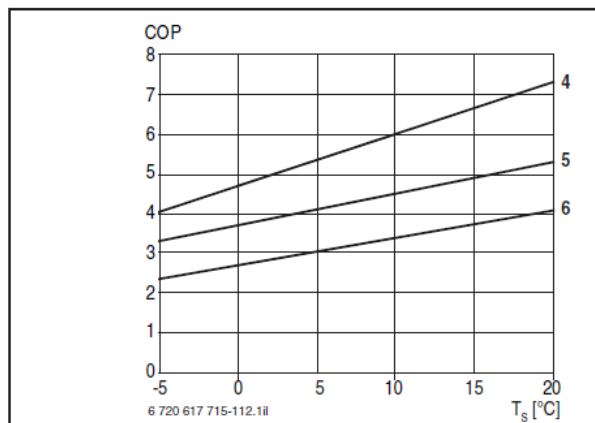
Topný faktor tepelného čerpadla COP (coefficient of performance) je poměr výkonu k celkovému elektrickému příkonu jednotky za ustálených provozních podmínek. Je stanovený měřením v laboratoři pro jednu kombinaci provozních podmínek, nevyjadřuje dostatečně věrohodně provozní efektivitu tepelného čerpadla provozovaného celý rok v měnících se teplotních podmínkách. [11]

Sezónní topný faktor tepelného čerpadla SCOP (seasonal coefficient of performance) je lepším kritériem při výběru tepelného čerpadla než jmenovitý topný faktor. Výpočet SCOP vychází z celoroční bilance produkce tepla daného tepelného čerpadla a krytím potřeby tepla budovy definované návrhovou tepelnou ztrátou v otopné sezóně se standardizovanými provozními a klimatickými podmínkami. [11]

7.1.1 Tepelné čerpadlo země / voda (Z1)

Jako první zdroj energie bylo zvoleno tepelné čerpadlo země / voda Logatherm WPS-K s integrovaným zásobníkem teplé vody na 185 l. Dále byl vybrán akumulární zásobník na vodu AkuEconomy 200L od firmy Viadrus o objemu 223 l. Pro Model 0

(M0) bylo zvoleno tepelné čerpadlo (TČ) s výkonem 10 kW, pro Model 1 (M1) TČ s výkonem 8 kW a pro Model 2 (M2) a 3 (M3) TČ s výkonem 6 kW.



Obr. 20 Topný faktor WPS 10 K-1

Legenda k obrázkům 17, 18, 19 a 20:

COP Topný faktor ϵ

P Výkon

T_s Vstupní teplota solanky

1 Tepelný výkon při výstupní teplotě 35 °C

2 Tepelný výkon při výstupní teplotě 45 °C

3 Tepelný výkon při výstupní teplotě 55 °C

4 Topný faktor při výstupní teplotě 35 °C

5 Topný faktor při výstupní teplotě 45 °C

6 Topný faktor při výstupní teplotě 55 °C

Obr. 7 Topný faktor COP tepelného čerpadla WPS 10 K-1

Tab. 18 SPF určené z topného faktoru COP (Obr. 7) u TČ WPS 10 K-1

Měsíc	Počet dní	Průměrné měsíční venkovní teploty v ČR [°C]	COP		
			35 °C	45 °C	55 °C
Leden	31	-1,3	4,70	3,70	2,70
Únor	28	-0,1	4,85	3,80	2,80
Březen	31	3,7	5,10	3,00	2,95
Duben	30	8,1	5,95	4,40	3,20
Květen	31	13,3	6,50	4,90	3,70
Červen	30	16,1	6,80	5,00	3,90
Červenec	31	18,0	7,00	5,10	3,95
Srpen	31	17,9	7,00	5,10	3,95
Září	30	13,5	6,50	4,90	3,70
Říjen	31	8,3	5,95	4,40	3,20
Listopad	30	3,2	5,10	3,00	2,95
Prosinec	31	0,5	4,90	3,80	2,80
VYT	273	SPF	5,5	4,0	3,1
TV	365	SPF			3,3

Tab. 19 Zvolená tepelná čerpadla země / voda

Typ tep. čerpadla	Popis	Cena [Kč]
Paket s tepelným čerp.WPS 6 K-1 +P120/5 W	Pakety s tepelným čerpadlem země/voda	220 099
Paket s tepelným čerp.WPS 8-K+P120/5 W	Logatherm WPS-K v kompaktním provedení s integrovaným zásobníkem	221 309
Paket s tepelným čerp.WPS 10 K-1 +P200/5 W	teplé vody na 185 l	231 110
AkuECONOMY 200L, Viadrus	Akumulační zásobník s tepelnou izolací o objemu 223 l	5 789

7.1.2 Tepelné čerpadlo vzduch / voda (Z2)

Druhým vybraným alternativním zdrojem energie je tepelné čerpadlo vzduch / voda s integrovaných zásobníkem teplé vody na 190 l. Dále bylo vybráno tepelné čerpadlo od firmy Buderus Logatherm WLW196-i a také akumulční zásobník o objemu 223 l AkuEconomy 200L od firmy Viadrus. Pro M0 bylo zvoleno čerpadlo s výkonem 11 kW, pro M1 s výkonem 8 kW a pro M2 a M3 čerpadlo s výkonem 6 kW.

Tab. 20 Zvolená tepelná čerpadla vzduch / voda

Typ tep. čerpadla	Popis	Cena [Kč]
Logatherm WLW196i-6 IR T190	Tepelné čerpadlo vzduch / voda o topném výkonu 7,71 kW a topném faktoru COP 4,132 Provedení s integrovaným zásobníkem teplé vody, objem 190 l	313 390
Logatherm WLW196i-8 IR T190	Tepelné čerpadlo vzduch / voda o topném výkonu 10,51 kW a topném faktoru COP 4,072 Provedení s integrovaným zásobníkem teplé vody, objem 190 l	325 490
Logatherm WLW196i-11 IR T190	Tepelné čerpadlo vzduch / voda o topném výkonu 13,71 kW a topném faktoru COP 4,052 Provedení s integrovaným zásobníkem teplé vody, objem 190 l	367 840
AkuECONOMY 200L, Viadrus	Akumulační zásobník s tepelnou izolací o objemu 223 l	5 789

7.2 Plynový kondenzační kotel (Z3)

Třetím zdrojem tepla je plynový kondenzační kotel Logano plus GB212 od firmy Buderus s účinností 93 %. Zásobník na teplou vodu byl zvolen Logalux L200 s objemem 200 l. Pro M0 a M1 byl vybrán kotel o výkonu 22 kW, pro M2 a M3 kotel o výkonu 15 kW.

Tab. 21 Zvolené plynové kondenzační kotle a zásobníky na TV

Typ kotle	Popis	Cena [Kč]
Logano plus GB212–22	Paket Logano plus GB212–22 + ekvitermní regulátor Logamatic RC310 + venkovní čidlo + pojistná skupina BSS5 + expanzní nádoba 35 l bílá + držák RA KS	79 545
Logalux L200/2R	Zásobník Logalux L200/2R+prop.GB212 + čidlo TV + propojovací sada	45 085
Logano plus GB212-15	Paket Logano plus GB212–15 + ekvitermní regulátor Logamatic RC310 + venkovní čidlo + pojistná skupina BSS5 + expanzní nádoba 35 l bílá + držák RA KS	76 157
Logalux L200/2R	Zásobník Logalux L200/2R+prop.GB212 + čidlo TV + propojovací sada	45 085

Skutečná potřeba tepla na vytápění se určí ze vzorce

$$Q_{VYT} = \frac{Q_{teor}}{\eta_R \cdot \eta_o \cdot \eta_k} \quad [\text{kWh}], \quad (37)$$

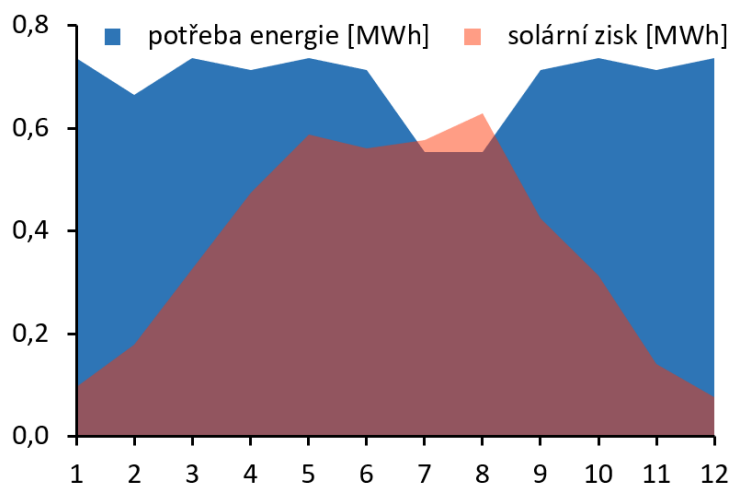
kde

Q_{teor}	teoretická potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody	[kWh],
η_R	účinnost rozvodu tepelné energie; 0,98	[-],
η_o	účinnost obsluhy; 0,99 pro plynový kotel, 0,90 pro kotle na tuhá paliva	[-],
η_k	účinnost zdroje tepla (kotle)	[-].

7.3 Plynový kondenzační kotel a solární kolektory (Z4)

Čtvrtým zdrojem tepla je plynový kondenzační kotel společně se solárními kolektory. Plynový kotel byl zvolen stejný, jako v předchozím případě, a to Logano plus GB212 s výkonem 15 kW. Dále byl použit bivalentní zásobník TV od firmy Buderus s objemem 380 l.

Solární kolektory jsou orientovány směrem na jih, pod sklonem 45°. Byly vybrány deskové atmosférické kolektory Logasol SKN 4.0-s (cena za kolektory včetně montáže a solární stanice je 104 423 Kč). Celkově jsou na střeše umístěny 4 kolektory se vztažnou plochou kolektorů 2,37 m². Celková plocha kolektorového pole je 9,5 m². Kolektory jsou použity pouze na ohřev teplé vody a ročně pokrývají 51,6 % potřeby energie na přípravu teplé vody. K výpočtu byla použita zjednodušená měsíční bilance solární tepelné soustavy.



Obr. 8 Měsíční bilance solární tepelné soustavy

Tab. 22 Zvolený plynový kondenzační kotel a bivalentní zásobník na TV

Typ kotle	Popis	Cena [Kč]
Logano plus GB212-15	Paket Logano plus GB212-15 + ekvitermní regulátor Logamatic RC310 + venkovní čidlo + pojistná skupina BSS5 + expanzní nádoba 35 l bílá + držák RA KS	76 157
Logalux SM400/5 EW	Zásobník TV bivalentní ve stojatém válcovém provedení a přírubou pro el. patronu, energetická třída C, objem 380 l	39 930

7.4 Kotel na biomasu (Z5)

Pátým zdrojem tepla je kotel na biomasu. Byl zvolen kotel Logano S181 s účinností 85 %, zásobník na teplou vodu Logalux SU200/5 E-B o objemu 200 l a akumulční zásobník Logalux PR500 o objemu 500 l. Pro M 0 a M1 byl vybrán kotel o výkonu 20 kW, pro M2 a M3 kotel o výkonu 15 kW.



Obr. 9 Kotel na biomasu Logano S181

Tab. 23 Zvolené kotle na biomasu, zásobník na TV a akumulční zásobník

Typ kotle	Popis	Cena [Kč]
Logano S181 20 E	Paket Logano S181 E 20 kW + čtyřcestný ventil VRG 141RP 3/4“ včetně pohonu + oběhové čerpadlo BUE-Plus 25/1-4 + modul ST-431N	74 778
Logalux SU200/5 E-B	Zásobník TV Logalux SU200/5 E-B o objemu 200 litrů, barva modrá, energetická třída B. Včetně nabíjecího čerpadla TV Buderus BUE-Plus 25/1-6 V2,230V a elektrické topné patrony 2 kW, 230 V	29 766
Logano S181 15 E	Paket Logano S181 E 15 kW + čtyřcestný ventil VRG 141RP 3/4“ včetně pohonu + oběhové čerpadlo BUE-Plus 25/1-4 + modul ST-431N	73 447
Logalux SU200/5 E-B	Zásobník TV Logalux SU200/5 E-B o objemu 200 litrů, barva modrá, energetická třída B. Včetně nabíjecího čerpadla TV Buderus BUE-Plus 25/1-6 V2,230V a elektrické topné patrony 2 kW, 230 V	29 766

Logalux PR500/80	Akumulační zásobník z ocelového plechu ve stojatém, válcovém provedení se stratifikační zpátečky vhodný pro tepelná čerpadla a kotle na tuhá paliva. Objem 500 l	21 531
------------------	--	--------

7.5 Kotel na biomasu a solární kolektory (Z6)

Posledním šestým zdrojem tepla je kombinace kotle na biomasu a solárních kolektorů. Byl použit kotel na biomasu Logano S181 s výkonem 15 kW a stejné kolektory (Logasol SKN 4.0-s) jako v případě kombinace kolektorů s plynovým kondenzačním kotlem. Dále byl zvolen bivalentní zásobník na teplou vodu Logalux SM400 o objemu 380 l.

Tab. 24 Zvolený kotel na biomasu a bivalentní zásobník na teplou vodu

Typ kotle	Popis	Cena [Kč]
Logano S181 15 E	Paket Logano S181 E 15 kW + čtyřcestný ventil VRG 141RP 3/4“ včetně pohonu + oběhové čerpadlo BUE-Plus 25/1-4 + modul ST-431N	73 447
Logalux SM400/5 EW	Zásobník TV bivalentní ve stojatém válcovém provedení a přírubou pro el. patronu, energetická třída C, objem 380 l	39 930

8 Ekonomika provozu a pořizovací náklady

Jak už bylo zmíněno, celkem byly zkoumány 4 varianty modelové budovy. Varianty se liší v tepelně technických vlastnostech obálky budov a rozdílnou kvalitou oken a dveří. Varianta M0 dosahuje požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, M1 doporučených hodnot. M2 a M3 splňují doporučené hodnoty pro pasivní domy. M0 má nejhorší tepelně technické vlastnosti a díky tomu jsou nejvyšší náklady na pořízení a jako jediná nemá navrženou rekuperační jednotku.

Ekonomický výpočet je brán zjednodušeně s ohledem na fakt, že nebyla řešena otopná plocha ani regulace celého systému. Dále pak u tepelného čerpadla nebyl brán na zřetel bivalentní bod.

8.1 Pořizovací cena stavby

Základní cena objektu byla stanovena na 3 795 675 Kč zjednodušenou metodou dle obestavěného prostoru a dále pak byla konkrétně určena cena za tepelnou izolaci, okna a dveře, které se u každého modelu liší. Tepelná izolace byla vybrána u firmy DEK, okna a dveře u firmy VEKRA.

Tab. 25 Cena fasádní tepelné izolace

	Materiál	Cena za m² [Kč]	Celková cena [Kč]
Model 0	Fasádní polystyren EPS 70F 60 mm	103,09	19 548
Model 1	Fasádní polystyren EPS 70F 80 mm	111,72	21 184
Model 2	Fasádní polystyren EPS 70F 200 mm	276,04	52 343
Model 3	Fasádní polystyren EPS 70F 260 mm	363,1	68 851

Tab. 26 Cena střešní tepelné izolace

	Materiál	Cena za m² [Kč]	Celková cena [Kč]
Model 0	Polystyren EPS 100 50 mm	85,91	9 257
Model 1	Polystyren EPS 100 120 mm	206,2	22 218
Model 2	Polystyren EPS 100 160 mm	271,62	29 267
Model 3	Polystyren EPS 100 200 mm	343,66	37 029

Tab. 27 Cena podlahové izolace

	Materiál	Cena za m² [Kč]	Celková cena [Kč]
Model 0	Polystyren EPS 100 40 mm	68,73	7 406
Model 1	Polystyren EPS 100 80 mm	137,47	14 812
Model 2	Polystyren EPS 100 160 mm	271,62	29 267
Model 3	Polystyren EPS 100 200 mm	343,66	37 029

Tab. 28 Cena oken a dveří

	Celková cena [Kč]
Model 0	382 356
Model 1	382 356
Model 2	476 691
Model 3	516 060

Tab. 29 Celkové pořizovací náklady na stavbu a rekuperační jednotku

	Celková cena [Kč]
Model 0	4 214 241
Model 1	4 266 629
Model 2	4 413 626
Model 3	4 485 028

Jak vyplývá z tabulky 29, nejnižší pořizovací náklady má M0, naopak nejvyšší M3. Rozdíl pořizovacích nákladů u těchto dvou variant modelového objektu dosahuje částky 270 786 Kč včetně DPH.

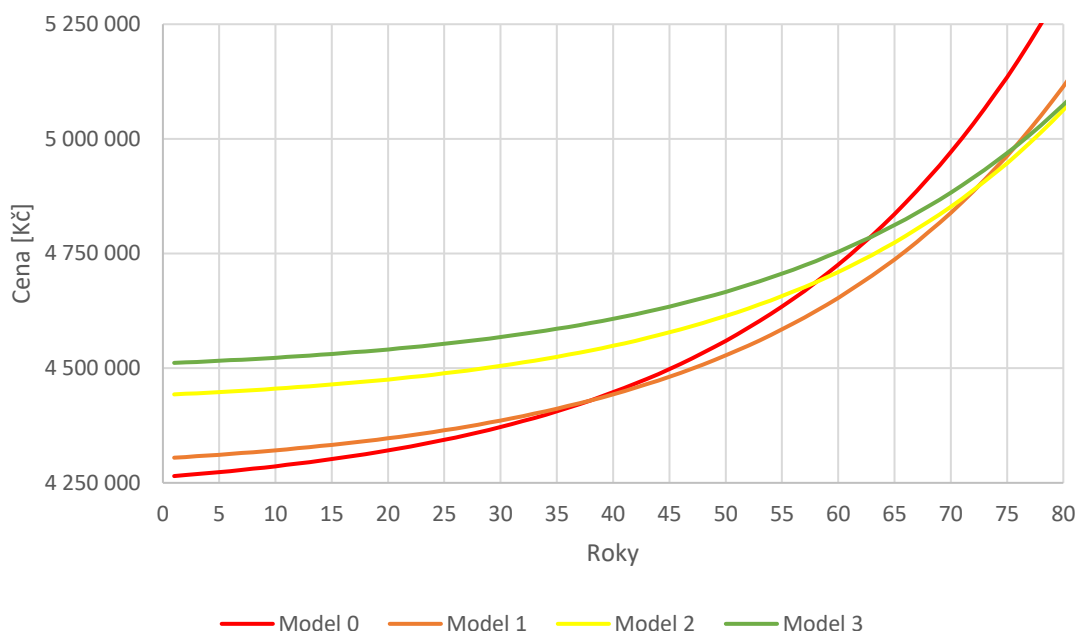
8.2 Provozní náklady stavby bez zdroje tepla

V průběhu životnosti stavby se zvyšují její nároky na potřebu energie. Je uvažováno, že roční nárůst potřeby energie na vytápění a přípravu teplé vody je o 4 %. Cena za potřebu tepla byla uvažována za 1kWh 2,2 Kč. Návratnost prvotní investice v porovnání Modelu 0 a 1 je v rámci 38 let, u Modelu 2 a 0 dochází k návratnosti za 58 let a u Modelu 3 je návratnost až za 63 let, jak můžeme vidět na obrázku 10. Je důležité brát v potaz, že tato data jsou pouze informativní a nezohledňují reálný provoz objektu. Ovšem kdybychom měli udělat závěr ze zjištěných dat, tak vidíme, že z ekonomického

hlediska se přílišné zateplení objektu nevyplatí, protože je zde velice dlouhá návratnost vstupní investice.

Tab. 30 Pořizovací a provozní náklady na stavbu s uvažovanou průměrnou cenou za energie 2,2 Kč/kWh

	Pořizovací a provozní náklady po [Kč]				
	„0“ letech	20 letech	40 letech	60 letech	80 letech
Model 0	4 214 241	4 320 727	4 447 565	4 725 483	5 334 434
Model 1	4 266 629	4 347 176	4 443 119	4 653 340	5 113 962
Model 2	4 413 626	4 475 334	4 548 835	4 709 886	5 062 770
Model 3	4 485 028	4 541 010	4 607 692	4 753 800	5 073 942



Obr. 10 Náklady na stavbu a provoz modelových variant budovy s uvažovanou průměrnou cenou za energie 2,2 Kč/kWh

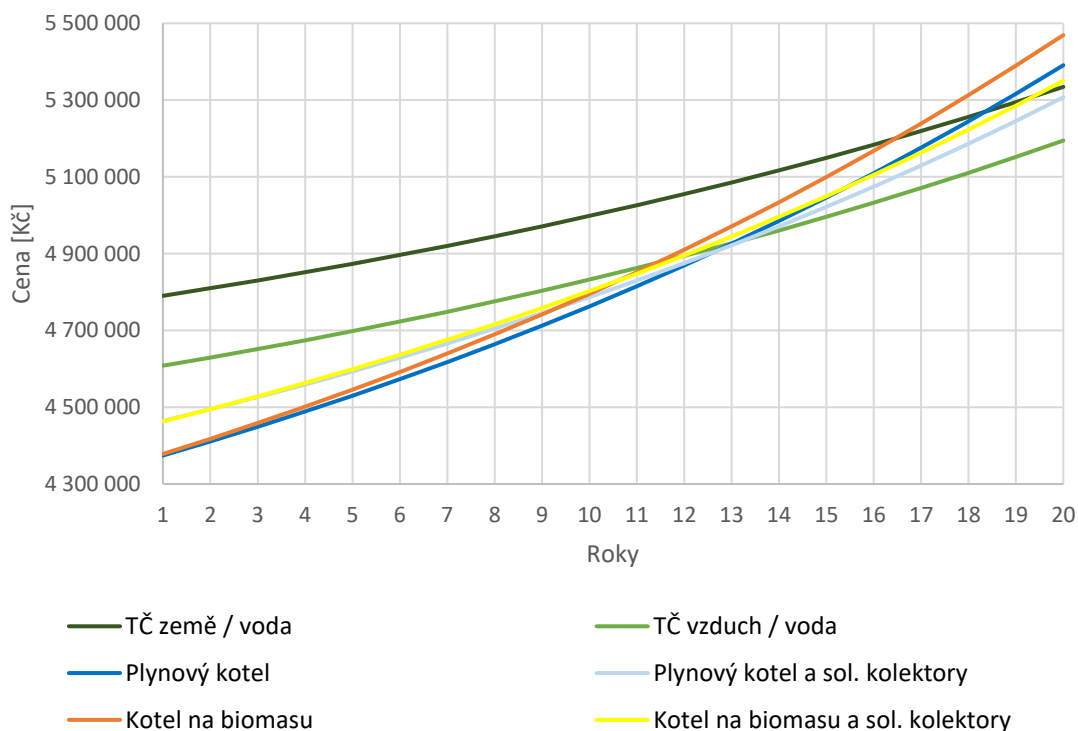
8.3 Provozní a pořizovací náklady na stavbu včetně zdroje tepla

U každého modelu bylo navrženo 6 typů zdrojů tepla na vytápění a přípravu teplé vody a následně bylo provedeno finanční srovnání u každé varianty v rámci 20 let. Cena elektrické energie byla stanovena při vytápění TČ na 2,37 Kč/kWh, plus navíc měsíční paušální poplatek ve výši 554 Kč. Cena odebíraného plynu je 1 266 Kč/MWh. Cena pelet

je 5 670 Kč za tunu včetně dopravy. U všech variant byly nejvyšší pořizovací náklady u tepelného čerpadla země / voda, naopak nejnižší pořizovací náklady byly u plynového kotle.

8.3.1 Model 0

U Modelu 0 dochází k výraznějšímu vyrovnání pořizovacích a provozních nákladů jednotlivých zdrojů energie po 12 letech provozu. Po 20 letech se jako nejméně ekonomický jeví kotel biomasu.



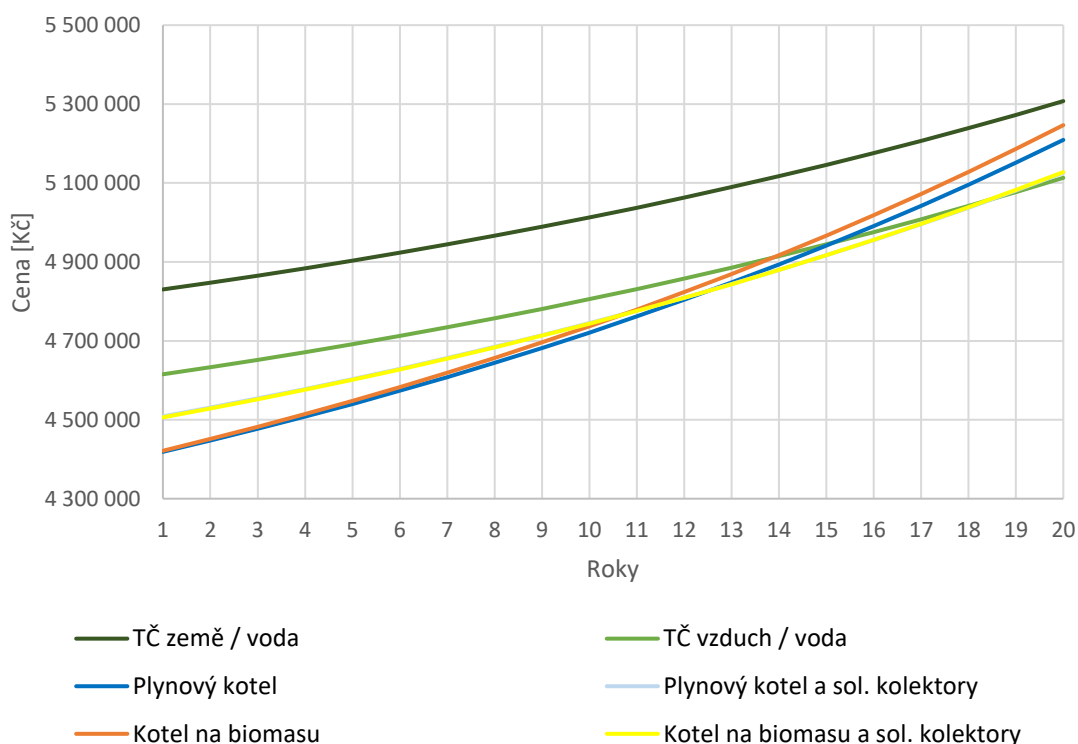
Obr. 11 Náklady na stavbu, zdroj energie a provoz Modelu 0

Tab. 31 Provozní a pořizovací náklady Modelu 0

	Pořizovací a provozní náklady po [Kč]		
	"0" letech	10 letech	20 letech
TČ země / voda	4 790 053	4 998 213	5 334 336
TČ vzduch / voda	4 608 244	4 832 475	5 194 550
Plynový kotel	4 374 194	4 762 956	5 390 705
Plynový kotel a sol. kolektory	4 464 057	4 744 700	5 307 419
Kotel na biomasu	4 378 226	4 795 464	5 469 195
Kotel na biomasu a sol. kolektory	4 462 876	4 802 250	5 350 248

8.3.2 Model 1

Se snižující se potřebou tepla na vytápění si můžeme všimnout, že nejméně ekonomické je tepelné čerpadlo země / voda kvůli vysokým pořizovacím nákladům. Lze tak říci, že v době uvažované živostnosti zdroje (tj. 20 let) nemá tato varianta reálnou dobu návratnosti ve srovnání s ostatními typy zdrojů tepla. Tak tomu bude i v dalších variantách Modelu 2 a Modelu 3. Po 20 letech se nejekonomičtěji projevuje tepelné čerpadlo vzduch / voda, které nabízí nejvyšší dosaženou finanční úsporu z obsažených variant.



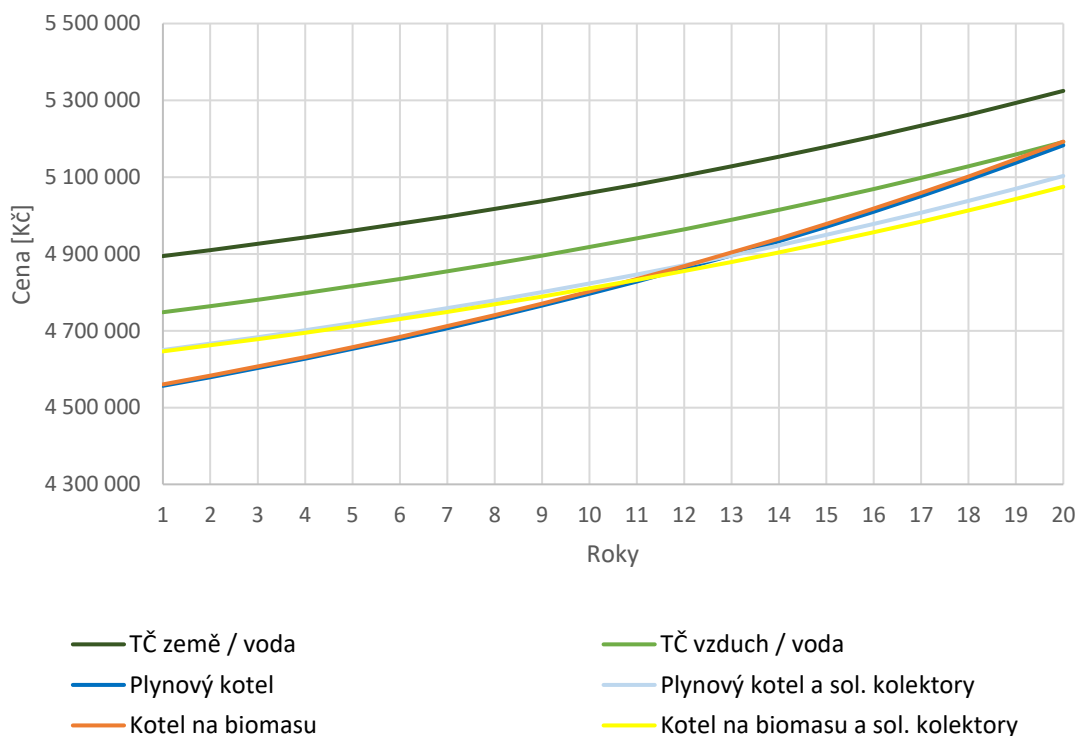
Obr. 12 Náklady na stavbu, zdroj energie a provoz Modelu 1

Tab. 32 Provozní a pořizovací náklady Modelu 1

	Pořizovací a provozní náklady po [Kč]		
	"0" letech	10 letech	20 letech
TČ země / voda	4 830 311	5 012 841	5 307 579
TČ vzduch / voda	4 615 211	4 805 658	5 113 179
Plynový kotel	4 418 728	4 721 057	5 209 239
Plynový kotel a sol. kolektory	4 508 592	4 744 700	5 125 953
Kotel na biomasu	4 421 379	4 736 985	5 246 607
Kotel na biomasu a sol. kolektory	4 506 030	4 743 771	5 127 660

8.3.3 Model 2

V tomto případě dochází stejně jako u Modelu 1, k nedosažení bodu reálné návratnosti nejen u TČ země / voda, ale také vzduch / voda. U ostatních variant je reálná doba návratnosti cca 11 let. Po 20 letech provozu má nejnižší náklady na pořízení a provoz kotel na biomasu společně se solárními kolektory.



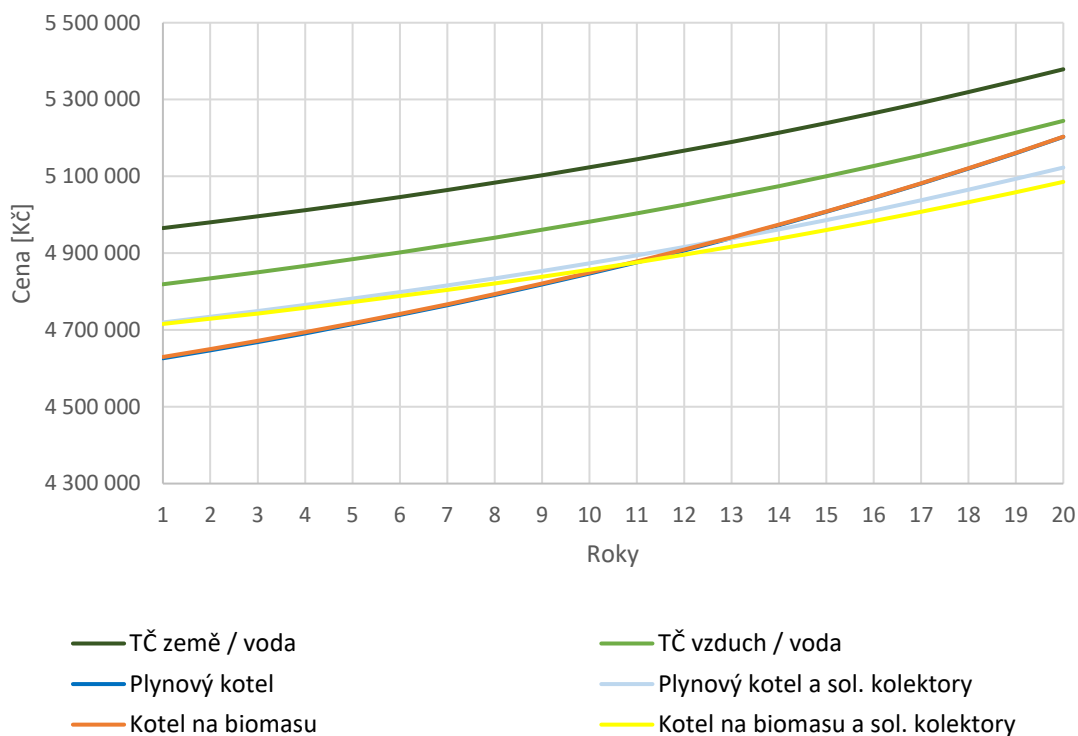
Obr. 13 Náklady na stavbu, zdroj energie a provoz Modelu 2

Tab. 33 Provozní a pořizovací náklady Modelu 2

	Pořizovací a provozní náklady po [Kč]		
	"0" letech	10 letech	20 letech
TČ země / voda	4 894 459	5 058 955	5 324 571
TČ vzduch / voda	4 748 208	4 917 738	5 191 484
Plynový kotel	4 556 633	4 796 182	5 182 990
Plynový kotel a sol. kolektory	4 649 884	4 823 213	5 103 092
Kotel na biomasu	4 560 338	4 802 125	5 192 547
Kotel na biomasu a sol. kolektory	4 646 319	4 810 241	5 074 931

8.3.4 Model 3

Podobně jako u Modelu 2 dochází k vyrovnání nákladů na provoz a pořízení stavby kolem 11. roku. U M 3 je nejvíce patrná ekonomická náročnost pořízení tepelných čerpadel, která nenabízí potenciálnímu investoru vhodnou dobu reálné návratnosti po dobu uvažované životnosti tj. 20 let. Po 20 letech se ekonomicky nejvýhodněji jeví kombinace kotle na biomasu a solárních kolektorů.



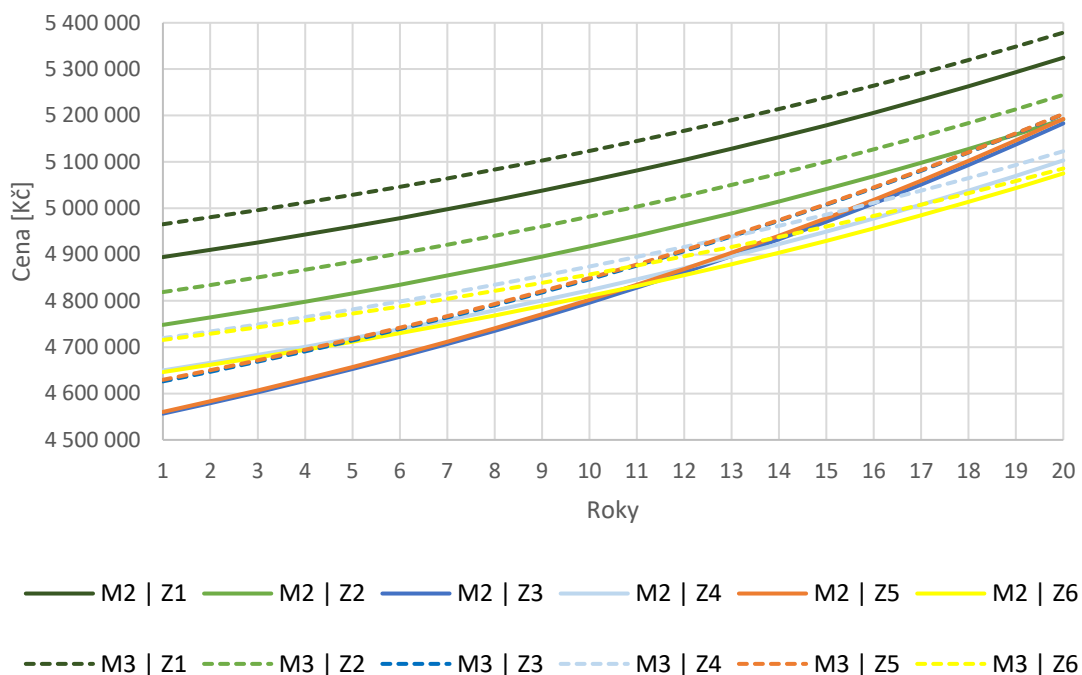
Obr. 14 Náklady na stavbu, zdroj energie a provoz Modelu 3

Tab. 34 Provozní a pořizovací náklady Modelu 3

	Pořizovací a provozní náklady po [Kč]		
	"0" letech	10 letech	20 letech
TČ země / voda	4 965 284	5 123 427	5 378 786
TČ vzduch / voda	4 818 991	4 981 707	5 244 450
Plynový kotel	4 626 301	4 846 771	5 202 772
Plynový kotel a sol. kolektory	4 719 553	4 873 802	5 122 874
Kotel na biomasu	4 629 702	4 849 055	5 203 252
Kotel na biomasu a sol. kolektory	4 715 683	4 857 171	5 085 637

8.4 Porovnání Modelů 2 a 3

Vzhledem k tomu, že předmětem této bakalářské práce je tzv. „nulová“ budova, vyloučím pro další porovnávání Model 0 a 1, které nesplňují potřebné tepelně technické parametry obálky budovy.



Obr. 15 Náklady na stavbu, zdroj energie a provoz Modelu 2 a 3

Na obrázku číslo 15 můžeme vidět ekonomické porovnání Modelu 2 a 3. Co se týče vstupních nákladů ekonomicky nejvýhodněji vychází Model 2 s plynovým kondenzačním kotlem. V rámci přibližně 11 let užívání stavby se neekonomičtěji jeví Model 2 s kotlem na biomasu.

9 Závěr

Celkem byly zkoumány čtyři modely budovy. Pasivním standardům dle vyhlášky 73/2013 sb., které by měla splňovat budova s téměř nulovou spotřebou energie, vyhovují pouze dva objekty, a to model 2 a 3. Ke každému modelu bylo navrženo 6 typů zdrojů energie. Ekonomické vyhodnocení je nutné uvažovat zjednodušeně, protože v rámci této práce nebyla řešena otopná plocha ani regulace celého systému. Dále pak nebyl určen bivalentní bud u tepelného čerpadla. Což by reálně mohlo zhoršit jeho dobu návratnosti o 1 až 1,5 roku.

Z hlediska vstupní investice vychází ekonomicky nejvýhodněji Model 0 s plynovým kondenzačním kotlem. Naopak nejméně výhodný je Model 3 s tepelným čerpadlem země / voda.

V první řadě byl brán v úvahu ekonomický aspekt pro porovnání modelů. Jako výhodná doba návratnosti vstupní investice vůči provozním nákladům bylo stanoveno 10 let. Po deseti letech užívání stavby je na tom nejlépe Model 2 s plynovým kondenzačním kotlem, těsně nad tím je opět M2 s kotlem na biomasu. Po 20 letech provozu má nejnižší náklady kotel na biomasu se solárními kolektory. Nejhorší na tom je M3 s tepelným čerpadlem země / voda.

V druhé řadě je zde ekologické hledisko. Nejmenší spotřebu energie má Model 3 s tepelným čerpadlem země / voda. Ovšem vždy by se měl uvažovat celý životní cyklus. Na zateplení Modelu 3 je použito nejvíce tepelné izolace, což má samozřejmě větší nároky na energii na její výrobu.

Z ekonomického hlediska je na tom tedy nejlépe M2 s plynovým kondenzačním kotlem. Vzhledem ale také i k ekologickým aspektům, je nejvhodnější budova v provedení Modelu 2 s tepelným čerpadlem vzduch / voda.

10 Literatura

- [1] ČSN 73 0540-2: *ZMĚNA Z1 Tepelná ochrana budov*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [2] ČSN EN ISO 6946. *Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda*. 1.vyd. Praha: ČNI, 2008
- [3] ČSN EN ISO 10077-1 (730567): *Tepelné chování oken, dveří a okenic – Výpočet součinitele prostupu tepla*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [4] ČSN EN ISO 10077-2 (730567): *A Tepelné chování oken, dveří a okenic – Výpočet součinitele prostupu tepla*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [5] ČSN EN ISO 13370: *Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody*, Praha, 2009.
- [6] ČSN EN 12831: *Výpočet tepelného výkonu*, Praha, 2005.
- [7] ČSN EN ISO 52016-1: *Energetická náročnost budov – Energie potřebná pro vytápění a chlazení vnitřních prostor a citelné a latentní tepelné zatížení – Část 1: Postupy výpočtu*, 2018.
- [8] ČSN EN ISO 14683 (730561): *Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Lineární činitel prostupu tepla – Zjednodušené metody a orientační hodnoty*, 2018.
- [9] TNI 73 0331: *Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet*, Praha: ÚNMZ, 2013.
- [10] *Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2018-06-10], Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla>.
- [11] *Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP* [online] [cit. 2018-06-10], Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivite-tepelnych-cerpadel-cop-a-scop>.
- [12] *Dřevěné pelety* [online] [cit. 2018-06-11], Dostupné z: <https://www.optimtop.cz/drevene-pelety-top-enplus-a1-s-825-kg/>.
- [13] *Ytong – příručka tepelné techniky* [online] [cit. 2018-04-03], Dostupné z: <https://www.ytong.cz/cs/docs/ytong-tepelna-technika-prirucka.pdf>.
- [14] *Produkty DEK* [online] [cit. 2018-04-02], Dostupné z: <https://www.dek.cz/produkty/>.
- [15] *Produkty Wienerberger* [online] [cit. 2018-04-03], Dostupné z: <https://wienerberger.cz/produkty/>.

- [16] *Produkty Vekra* [online] [cit. 2018-05-10], Dostupné z: <https://www.vekra.cz/produkt/eurookna-natura-94/>.
- [17] *Výpočet ceny stavby* [online] [cit. 2018-05-20], Dostupné z: <http://www.sci-data.cz/vypocet-ceny-stavby>.
- [18] *Rekuperační jednotky* [online] [cit. 2018-04-01], Dostupné z: <https://www.atreaeshop.cz/rekuperacni-jednotky-duplex-easy,200016/0/>
- [19] *Produkty Buderus* [online] [cit. 2018-05-02], Dostupné z: <https://www.buderus.com/cz/cs/>.
- [20] *Produkty Viadrus* [online] [cit. 2018-05-02], Dostupné z: <http://www.viadrus.cz/>.
- [21] *Přehled cen elektrické energie* [online] [cit. 2018-05-02], Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energi/14-prehled-cen-elektricke-energie>.
- [22] *Přehled cen plynu* [online] [cit. 2018-05-02], Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energi/13-prehled-cen-zemniho-plynu>.

11 Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma modelových budov	18
Obr. 2 Ztráty obvodovou konstrukcí a větráním.....	29
Obr. 3 Celkové tepelné zisky	34
Obr. 4 Celková potřeba tepla na vytápění.....	38
Obr. 5 Celková potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody	40
Obr. 6 Procentuální porovnání potřeby tepla na vytápění a na přípravu TV	40
Obr. 7 Topný faktor COP tepelného čerpadla WPS 10 K-1	42
Obr. 8 Měsíční bilance solární tepelné soustavy	45
Obr. 9 Kotel na biomasu Logano S181	46
Obr. 10 Náklady na stavbu a provoz modelových variant budovy s uvažovanou průměrnou cenou za energii 2,2 Kč/kWh	50
Obr. 11 Náklady na stavbu, zdroj energie a provoz Modelu 0	51
Obr. 12 Náklady na stavbu, zdroj energie a provoz Modelu 1	52
Obr. 13 Náklady na stavbu, zdroj energie a provoz Modelu 2	53
Obr. 14 Náklady na stavbu, zdroj energie a provoz Modelu 3	54
Obr. 15 Náklady na stavbu, zdroj energie a provoz Modelu 2 a 3	55

12 Seznam tabulek

Tab. 1 Požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou θ_{im} v intervalu 18°C až 22°C včetně [1]	13
Tab. 2 Základní vlastnosti pasivních budov [1].....	14
Tab. 3 Přehled energetických potřeb zahrnutých do hodnocení primární energie pasivních budov (hodnotí se položky označené X) [1].....	14
Tab. 4 Referenční hodnota faktoru energetické přeměny pro přepočet na hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů [1]	15
Tab. 5 Základní požadavky na energeticky nulové budovy [1].....	16
Tab. 6 Přehled energetických potřeb zahrnutých do hodnocení primární energie energeticky nulové budovy (hodnotí se položky označené X) [1]	16
Tab. 7 Popis objektu a lokality	18
Tab. 8 Skladba obvodové zdi (M2)	19

Tab. 9 Skladba konstrukce podlahy (M2).....	19
Tab. 10 Skladba konstrukce střechy (M2).....	20
Tab. 11 Tepelně technické vlastnosti oken a dveří (M2).....	20
Tab. 12 Součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí modelových objektů.....	23
Tab. 13 Ztráty obvodovou konstrukcí a větráním (M2)	28
Tab. 14 Průměrná energie slunečního záření za časový krok výpočtu.....	31
Tab. 15 Celková propustnost zasklení $g_{gl,n}$	32
Tab. 16 Vnitřní a vnější teplené zisky (Model 2)	33
Tab. 17 Vnitřní tepelná kapacita budovy.....	36
Tab. 18 SPF určené z topného faktoru COP (Obr. 7) u TČ WPS 10 K-1	42
Tab. 19 Zvolená tepelná čerpadla země / voda.....	43
Tab. 20 Zvolená tepelná čerpadla vzduch / voda.....	43
Tab. 21 Zvolené plynové kondenzační kotle a zásobníky na TV.....	44
Tab. 22 Zvolený plynový kondenzační kotel a bivalentní zásobní na TV	45
Tab. 23 Zvolené kotle na biomasu, zásobník na TV a akumulční zásobník.....	46
Tab. 24 Zvolený kotel na biomasu a bivalentní zásobník na teplou vodu.....	47
Tab. 25 Cena fasádní tepelné izolace.....	48
Tab. 26 Cena střešní tepelné izolace.....	48
Tab. 27 Cena podlahové izolace	49
Tab. 28 Cena oken a dveří	49
Tab. 29 Celkové pořizovací náklady na stavbu a rekuperační jednotku	49
Tab. 30 Pořizovací a provozní náklady na stavbu s uvažovanou průměrnou cenou za energii 2,2 Kč/kWh.....	50
Tab. 31 Provozní a pořizovací náklady Modelu 0	51
Tab. 32 Provozní a pořizovací náklady Modelu 1	52
Tab. 33 Provozní a pořizovací náklady Modelu 2	53
Tab. 34 Provozní a pořizovací náklady Modelu 3	54

13 Přílohy

Přílohy v elektronické podobě

E0_Bakalarska_prace

E1_Model 0

E2_Model 1

E3_Model 2

E4_Model 3

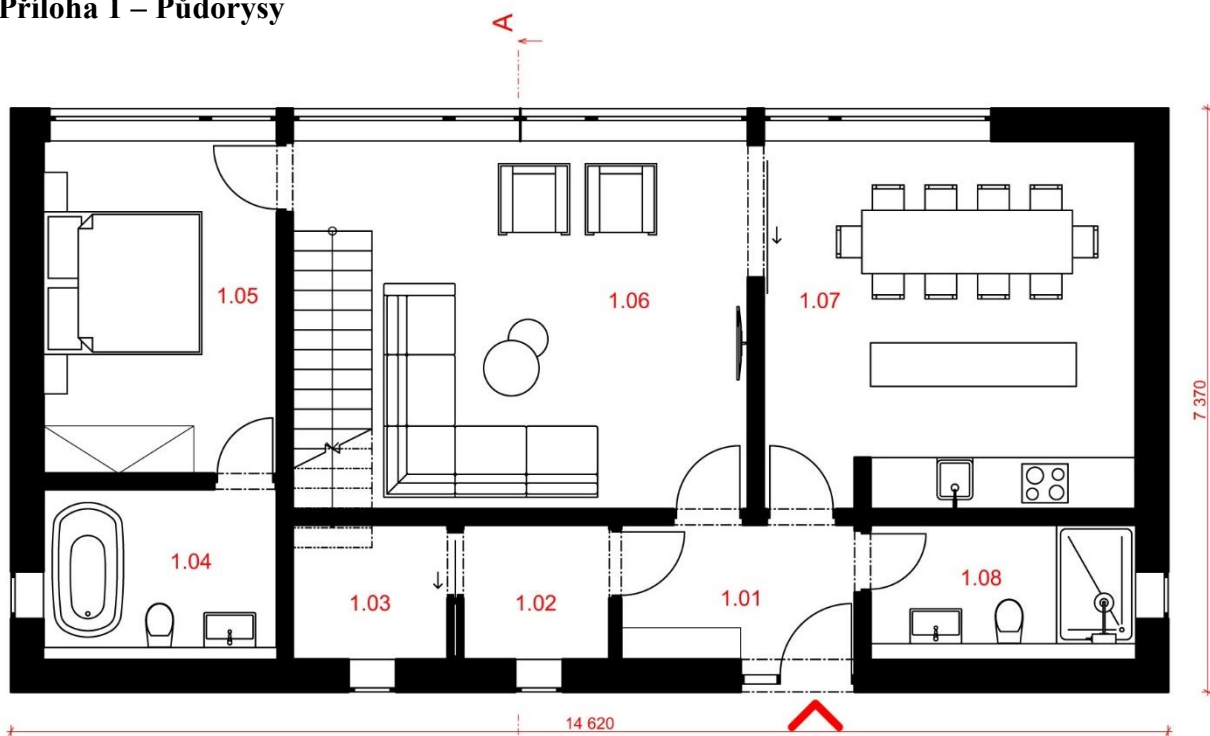
E5_Finance a zdroje energie

E6_Solarni kolektory SKN

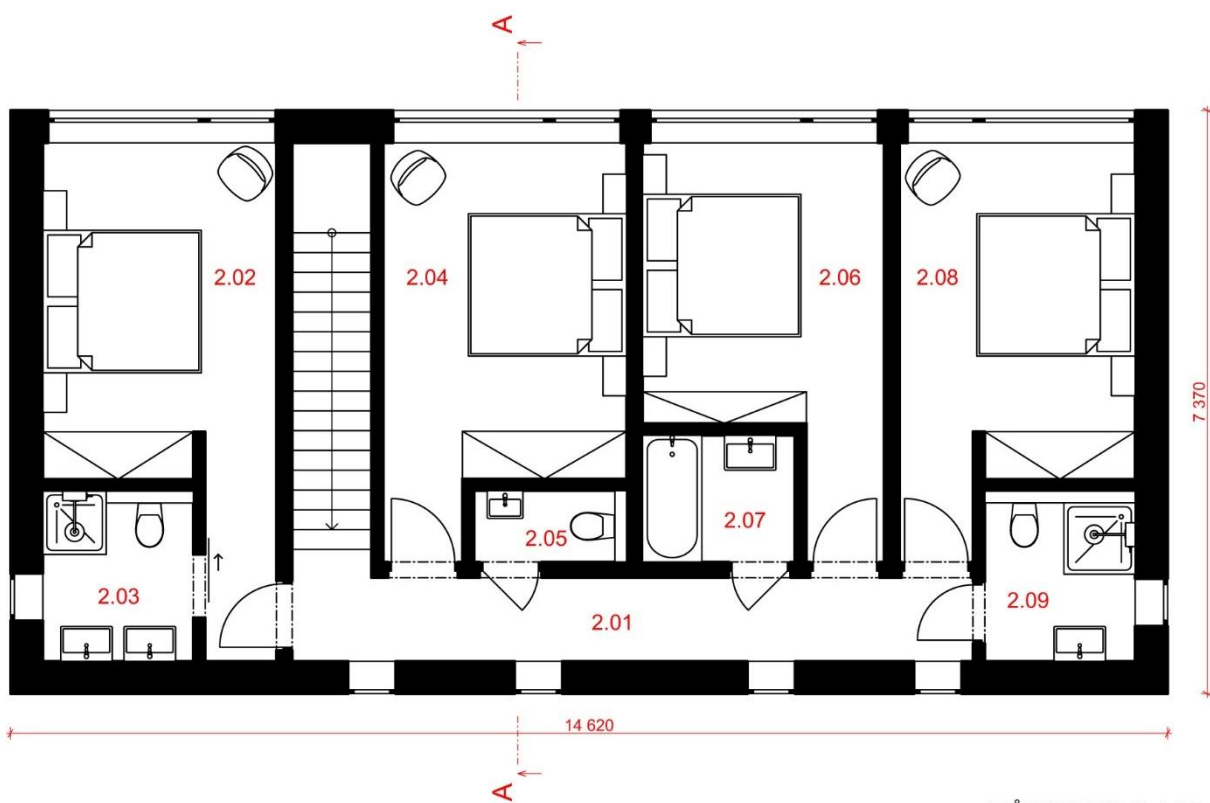
E7_Solarni kolektory CKN

E8_Solarni kolektory SKR


Příloha 1 – Půdorysy



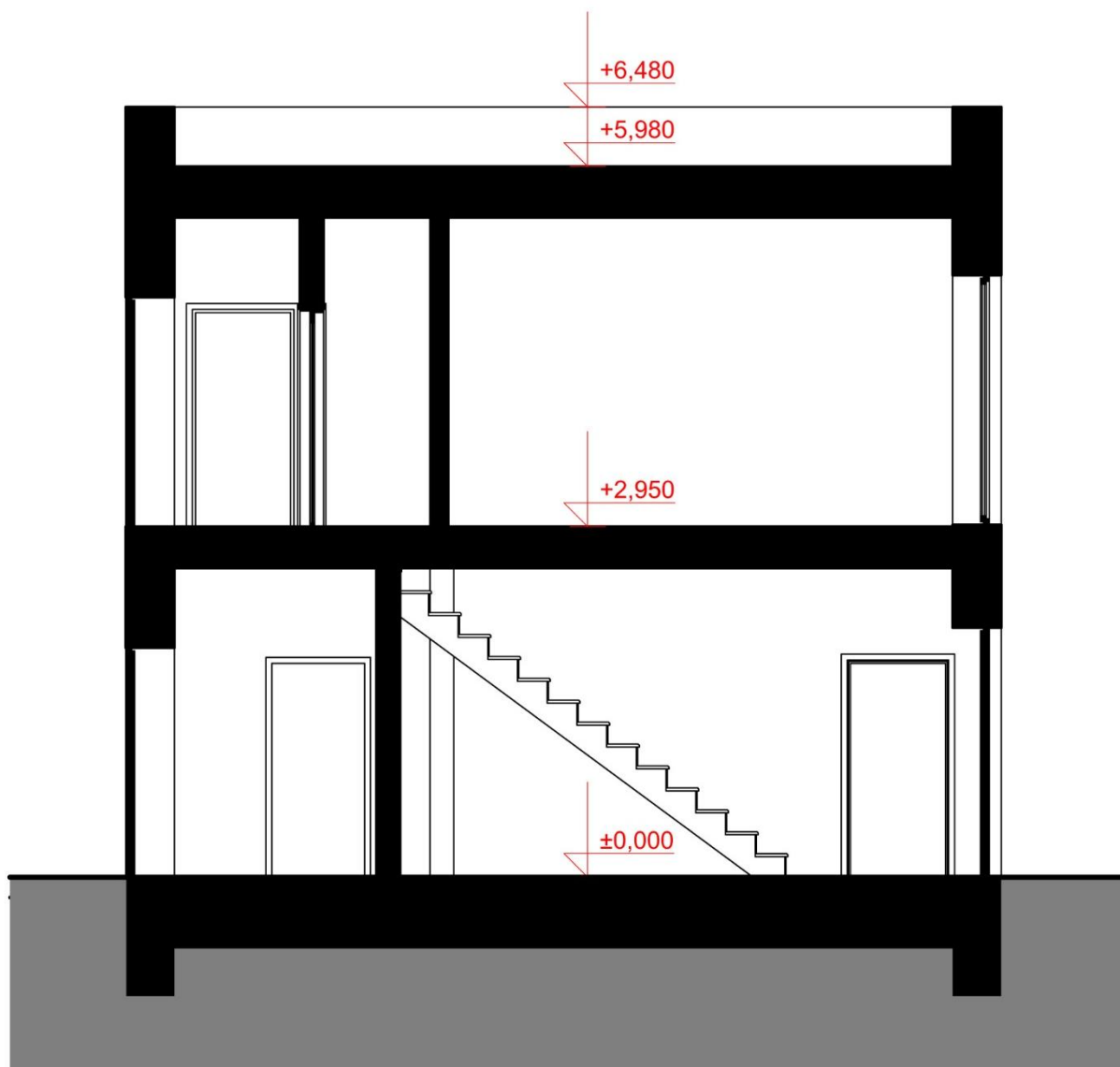
PŮDORYS 1. NP



PŮDORYS 2. NP

M 1:100 

Příloha 2 – Řez



ŘEZ A-A

0  1 m