

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

---

**PŘEMĚNA RODINNÉHO DOMU NA ENERGETICKY  
TĚMĚŘ NULOVÝ DŮM**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

## **Souhrn**

V této diplomové práci je zhodnocen rodinný dům z hlediska energetických potřeb a následně je navržena jeho transformace na téměř nulový dům. Je zpracováno několik variantních řešení. V jednotlivých variantách jsou navrženy opatření jako dodatečné zateplení obvodových konstrukcí, změna zdroje tepla na tepelné čerpadlo a využití obnovitelných zdrojů energie, konkrétně instalace fotovoltaických panelů.

## **Summary**

In this diploma thesis the family house is appraised from the point of energy requirements and subsequently its transformation is proposed into nearly zero energy house. Several variable solutions are elaborated. The measures such as additional insulation of buildings, the change of the source of heat to the heat pump and the use of renewable energy sources, specifically the installation of photovoltaic panels are suggested in individual options.

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Přeměna rodinného domu na energeticky téměř nulový dům“ vypracovala samostatně pod vedením doc. Ing. Tomáše Matušky, Ph.D, s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 19. 6. 2015

Veronika Šobáňová

## **Poděkování**

Zde bych ráda poděkovala svému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Tomášovi Matuškoví, Ph.D, za jeho cenné rady, připomínky a vedení v průběhu vytváření diplomové práce.

# Obsah

Obsah .....	1
Soupis značení .....	3
1. Úvod .....	6
2. Dům blízký nulovému .....	7
2.1. Vývoj směrem k domu blízkému nulovému a nulovému domu .....	7
2.2. Legislativa .....	7
2.3. Kategorie domů .....	8
2.4. Certifikace budov .....	10
2.5. Opatření pro dosažení kritérií domu blízkého nulovému a nulového domu .....	10
2.5.1. Architektonický návrh .....	11
2.5.2. Okna .....	11
2.5.3. Neprůsvitné konstrukce .....	12
2.5.4. Větrání a těsnost domu .....	13
2.5.5. Potřeba energie .....	13
2.5.6. Použití obnovitelných zdrojů energie .....	15
3. Hodnocení rodinný dům .....	21
3.1. Popis domu .....	21
3.2. Stavební řešení .....	22
3.2.1. Součinitel prostupu tepla .....	23
3.3. Tepelné ztráty .....	24
3.3.1. Prostup tepla konstrukcemi .....	25
3.3.2. Větrání .....	26
3.4. Vytápění .....	27
3.5. Potřeba tepla .....	28
3.5.1. Ztráta tepla .....	28
3.5.2. Tepelné zisky .....	28
3.5.3. Potřeba tepla na vytápění .....	29
3.5.4. Potřeba tepla na přípravu teplé vody .....	31
4. Analýza a zhodnocení .....	37
4.1. Varianty .....	37
4.2. Bilance neobnovitelné primární energie .....	37

4.3. Metoda bilance tepelného čerpadla .....	38
4.4. Metoda bilance fotovoltaiky .....	46
4.5. Výsledky výpočtu .....	51
4.5.1. Varianta 1 - bez zateplení, plynový kondenzační kotel .....	51
4.5.2. Varianta 2 - bez zateplení, tepelné čerpadlo .....	53
4.5.3. Varianta 3 - se zateplením tepelné čerpadlo .....	56
4.5.4. Varianta 4 - bez zateplení, tepelné čerpadlo, fotovoltaika .....	60
4.5.5. Varianta 5- se zateplením, tepelné čerpadlo, fotovoltaika.....	64
5. Závěr .....	68
6. Použitá literatura .....	72
7. Seznam tabulek, obrázků, grafů, příloh .....	74

## Soupis označení

Značka	Veličina	Jednotka
$A$	plocha	$[m^2]$
$A_f$	vnitřní podlahová plocha	$[m^2]$
$COP$	topný faktor tepelného čerpadla	$[-]$
$E_A$	měrná potřeba tepla na vytápění	$[kWh/m^2.rok]$
$E$	elektrická energie	$[kWh]$
$E_{dum}$	elektrická energie potřebná k pokrytí uživatelské energie, na pokrytí provozu tepelného čerpadla, doplňkové energie	$[kWh]$
$E_{FV}$	elektrické energie produkovaná fotovoltaickými panely	$[kWh]$
$G$	sluneční ozáření na danou plochu	$[W/m^2]$
$H$	měrná tepelná ztráta budovy	$[W/K]$
$I$	úhrn slunečního záření na jednotku plochy o orientaci $j$	$[kWh/m^2]$
$L^{n,24}$	hodinový krok	$[-]$
$P_{EA}$	měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů	$[kWh/m^2.rok]$
$P_{pk}$	špičkový výkon instalovaných fotovoltaických panelů	$[W]$
$Q$	potřeba tepla	$[kWh]$
$Q_G$	celkové tepelné zisky	$[kWh]$
$Q_i$	vnitřní tepelné zisky	$[kWh]$
$Q_k$	dostupné teplo z tepelného čerpadla	$[kWh]$
$Q_L$	ztráta tepla	$[kWh]$
$Q_s$	solární zisky	$[kWh]$
$Q_{TC}$	teplo dodané tepelným čerpadlem	$[kWh]$
$R$	tepelný odpor konstrukce	$[m^2.K/W]$
$SPF$	sezónní topný faktor soustavy s tepelným čerpadlem	$[-]$
$U$	součinitel prostupu tepla	$[W/m^2.K]$
$U'$	součinitel prostupu tepla zvýšený o korekci tepelných mostů	$[W/m^2.K]$
$V_i$	množství přiváděného vzduchu do místnosti	$[m^3/h]$
$V_m$	objem vytápěného prostoru počítaný z vnitřních rozměrů	$[m^3]$
$a$	numerický parametr	$[-]$
$c$	měrná tepelná kapacita	$[J/kg.K]$

$f$	pokrytí celkové potřeby tepla na přípravu teplé vody a vytápění teplem dodaným z tepelného čerpadla	[-]
$k$	počet osob	[-]
$l$	součinitel fotovoltaického panelu	[-]
$m$	teplotní exponent otopných ploch	[-]
$n_m$	počet dní v daném měsíci	[-]
$n_{min}$	minimální intenzita větrání	[1/h]
$n_{50}$	intenzita větrání při tlakovém rozdílu 50 Pa	[1/h]
$p$	srážka vlivem elektrických ztrát	[%]
$t$	teplota	[°C]
$z$	koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody	[-]
$\Delta\eta_G$	relativní snížení účinnosti fotovoltaického panelu vlivem poklesu záření	[%]
$\Delta t$	teplotní rozdíl	[K]
$\Delta U$	zvýšení součinitele prostupu tepla	[W/m <sup>2</sup> K]
$\Delta\tau$	doba trvání výpočtového teplotního intervalu, časový úsek	[h]
$\Phi$	výkon	[W]
$\Phi_{Ti}$	tepelná ztráta prostupem tepla	[W]
$\Phi_{V,i}$	tepelná ztráta přirozeným větráním	[W]
$\beta$	teplotní součinitel výkonu pro daný fotovoltaický panel	[%/K]
$\gamma$	poměr tepelných zisků a ztrát tepla	[-]
$\eta$	účinnost	[%]
$\lambda$	tepelná vodivost materiálu	[W/m.K]
$\rho$	hustota	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\varphi$	koeficient pro výpočet potřeby teplé vody	[-]



**Indexy**

<i>FV</i>	fotovoltaický panel (článek)
<i>N</i>	návrh
<i>TC</i>	tepelné čerpadlo
<i>TV</i>	teplá voda
<i>V</i>	větrání
<i>VYT</i>	vytápění
<i>aux</i>	pomocná
<i>d</i>	doplňkový
<i>den</i>	denní
<i>dod</i>	dodaná
<i>e</i>	vnější, venkovní
<i>exp</i>	exportovaná
<i>h</i>	hodinový
<i>i</i>	vnitřní
<i>j</i>	interval, vrstva
<i>měs</i>	měsíční
<i>k</i>	kondenzátor
<i>ref</i>	referenční
<i>sys</i>	system, soustava
<i>p</i>	potřeba
<i>u</i>	uživatelská
<i>v</i>	výparník
<i>w</i>	voda
<i>0</i>	nulová
<i>1</i>	studená voda, vstup
<i>2</i>	teplá voda, výstup

# 1. Úvod

Diplomová práce analyzuje a zhodnocuje možnosti, jak docílit úpravami běžného rodinného domu, dům blízký nulovému. Výchozí dům, na který se navrhuje úpravy, je novostavba rodinného domu, na který nejsou kladeny zvláštní požadavky, co se týče zateplení, ani není využíváno žádného systému s obnovitelnými zdroji energie. Cílem je najít kombinaci zateplení a zdroje tepla současně s využitím obnovitelných zdrojů energie k dosažení domu blízkého nulovému. Je navrženo několik variant, které jsou podrobně analyzovány. Je vyhodnocen vliv na tepelnou ztrátu domu, potřebu tepla na vytápění, potřebu tepla na přípravu teplé vody. V případě návrhu fotovoltaických panelů je vypočtena produkce elektrické energie, množství dodané a exportované elektrické energie do sítě. Definice domu blízkého nulovému a nulového domu je uvedena v ČSN 73 0540-2 - Tepelná ochrana budov. Pro označení domu za dům blízký nulovému a nulový dům, je rozhodující především vyčíslení měrné roční bilance neobnovitelné primární energie na základě dodaných a vydaných energonositelů v ročním provozu domu. Pro okrajové podmínky výpočtu je použita TNI 73 0329 - Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Rodinné domy. Tepelné čerpadlo je zbilancováno v hodinovém kroku podle TNI 73 0351 - Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly. Bilance fotovoltaických panelů je provedena v hodinovém kroku podle zjednodušené bilanční metody.

V první kapitole je popsán vývoj k domu blízkému nulovému a nulovému domu, dále jsou popsány jejich parametry a požadavky na ně. Další kapitoly jsou věnovány popisu výchozího domu, výpočtovému postupu, popisu variant.

Na závěr jsou vyhodnoceny jednotlivé varianty a je zvolena nejlepší z nich pro dosažení domu blízkého nulovému, kde je kladen důraz především na kritérium měrné roční bilance neobnovitelné primární energie. Jelikož je hodnocen již postavený dům, který nebyl ve fázi přípravy navrhován jako nulový, není možné dodržet některé parametry pro nulové domy, především hodnotu průměrného součinitele prostupu tepla a měrnou potřebu tepla na vytápění.

## 2. Dům blízký nulovému

### 2.1 Vývoj směrem k domu blízkému nulovému a nulovému domu

První snahy o vytvoření nízkoenergetických domů jsou známy ze 70. let v USA. U těchto domů první generace byl kladen důraz především na pasivní solární zisky, což mnohdy vedlo k přehřívání prostorů. Tyto domy však nebyly těsné a ani se příliš neřešily tepelné ztráty, proto jsou označovány jako solární domy první generace. Stavbou tohoto typu je lyžařská chata s pohyblivými kolektory ve Windhamu v USA, kde je obytná plocha vytápěna pomocí 40 m<sup>2</sup> kolektorů a oken. Vylepšení koncepce přichází v nízkoenergetických domech druhé generace - Dům Phillips z roku 1974. Tento dům měl tepelné čerpadlo na zajištění potřeby tepla na vytápění. Zároveň byla tato potřeba a také teplo na přípravu teplé vody kryty z 20 m<sup>2</sup> solárních kolektorů umístěných na střeše. Při stavbě toho domu byl kladen důraz na tepelné izolace, vzduchotěsnost, bylo navrženo mechanické větrání, využívání odpadního tepla.

V průběhu osmdesátých let, se začíná objevovat nová myšlenka, a to princip pasivního domu. V té době byla tato koncepce chápána pouze jako teoretický cíl, kdy by na vytápění domu spolu s pasivními solárními zisky okny stačilo jen takové množství vzduchu, které je nutné přivádět z hygienického hlediska. První stavbou vytvořenou podle standardu pasivního domu byl bytový dům postavený v Darmstadtu v roce 1996. Ve stejném roce byl založen Passivhaus Institut, který vyvinul soubor požadavků PHPP jak plánovat a realizovat pasivní domy.

Po roce 2000 dochází k většímu rozmachu výstavby pasivních domů, tento trend je patrný především v německy mluvících zemích.

Dalším vývojovým stupněm je dům s téměř nulovou spotřebou a dům s nulovou energetickou spotřebou, jejich definice není zatím zcela ucelená [1, 2].

### 2.2 Legislativa

V rámci členských zemí Evropské Unie platí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov (přepřelování). Toto nařízení navazuje na směrnici z roku 2002, která obsahuje povinné zpracování průkazu energetické náročnosti a žádá, aby všechny nové budovy postavené po roce 2011 byly postaveny jako pasivní.

Tato teze nebyla úplně naplněna, jelikož další směrnice z roku 2010 obsahuje požadavek, aby všechny budovy byly nejpozději od počátku roku 2021 stavěny jako

energeticky téměř nulové. Je na členských zemích jak si stanoví metody hodnocení a cílové hodnoty energetické náročnosti.

V České Republice byla do zákona začleněna evropská směrnice prostřednictvím zákona 318/2012 Sb., který je novelou zákona o hospodaření s energií 406/2000 Sb., dále prostřednictvím vyhlášky č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov, jako novely vyhlášky 148/2007 Sb.

Vyhláška obsahuje novou metodiku hodnocení energetické náročnosti budov pro vystavení průkazu energetické náročnosti budovy (ENB). V případě, že je objekt hodnocen podle vyhlášky, tak se podle daného postupu provede výpočet celkové dodané energie do budovy a dalších ukazatelů, které se porovnají s referenční budovou. Referenční budova je budova stejné velikosti, tvaru, užívání, má stejný způsob vytápění jako budova hodnocená, ale má definované vlastnosti - úroveň tepelné izolace konstrukcí, vlastnosti oken, účinnosti zdrojů energie. Budova je podle poměru ukazatelů ENB zařazena do kategorie, A - mimořádně úsporná budova až G - mimořádně nevhodná budova. Při následném porovnání musí být nová budova alespoň tak energeticky úsporná jako budova referenční nebo úspornější. Tato vyhláška je závazná, informace kdy je povinností průkaz ENB vypracovat nebo doložit jsou uvedeny v zákoně 318/2012 Sb.

Dále je v České Republice platná norma ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov, platí od 1. 11. 2011, která v informativní příloze, ještě před vydáním vyhlášky 78/2013 Sb. popsala kategorie jednotlivých budov od nízkoenergetických po nulové, jako vizi v souladu s evropskými trendy.

Technická normalizační informace TNI 73 0329 pojednává o zjednodušeném hodnocení a klasifikaci budov s velmi nízkou spotřebou tepla na vytápění a týká se rodinných domů, zatímco TNI 73 0330 se zabývá bytovými domy. Jedná se o doporučení, která nejsou závazná. [3].

## 2.3 Kategorie domů

Domy označované jako nízkoenergetické jsou charakterizovány nízkou potřebou tepla na vytápění, dosahují toho především dobře zateplenou obálkou budovy. Obvyklá hodnota pro měrnou potřebu tepla na vytápění je  $50 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ , občas je možné ve starší německé literatuře nalézt hodnotu  $70 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ . V budoucnu se jako nízkoenergetické budou pravděpodobně označovat domy, které se budou stavět podle standardu pasivního domu, ale nebude u nich dosaženo všech parametrů, aby mohly být jako pasivní dům označeny.

Pasivní domy mají ještě nižší spotřebu tepla na vytápění než výše zmíněné nízkoenergetické domy. Mají pevně stanovené podmínky a požadavky pro jejich stavbu. V České Republice se jedná o hodnocení podle TNI 73 0329 a TNI 73 0330. Zjednodušeně lze říci, že je třeba zajistit dostatečnou stavebně energetickou kvalitu, větrání s rekuperací tepla a využití obnovitelných zdrojů energie. Průměrný součinitel prostupu tepla, je požadován  $0,25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , doporučená hodnota je  $0,20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . Hodnota měrné potřeby tepla na vytápění je nejvýše  $15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ , pro rodinné domy se připouští  $20 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ . Celkový požadavek na pasivní domy je vyjádřen v hodnotách měrné potřeby primární energie, kdy je požadována hodnota  $60 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ , z elektrické energie se započítá pouze energie pomocná, nezapočítává se elektrická energie na umělé osvětlení a elektrické spotřebiče [4].

Tab. 2-1 Základní vlastnosti pasivního domu podle ČSN 73 0540 - 2

	Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em}$ [ $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ]	Měrná potřeba tepla na vytápění $E_A$ [ $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ ]	Měrná potřeba primární energie $PE_A$ [ $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ ]
Obytné budovy Rodinný dům	$\leq 0,25$ požadováno $\leq 0,20$ doporučeno	$\leq 20$ požadováno $\leq 15$ doporučeno	$\leq 60$

Nulové domy a domy blízké nulovému jsou charakterizovány velmi nízkou měrnou potřebou tepla na vytápění. Vycházejí z požadavků na pasivní domy, dále se navrhují obnovitelné zdroje energie, které pokrývají nejvyšší možnou míru energetické potřeby [4].

Průměrný součinitel prostupu tepla, je požadován  $0,25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . Hodnota měrné potřeby tepla na vytápění pro rodinné domy je  $20 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ . Hodnota měrné roční bilance

potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů  $PE_A$  je popsána v kapitole 2.5.5 potřeba energie.

Tab. 2-2 Základní požadavky na energeticky nulové domy a domy blízké nulovému

		Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em}$ [W/m <sup>2</sup> .K]	Měrná potřeba tepla na vytápění $E_A$ [kWh/m <sup>2</sup> .rok]	Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů $PE_A$ [kWh/m <sup>2</sup> .rok]	
				Úroveň A	Úroveň B
Obytné budovy, rodinné domy	Nulový	≤ 0,25	≤ 20	0	0
	Blízký nulovému			80	30

## 2.4 Certifikace budov

Ke konci devadesátých let dvacátého století se v České Republice objevuje pojem udržitelná výstavba, která je součástí trvale udržitelného rozvoje společnosti. V oblasti stavebnictví se jedná o budovy, které splňují environmentální, sociální a ekonomické aspekty při výstavbě a provozu budov.

Certifikací budov se rozumí zhodnocení budov v různých fázích jejich životního cyklu. Certifikace fungují jako transparentní důkaz kvality budov, dalšími důvody pro provedení certifikace jsou, ověření vlastností návrhu, přidaná hodnota, lepší prodejnost, firemní prestiž, marketing, možná podmínka získání dotace, legislativní povinnost.

Systémy certifikace se liší v jednotlivých státech, BREEAM ve Velké Británii, DGNB v Německu, LEED v USA nebo CASBEE v Japonsku. V rámci Evropské unie platí certifikace Green Building, pro Českou Republiku byl vyvinut systém SBToolCZ, který vyvíjí na fakultě stavební ČVUT v Praze. [5].

## 2.5 Opatření pro dosažení kritérií domu blízkého nulovému a nulového domu

Dům blízký nulovému a nulový dům vychází ze standardu pasivního domu, kde je kladen důraz na využívání energie z obnovitelných zdrojů energie v co největší možné míře.

### 2.5.1 Architektonický návrh

Při návrhu domu blízkého nulovému a nulového domu je třeba dbát na určité zásady již ve fázi architektonického návrhu. Pokud nejsou dodrženy, je možné že nedojde ke splnění všech požadavků na tyto domy.

Pro návrhu těchto domů je třeba zohledňovat, proslunění pozemku, orientace stavby a její umístění na pozemku, velikost a orientace oken, umístění obnovitelných zdrojů energie (solární kolektory, fotovoltaika).

Dále je vhodné volit kompaktní tvar, největší plochy oken orientovat na jižní stranu, nejmenší na severní. Z této orientace vyplívá také dispoziční uspořádání, kdy obytné místnosti jsou orientovány jižně, chodby, garáž, WC a koupelna jsou orientovány severně. Solární kolektory nebo fotovoltaické panely umísťovat na jižně orientovanou střechu případně fasádu [2].

### 2.5.2 Okna

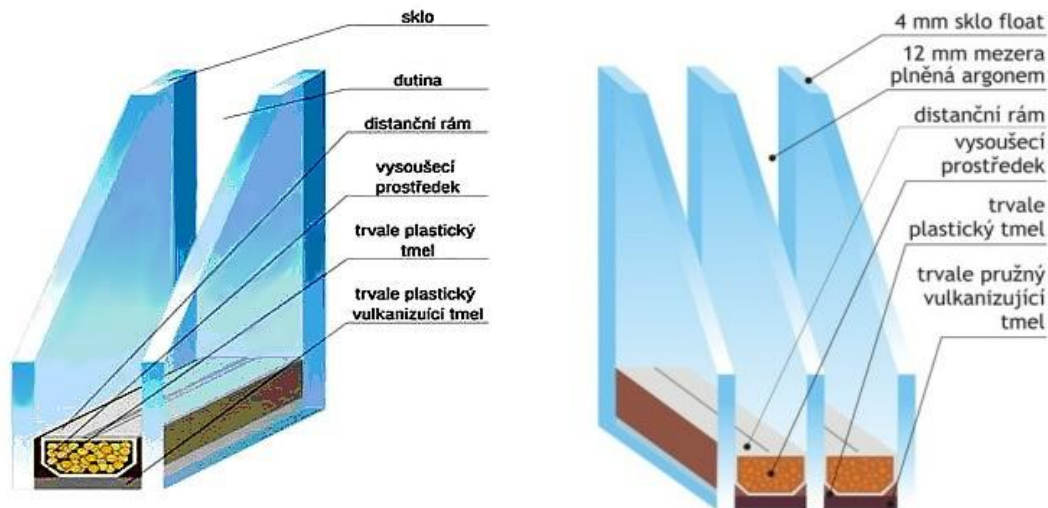
Okna mají významnou roli, co se týče tepelných ztrát i možných tepelných zisků. Při snaze docílit domu blízkého nulovému jsou okna jedním z důležitých parametrů při navrhování a je třeba také zmínit, že se jedná o významnou položku z hlediska nákladů při stavbě objektu.

Prostup tepla okny ovlivňují nejen vlastnosti zasklení, ale také vlastnosti rámu, poměr plochy zasklení a celého okna, vazba mezi oknem a celou obvodovou stěnou, vlastnosti dilatačního rámečku na okraji zasklívací jednotky a také konečným provedením [2].

Tab. 2-3 Součinitel prostupu tepla  $U$ - okna podle ČSN 73 0540 - 2

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla $U$ [ $W/m^2.K$ ]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní domy $U_{pas,20}$
okno - výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,5	1,2	0,8 - 0,6

Hodnota součinitele prostupu tepla  $U$  se při návrhu transformace z výchozího referenčního domu na dům blízký nulovému, uvažuje v souladu podle TNI 73 0329, která požaduje splnění požadavku na doporučené hodnoty z ČSN 73 0540-2. Při návrhu domu blízkého nulovému se vychází z doporučených hodnot pro pasivní domy.



Obr. 2-1 Izolační dvojsklo, izolační trojsklo [22]

### 2.5.3 Neprůsvitné konstrukce

Z neprůsvitných konstrukcí je kladen důraz na tepelně izolační obálku budovy ve snaze minimalizovat tepelné ztráty prostupem. Jedná se o obvodové konstrukce, konstrukce podlah a konstrukci střechy. Ke snižování prostupu tepla danou konstrukcí dochází buď dodatečným zateplením, nebo inovovanými stavebními prvky, které výrobci vyvíjejí.



Obr. 2-2 Tvarovka Porotherm 425 T Profi [23] Obr. 2-3 Tvarovka Unipor Coriso [24]

Mezi další prvky kromě tvarovek na obrázcích 2-2 a 2-3, patří inovované kotevní prvky, které je potřeba v místech lokálního tepelného mostu, pro jeho minimalizaci, dále různé osazovací prvky pro elektrické instalace, nebo také výlisky pro tvarování ostění [3].



Tab. 2-4 Součinitel prostupu tepla  $U$ - konstrukce podle ČSN 730540-2

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla $U$ [ $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní domy $U_{pas,20}$
stěna vnější	0,30	0,2 lehká 0,25 těžká	0,18 - 0,12
střecha plochá a šikmá se sklonem do 45°včetně	0,24	0,16	0,15 - 0,10

#### 2.5.4 Větrání a těsnost domu

Provozní větrání se uvažuje 25 m<sup>3</sup>/h čerstvého vzduchu na osobu po dobu otopného období. Toto množství zajistí provozní hygienické minimum. Pro návrh vzduchotechnického zařízení je však nutné přihlédnout k hodnotě minimální intenzity větrání 0,5 1/h. Pro nulové domy se navrhuje systém nuceného větrání se zpětným získáváním tepla, celková účinnost se požaduje  $\geq 75$  %.

Neprůvzdušnost obálky budovy vyjadřuje těsnost budovy. Je vyjádřena pomocí celkové intenzity výměny vzduchu  $n_{50}$  při tlakovém rozdílu 50 Pa [1/h]. Doporučuje se dosáhnout co nejnižších hodnot celkové intenzity výměny vzduchu  $n_{50}$ , kvůli zvýšenému riziku poškození konstrukce v důsledku šířením tepla a vodní páry v netěsné konstrukci. Pro budovy kde je navrženo nucené větrání se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla by mělo být dosaženo  $n_{50} \leq 0,6$  1/h [6].

#### 2.5.5 Potřeba energie

Vzhledem k dobré úrovni zateplení obálky budovy, systému nuceného větrání, využívání vnitřních zisků, solárních zisků a obnovitelných zdrojů energie, dojde k minimalizování tepelné ztráty prostupem tepla i větráním. Proto je výrazně snížena potřeba tepla na vytápění. V domech s nízkou energetickou náročností je stejně významná, ne-li významnější potřeba tepla na přípravu teplé vody než potřeba tepla na vytápění z hlediska celkové potřeby energie.

Tab. 2-5 Požadavky na energeticky nulové domy a domy blízke nulovému podle ČSN 73 0540-2

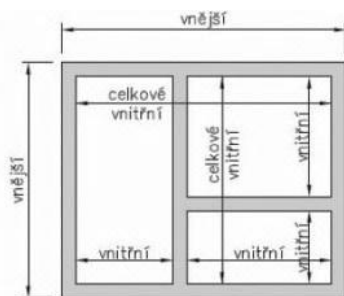
		Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota	
		Měrná potřeba tepla na vytápění $E_A$ [kWh/m <sup>2</sup> .rok]	Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů $PE_A$ [kWh/m <sup>2</sup> .rok]	
Obytné budovy	Nulový	$\leq 20$	Úroveň A	Úroveň B
	Blízký nulovému		0	0
			80	30

Z výše uvedené tabulky je patrné, že nulový dům popsán podle ČSN 73 0540-2 je dům, který má měrnou potřebu tepla na vytápění  $E_A \leq 20$  kWh/m<sup>2</sup>.rok. Potřebu primární energie z neobnovitelných zdrojů na vytápění, přípravu teplé vody a na provoz technických systémů  $PE_A = 0$  kWh/m<sup>2</sup>.rok, pro úroveň A i B.

Pro dům blízký nulovému platí měrná potřeba tepla na vytápění  $E_A \leq 20$  kWh/m<sup>2</sup>.rok. Potřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů na vytápění, přípravu teplé vody a na provoz technických systémů  $PE_A = 80$  kWh/m<sup>2</sup>.rok, pro úroveň A,  $PE_A = 30$  kWh/m<sup>2</sup>.rok pro úroveň B.

Rozdíl v úrovních je, že pro úroveň A se do energetických potřeb zahrne potřeba tepla na vytápění, potřeba tepla na přípravu teplé vody, potřeba energie na chlazení, pomocná elektrická energie na provoz energetických systémů budovy, elektrická energie na umělé osvětlení a elektrické spotřebiče. Pro úroveň B se započítává totéž jako v úrovni A, ale bez zahrnutí elektrické energie na elektrické spotřebiče [6].

Měrná potřeba tepla na vytápění i měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie se vztahuje k podlahové ploše. Započtená podlahová plocha se uvažuje jako celková vnitřní plocha podle ČSN EN ISO 13789.



Obr. 2-4 Rozměry [7]

## 2.5.6 Použití obnovitelných zdrojů energie

### Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo se řadí mezi alternativní zdroje energie. Umožňuje odnímat obnovitelné teplo z okolního prostředí - vody, vzduchu nebo země a převádět ho na vyšší teplotní hladinu a následně účelně využít pro vytápění nebo přípravu teplé vody. Pro přečerpání tepla na vyšší teplotní hladinu je však třeba dodat určité množství energie.

Typy tepelných čerpadel podle zdroje tepla

země - voda

Tepelné čerpadlo tohoto typu získává teplo buď z hlubinných vrtů, pokud jsou vhodné geologické podmínky nebo z povrchového zemního kolektoru, zde je nutná dostatečně velká plocha po instalaci výměníku. Jeho hlavní výhodou je stálost výkonu a topného faktoru.

vzduch - voda

Tepelné čerpadlo tohoto typu je nejčastěji venkovního provedení. Je třeba dbát na dodržení hlukových emisí a vibrací. Instalace probíhá jednoduše a rychle, s minimálními nároky na prostor. Výhodou jsou také nižší investiční náklady než tepelná čerpadla s vrty. Nevýhodou je, že při nízkých venkovních teplotách mají tepelná čerpadla vzduch - voda snížený výkon a sníženou výstupní teplotu otopné vody.

voda - voda

Lze instalovat, pokud je zajištěno dostatečné množství spodní nebo povrchové vody. Tepelná čerpadla voda - voda ve většině případů pracují s otevřeným systémem, který vyžaduje pravidelnou údržbu filtrů a výměníků tedy vyšší náklady na servis [8].

Tepelné čerpadlo charakterizuje tepelný výkon  $\Phi_{TC}$  a topný faktor  $COP$ , při jasně daných podmínkách teploty na vstupu do výparníku  $t_{v1}$  a teploty na výstupu z kondenzátoru  $t_{k2}$ . Topný faktor  $COP$  se určí podle vztahu

$$COP = \frac{\Phi_{TC}}{P_{TC}} \quad [-] \quad (2.1)$$

kde je

$\Phi_{TC}$  výkon tepelného čerpadla [W];

$P_{TC}$  elektrický příkon tepelného čerpadla [W].

Tepelné čerpadlo dokáže ohřát vodu na 55 °C, v závislosti na typu, v některých případech až na 65 °C. Takto ohřátá voda složí pro přípravu teplé vody a otopnou vodu. Volbou teploty primárního zdroje a výstupní teploty je pak ovlivněn topný faktor tepelného čerpadla.

Instalace tepelného čerpadla v rodinném domě slouží především jako náhrada vytápění elektřinou nebo náhrada zdroje na tuhá a kapalná paliva. Výhodou oproti vytápění elektřinou je nižší spotřeba elektrické energie. Výhodou proti tuhým palivům je komfort provozu.

Při výběru tepelného čerpadla není vhodné volit takové, které má nejvyšší tepelný faktor, jelikož dvojnásobný topný faktor se nerovná dvojnásobné úspoře. Stejně jako zvyšování topného faktoru nad 3,0 nemá velký přínos v úspoře energie. Nejdůležitějším hlediskem pro výběr tepelného čerpadla je především jeho spolehlivost, vzhledem k pořizovacím nákladům a případnému servisu.

Z hlediska bilance je podstatnější, než samotný topný faktor tepelného čerpadla jeho sezónní topný faktor  $SPF$ , který zohledňuje celou soustavu, tedy potřebu elektrické energie pro pohon samotného tepelného čerpadla, pomocnou energii na pohon oběhových čerpadel, elektrickou energii pro záložní zdroj [8, 9].

### Solární kolektory

Solární kolektory využívají sluneční energii, kterou jsou schopny přeměnit na teplo, teplonosnou látkou je voda nebo nemrznoucí směs. Solární kolektory se využívají pro přípravu teplé vody, případně pro vytápění a to především ploché a trubkové vakuové. Výkon solárního kolektoru je určen podle následujícího vztahu

$$\Phi_k = \dot{M} \cdot c \cdot (t_{k2} - t_{k1}) \quad [\text{W}] \quad (2.2)$$

kde je

$\dot{M}$  hmotnostní průtok teplonosné kapaliny kolektorem [kg/s];

$c$  měrná tepelná kapacita teplonosné kapaliny [J/kg.K];

$t_{k1}$  teplota na vstupu do solárního kolektoru [°C];

$t_{k2}$  teplota na výstupu ze solárního kolektoru [°C].

Výkon solárního kolektoru je zároveň dán výsledky testování

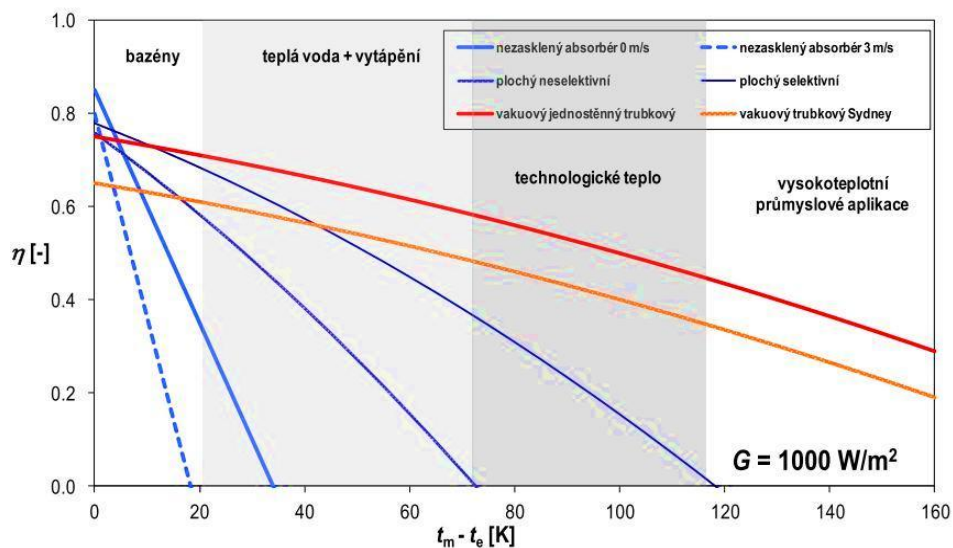
$$\Phi_k = A_k \cdot [G \cdot \eta_0 - a_1 \cdot (t_m - t_e) - a_2 \cdot (t_m - t_e)^2] \quad [\%] \quad (2.3)$$

kde je

- $A_k$  vztážná plocha solárního kolektoru [ $\text{m}^2$ ];  
 $G$  sluneční ozáření [ $\text{W}/\text{m}^2$ ];  
 $\eta_0$  účinnost při nulové tepelné ztrátě, občas označovaná jako optická účinnost [-];  
 $a_1$  lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ];  
 $a_2$  kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^2$ ];  
 $t_m$  střední teplota teplotnosné látky [ $^\circ\text{C}$ ];  
 $t_e$  teplota okolního vzduchu [ $^\circ\text{C}$ ].

Dalším parametrem je křivka účinnosti, která se zobrazuje v obecné závislosti na středním redukovaném teplotním spádu  $(t_m - t_e)/G$ . Tato křivka musí být uváděna se vztážnou plochou kolektoru  $A_k$ , ke které je vztážena.

Křivka účinnosti je jedna z nejčastěji uváděných parametrů od výrobce v následujícím grafu jsou křivky účinnosti pro různé typy solárních kolektorů [10].



Graf 2-1 Křivky účinnosti solárních kolektorů [10]

## **Fotovoltaické moduly**

Fotovoltaické moduly jsou založeny na technologii přímé přeměny slunečního záření na elektřinu a to na základě fotovoltaického jevu. Nejjednodušší fotovoltaický článek lze popsat jako velkoplošnou diodu s jedním PN přechodem. Nejpoužívanější fotovoltaické moduly lze rozdělit podle druhu na

### Monokrystalické moduly

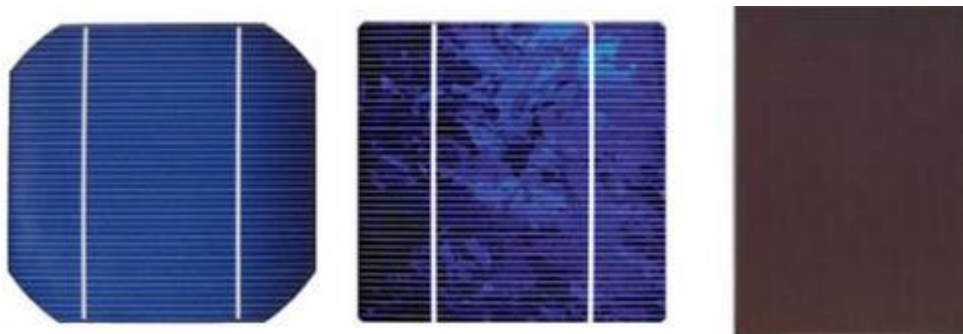
K jejich výrobě je potřeba velké množství čistého křemíku. Vyrábí se tažením monokrystalu typu P z taveniny. Na pohled je jasný rozdíl od ostatních článků, monokrystalické články mají tmavou barvu a nejčastěji tvar osmiúhelníku. Mají dobrou životnost při zachování účinnosti, která se pohybuje 15 % až 18 % [11].

### Polykrystalické moduly

Vyrábí se odlišným způsobem než monokrystalické, tavenina je odlita do formy, kde je ochlazována v jednom směru a dochází k vytvoření velkého počtu homogenních krystalů. Jedná se o nejběžnější fotovoltaické moduly, standardně modré barvy, účinnost se pohybuje 13 % až 16 %. Vzhledem k nižší účinnosti je k zajištění stejného výkonu jako při instalaci monokrystalických panelů potřeba větší plocha [11].

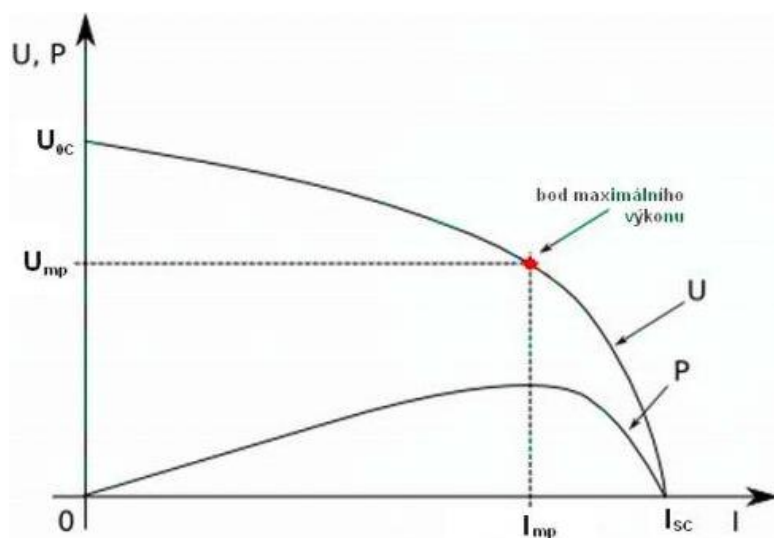
### Amorfní moduly

Amorfní moduly se řadí do fotovoltaických článků druhé generace. Mají výrazně nižší tloušťku a také menší spotřebu materiálu při výrobě oproti krystalickým modulům. Moduly nemají krystalickou strukturu, jedná se o volné uskupení atomů. Amorfní moduly se vyrábí ve vakuové komoře při teplotách kolem 200 - 250 °C, napařením je nanesena vrstva amorfního křemíku na skleněnou tabuli. Amorfní panely dosahují oproti monokrystalu nižší účinnosti 5 % až 7 %. Zabarvení je červenohnědé, modré nebo modrofialové [11].



Obr. 2-5 Monokrystalický, polykrystalický, amorfni člunek [25]

Jeden z hlavních parametrů fotovoltaického modulu je voltampérová charakteristika. Hraniční veličiny na voltampérové charakteristice jsou napětí naprázdno  $U_{oc}$  a proud nakrátko  $I_{sc}$ . Napětí naprázdno představuje maximální napětí na modulu, kterého je možno dosáhnout v případě, že k modulu není připojen žádný spotřebič. Proud nakrátko představuje maximální proud - zkratový proud, který může solární modul při dané intenzitě slunečního záření dodávat [12].



Graf 2-2 Voltampérová charakteristika [12]

Pro každý modul existuje bod maximálního výkonu. Je to pracovní bod na voltampérové charakteristice, ve kterém je výkon článku největší. Výkon fotovoltaického modulu  $P$  lze učit podle vztahu

$$P = U_{mp} \cdot I_{mp} \quad [\text{W}] \quad (2.4)$$

kde je

$U_{mp}$           napětí v bodě maximálního výkonu [V];

$I_{mp}$           proud v bodě maximálního výkonu [A].

$U_{OC}$           napětí naprázdno [V];

$I_{SC}$           proud nakrátko [A];

$$\eta = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{G \cdot A} \quad [\%] \quad (2.5)$$

kde je

$G$           sluneční ozáření [ $\text{W}/\text{m}^2$ ];

$A$           plocha modulu [ $\text{m}^2$ ].

Tyto výše zmíněné parametry jsou určovány za standardních testovacích podmínek při standardní testovací teplotě  $STC = 25^\circ \text{C}$ , intenzitě slunečního záření  $G = 1000 \text{ W}/\text{m}^2$  a definované vzduchové hmotě  $AM = 1,5$  [12].

Na účinnost solárních kolektorů májí vliv především dva faktory, a to teplota a sluneční ozáření. Vliv teploty udává teplotní součinitel  $\beta$  [%/K] pro daný modul, který udává výrobce a vliv ozáření udává pokles účinnosti  $\Delta\eta_G$  [%], udává také výrobce v podkladech pro daný modul.



### 3. Hodnocený rodinný dům

#### 3.1 Popis domu

Hodnocený dům, je novostavba rodinného dvojdomu v Březiněvsi, která spadá do správního obvodu Prahy 8. Jedná se o 2 shodné jednotky, které jsou vůči sobě zrcadlově obráceny. Objekt je nepodsklepený, má dvě nadzemní podlaží a prostor podstřeší. Přístupové komunikace od ulice k objektu jsou zpevněné z betonové dlažby.

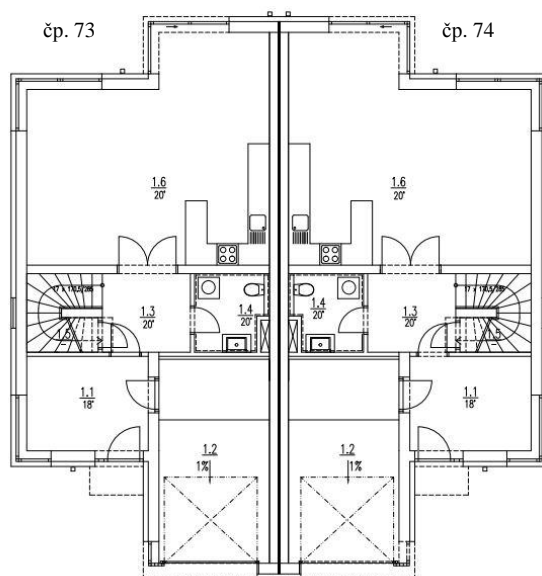


Obr. 3-1 Hodnocený dům

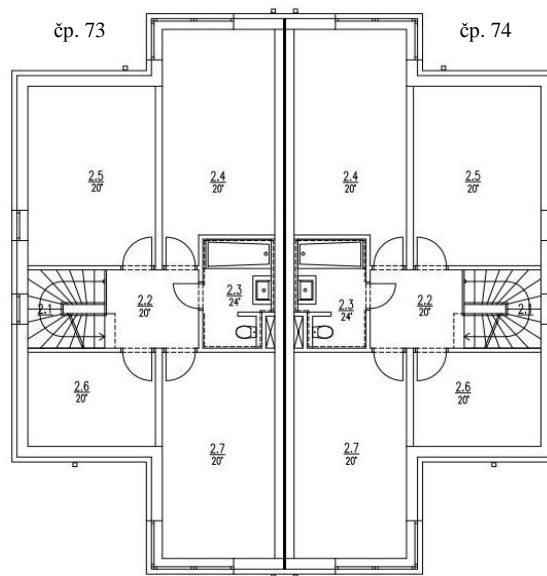
Vstupní prostor do domu je tvořen zádveřím, které navazuje na halu. Zádveří je současně propojeno s garáží. Z haly je přístupný obývací pokoj, WC, komora a schodiště vedoucí do druhého nadzemního podlaží. Obývací pokoj je spojen s kuchyňským koutem do jednoho prostoru.

Ve druhém nadzemním podlaží na schodiště navazuje hala, která umožňuje přístup do jednotlivých místností. Jedná se o tři pokoje, pracovnu a koupelnu s WC. Střecha je navržena v kombinaci ploché a šikmé sedlové.

Garáž je navržena pro jeden osobní automobil v každé jednotce. Vjezd do garáže se nachází na stejné straně jako vstup do domu. V garáži je umístěn plynový kondenzační kotel. Dvojdům je napojen na veřejnou elektrickou, plynovou, kanalizační a vodovodní síť.



Obr. 3-2 Prizemi



Obr. 3-3 První patro

Celková plocha pozemku je  $730 \text{ m}^2$ , užitná plocha celého dvojdому je  $365,6 \text{ m}^2$ , celková vnitřní plocha je  $172 \text{ m}^2$ , teplosměnná plocha obálky budovy  $294 \text{ m}^2$ , světlá výška vnitřních prostorů je  $2,6 \text{ m}$ . Objem domu je  $386 \text{ m}^3$ , vytápěný objem  $275 \text{ m}^3$ .

Pro další výpočty bude posuzovat pouze bytová jednotka čp. 73. Jednotka čp. 74 se bude navrhovat na shodné parametry jako jednotka čp. 73.

### 3.2 Stavební řešení

Dům je řešen jako cihelný, s železobetonovým monolitickým stropem a schodištěm s dřevěnou plochou a šikmou střechou. Objekt je založen na základových patkách, které jsou umístěny na základových pasech.

Svislé obvodové stěny, vnitřní nosné stěny a příčky jsou vyzděny z tvárnice Porotherm. Obvodové zdivo je zatepleno kontaktním systémem na bázi polystyrenu o tloušťce  $140 \text{ mm}$ . V místě mezi jednotlivými bytovými jednotkami je z akustických důvodů zesílené zdivo Porotherm s  $50 \text{ mm}$  mezerou, která je vyplněná minerální izolací.

Střecha je řešena jako plochá a šikmá. Plochá střecha je tvořena dřevěnými trámy, na kterých je bednění z OSB desek. Zateplení je provedeno ze spádových klínů z polystyrenu 200 mm.

Šikmá střecha je tesařskou konstrukcí. Minerální tepelná izolace je uložena mezi krokve (140 mm) a v druhé vrstvě pod krokve (60 mm). Obě části střech jsou opatřeny parozábranou a hydroizolací.

Okna a dveře jsou provedeny jako plastová. Zasklení je bezpečnostní s izolačním dvojsklem.

### 3.2.1 Součinitel prostupu tepla

Hodnoty součinitele prostupu tepla se stanovují podle ČSN EN ISO 6946 [13]. Zhoršující vlivy opakovaně se vyskytující v tepelně vodivějších konstrukcích a dalších prvků se uvažují ve formě přírážky  $\Delta U$  k základní hodnotě součinitele prostupu tepla podle vztahu

$$U' = U + \Delta U \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (3.1)$$

kde je

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

$\Delta U$  zvýšení součinitele prostupu tepla [ $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ].

Tepelný odpor konstrukce  $R$  vyjadřuje tepelně izolační vlastnosti konstrukce a je součtem tepelných odporů jednotlivých vrstev dané konstrukce. Tepelný odpor jednotlivé vrstvy se určí podle následujícího vztahu

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K/W}] \quad (3.2)$$

kde je

$R_j$  tepelný odpor jednotlivých vrstev [ $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ];

$d_j$  tloušťka vrstvy v konstrukci [m];

$\lambda_j$  tepelná vodivost materiálu [ $\text{W/m} \cdot \text{K}$ ].

Součinitel prostupu tepla  $U$  konstrukce se určí podle vztahu

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}} = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \sum \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_i}} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (3.3)$$

kde je

- $R$  tepelný odpor konstrukce [ $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ];
- $R_{si}$  tepelný odpor při přestupu tepla z vnitřního prostředí do konstrukce [ $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ];
- $R_{se}$  tepelný odpor při přestupu tepla z konstrukce do vnějšího prostředí [ $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ];
- $h_i$  součinitel přestupu tepla na vnitřní straně povrchu [ $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ];
- $h_e$  součinitel přestupu tepla na vnější straně povrchu [ $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ].

Tab. 3-1 Součinitel prostupu tepla konstrukcí

Materiál vrstvy	$U$ [ $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ]
Obvodová nosná stěna	0,21
Příčka vnitřní 115mm	1,92
Příčka vnitřní 115mm, zateplená	0,38
Stěna nosná vnitřní 240mm	1,24
Stěna nosná vnitřní 300mm	1,06
Střecha plochá	0,18
Střecha šikmá	0,22
Strop nad nevytápěným prostorem	0,39
Strop obývací pokoj+kk, hala komora	0,39
Strop zádveří, WC	0,39
Strop půda	0,33
Podlaha na terénu zádveří, WC	0,31
Podlaha na terénu obývací pokoj+kk, hala	0,29
Okna - izolační dvojsklo	1,2
Dveře	1,2

### 3.3 Tepelné ztráty

Tepelné ztráty jsou vypočteny dle evropské normy ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách [14].

### 3.3.1 Prostup tepla konstrukcemi

Tepelné ztráty prostupem tepla  $\Phi_{T,i}$  z vytápěného prostoru (i) se stanoví ze vztahu

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (t_{i,N} - t_{e,N}) \quad [\text{W}] \quad (3.4)$$

kde je

$H_{T,ie}$  měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí přes obvodový plášť budovy [W/K];

$H_{T,iue}$  měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí přes nevytápěný prostor (u) [W/K];

$H_{T,ig}$  měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru (i) do přilehlé zeminy (g) [W/K];

$H_{T,ij}$  tepelná ztráta z vytápěného prostoru (i) do vedlejších vytápěných prostor (j) s výrazně odlišnou teplotou [W/K];

$t_{i,N}$  vnitřní návrhová teplota vytápěného prostoru [°C];

$t_{e,N}$  venkovní návrhová teplota lokality dům [°C].

Tab. 3-2 Tepelná ztráta prostupem

Číslo místnosti	Typ místnosti	Tepelná ztráta prostupem [W]
	<b>1NP - obytné místnosti</b>	
1.1	zádveří	520
1.3	hala	90
1.6	pokoj +kk	1090
	<b>2 NP- obytné místnosti</b>	
2.2	hala	70
2.4	pokoj	390
2.5	pokoj	440
2.6	pokoj	320
2.7	pokoj	540
	<b>Hygienické místnosti</b>	
1.4	WC	40
2.3	koupelna	240
	$\Sigma$	3740

Tepelné ztráty v jednotlivých místnostech hodnoceného domu jsou shrnuty ve výše uvedené tabulce. Celková tepelná ztráta prostupem tepla je 3,7 kW. Viz příloha 2 str. 78.

### 3.3.2 Větrání

Tepelné ztráty větráním jsou vypočteny podle evropské normy ČSN EN 12831 [14]. V domě není navrženo nucené větrání, větrání je realizováno pomocí čtvrté polohy u oken, tedy mikroventilací. Tepelná ztráta větráním se určí podle vztahu kde je

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (t_{i,N} - t_{e,N}) \quad [\text{W}] \quad (3.5)$$

kde je

- $\Phi_{V,i}$  tepelná ztráta větráním [W];  
 $H_{V,i}$  měrná tepelná ztráta větráním [W/K];  
 $t_{i,N}$  vnitřní návrhová teplota vytápěného prostoru (i) [°C];  
 $t_{e,N}$  venkovní návrhová teplota lokality dům [°C].

$$H_{V,i} = V_i \cdot \rho \cdot c \quad [\text{W}] \quad (3.6)$$

kde je

- $V_i$  množství přiváděného vzduchu do místnosti [m<sup>3</sup>/h];  
 $\rho$  hustota vzduchu [kg/m<sup>3</sup>];  
 $c$  měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kg.K].

Množství přiváděného vzduchu do místnosti  $V_i$  se určí podle vztahu

$$V_i = n_{\min} \cdot V_m \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (3.7)$$

kde je

- $n_{\min}$  minimální výměna vzduchu [1/h];  
 $V_m$  objem vytápěného prostoru počítaný z vnitřních rozměrů [m<sup>3</sup>].

Tab. 3-3 Tepelná ztráta větráním

Číslo místnosti	Typ místnosti	Tepelná ztráta větráním [W]
	<b>1NP - obytné místnosti</b>	
1.1	zádveří	120
1.3	hala	80
1.6	pokoj	540
	<b>2 NP- obytné místnosti</b>	
2.2	hala	80
2.4	pokoj	250
2.5	pokoj	210
2.6	pokoj	80
2.7	pokoj	250
	<b>Hygienické místnosti</b>	
1.4	WC	50
2.3	koupelna	110
	$\Sigma$	1770

Tepelné ztráty větráním vypočítané podle ČSN 12 831 jsou celkem pro celý dům 1,8 kW. Viz příloha 3 str. 84.

Tab. 3-4 Celková tepelná ztráta

Tepelná ztráta prostupem [W]	Tepelná ztráta větráním [W]	Celková tepelná ztráta [W]
3740	1770	5500

Celková tepelná ztráta hodnoceného domu je součtem tepelné ztráty prostupem tepla a tepelné ztráty větráním a činí 5,5 kW.

### 3.4 Vytápění

Uzavřená otopná soustava objektu je dvoutrubkový systém s převažujícími deskovými otopnými tělesy o výpočtových parametrech 55/40 °C.

Zdrojem tepla pro vytápění a pro přípravu teplé vody je v každé části rodinného dvojdomu je vlastní závěsný plynový kondenzační kotel Buderus Logamax plus GB172-14 na zemní plyn, umístěný v prostoru garáže. Součástí kotle je nízkoenergetické modulační oběhové čerpadlo, tlaková expanzní nádoba o obsahu 12 l, pojistné a zabezpečovací prvky s plynulou regulací výkonu kotle. Otevírací přetlak pojistného ventilu je 300 kPa.



Obr. 3-4 Kondenzační plynový kotel Buderus Logamax plus GB172-14 [26]

### 3.5 Potřeba tepla

#### 3.5.1 Ztráta tepla

Ztráta tepla se určí podle vztahu se podle vztahu

$$Q_L = H \cdot (t_i - t_e) \cdot \Delta\tau \quad [\text{kWh}] \quad (3.8)$$

kde je

- $t_i$  požadovaná vnitřní teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ];  
 $t_e$  průměrná venkovní teplota během časového úseku, uvažuje se podle daných klimatických okrajových podmínek [ $^{\circ}\text{C}$ ];  
 $\Delta\tau$  délka časového úseku [h];  
 $H$  měrná tepelná ztráta budovy [W/K].

Měrná ztráta prostupem se vypočítá podle vztahu

$$H = H_T + H_V \quad (3.9)$$

kde je

- $H_T$  měrná ztráta prostupem tepla konstrukcemi [W/K];  
 $H_V$  měrná ztráta větráním [W/K].

Tab. 3-5 Měrná tepelná ztráta prostupem

$H_T$ - měrná ztráta prostupem [W/K]	$H_V$ - měrná ztráta větráním [W/K]	$H$ - měrná ztráta domu [W/K]
120	60	180

#### 3.5.2 Tepelné zisky

Celkové tepelné zisky  $Q_G$  uvažujeme jako součet vnitřních a solárních zisků. Jsou vypočteny měsíční metodou, kde se pro každý měsíc vnitřní zisky a solární zisky. Určí se pomocí vzorce

$$Q_G = Q_i + Q_s \quad [\text{kWh}] \quad (3.10)$$

kde je

- $Q_i$  vnitřní tepelné zisky [kWh];  
 $Q_s$  solární zisky [kWh].



Výše zmíněné vnitřní tepelné zisky  $Q_i$  se vypočítají podle vztahu

$$Q_i = \frac{(0,7 \cdot k \cdot 100 + 100) \cdot \Delta\tau}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad (3.11)$$

kde je

$k$  počet osob [-];

$\Delta\tau$  časový úsek [h].

Koeficient přítomnosti osob se uvažuje 0,7. Teplo uvolňované do prostoru provozem domácích spotřebičů, umělého osvětlení a metabolické teplo se uvažuje hodnotou 100 W/os k tomu se připočte 100 W na bytovou jednotku trvalého zisku.

Solární zisky se vzhledem k různé orientaci okem vůči světovým stranám, posuzují zvlášť pro každou bytovou jednotku dvojdomu podle následujícího vztahu

$$Q_s = \sum_j I_{s,j} \cdot \sum_n A_{s,nj} \quad [\text{kWh}] \quad (3.12)$$

kde je

$I_{s,j}$  úhrn slunečního záření na jednotku plochy o orientaci  $j$  [ $\text{kWh/m}^2$ ];

$A_{s,nj}$  účinná plocha zaskleného prvku o orientaci  $j$  [ $\text{m}^2$ ].

Výpočet ztráty tepla, tepelných zisků - vnitřních zisků a solárních zisků, viz příloha 5 str. 85.

### 3.5.3 Potřeba tepla na vytápění

Potřeba tepla na vytápění je vypočtena měsíční metodou a dále je rozpočítána pro každou hodinu v průběhu roku. K určení potřeby tepla na vytápění je potřeba stanovit ztrátu tepla a tepelný zisk. Celou budovu uvažujeme jako jednu zónu s jednou teplotou.

Výpočet je zjednodušený v souladu s EN ISO 13790, okrajovými podmínkami stanovenými v TNI 73 0329 pro rodinné domy. Potřeba tepla na vytápění se pro každý měsíc rovná

$$Q_{VYT} = Q_L - \eta Q_G \quad [\text{Wh}] \quad (3.13)$$

kde je

$Q_L$  ztráta tepla [kWh];

$Q_G$  tepelné zisky [kWh];

$\eta$  stupeň využití solárních zisků [-].

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad [-] \quad (3.14)$$

kde je

$\gamma$  poměr tepelných zisků a ztrát tepla [-];  
 $a$  numerický parametr závislý na časové konstantě  $\tau$  [-].

$$a = a_{ref} + \frac{\tau}{\tau_{ref}} \quad (3.15)$$

kde je

$a_{ref}$  referenční numerický parametr [-];  
 $\tau_{ref}$  referenční časová konstanta [h];  
 $\tau$  časová konstanta [h].

$$\tau = \frac{C}{H} \cdot \frac{1}{3600} \quad [\text{h}] \quad (3.16)$$

kde je

$C$  vnitřní tepelná kapacita budovy [J/K];  
 $H$  měrná tepelná ztráta budovy [W/K].

Vztah uvedený pro stupeň využití solárních zisků platí tehdy, když je poměr tepelných zisků a ztrát  $\gamma \neq 1$ . Dále uvažujeme pro měsíční metodu  $a_{ref} = 1$  a referenční časovou konstantu  $\tau_{ref} = 16$  h [15].

Vnitřní tepelná kapacita budovy je uvažována podle tabulkové hodnoty na základě vnitřní podlahové plochy  $A_f$ , pro střední třídu budovy podle vztahu  $165\,000 \cdot A_f$  [15].

Pro rozdělení potřeby tepla na vytápění do jednotlivých časových intervalů je nutné stanovit hodinostupně DH. Hodinostupně pro teplotní interval  $j$  stanoví podle následujícího vztahu

$$DH_j = \Delta\tau_j \cdot (t_i - t_{e,j}) \quad [\text{Kh}] \quad (3.17)$$

kde je

$\Delta\tau_j$  doba trvání intervalu [h];  
 $t_i$  průměrná vnitřní teplota [°C];  
 $t_{e,j}$  venkovní teplota v daném intervalu [°C].

Roční potřeba tepla na vytápění se pro jednotlivé teplotní intervaly  $j$  rozdělí poměrovým přepočtem na základě příslušných hodinostupňů ve výpočtových intervalech podle vztahu

$$Q_{VYT,j} = Q_{VYT,rok} \cdot \frac{DH_j}{DH_{rok}} \quad [\text{kWh}] \quad (3.18)$$

kde je

$DH_j$  počet hodinostupňů výpočtového teplotního intervalu  $j$  [Kh];

$DH_{rok}$  počet hodinostupňů během roku za otopné období [Kh].

Tab. 3-6 Souhrnná tabulka ztráta tepla, tepelné zisky, stupeň využití solárních zisků, potřeba tepla na vytápění

	Ztráta tepla $Q_L$ [kWh]	Tepelné zisky čp. 73 $Q_G$ [kWh]	Stupeň využití solárních zisků $\eta$ [-]	Potřeba tepla na vytápění $Q_{VYT}$ [kWh]
Leden	2692	548	1,00	2146
Únor	2200	602	0,99	1603
Březen	2051	853	0,98	1219
Duben	1365	1009	0,88	473
Květen	692	1182	0,55	45
Červen	-	-	-	-
Červenec	-	-	-	-
Srpen	-	-	-	-
Září	769	934	0,70	113
Říjen	1359	742	0,95	657
Listopad	1985	486	1,00	1502
Prosinec	2628	450	1,00	2179
Roční	15743	6806		9936

Pro hodnocený dům je vypočtena ztráta tepla 15743 kWh/rok, tepelné zisky 6807 kWh/rok, jejich rozdílem je určena roční potřeba tepla na vytápění 9936 kWh/rok. Potřeba tepla je zohledněna účinností sdílení energie na vytápění  $\eta_{vyt}$  pro teplovodní systém s deskovými otopnými tělesy 0,88 podle TNI 73 0331. Potřeba tepla na vytápění je poté 11291 kWh/rok.

### 3.5.4 Potřeba tepla na přípravu teplé vody

Potřeba tepla na přípravu teplé vody je vypočítána měsíční metodou, která je dále rozpočítána pro každou konkrétní hodinu v průběhu roku. Výpočet je proveden pomocí vztahu pro hodinové množství teplé vody.

$$V_{TV,hod} = \frac{\varphi_{mes,i}}{n_m} \varphi_{h,i} \cdot V_{TV,den} \cdot k \cdot 365 \quad [l] \quad (3.19)$$

$n_m$  počet dní v daném měsíci [den];

$V_{TV,den}$  denní potřeba teplé vody na osobu [l];

$k$  počet osob [-].

Při výpočtu se zohledňuje každý měsíc i každá hodina pomocí daných koeficientů  $\varphi_{m\acute{e}s,i}$  [-] a  $\varphi_{h,i}$  [-].

Z hodinové potřeby teplé vody se určí denní, následně měsíční potřeba. Z výše známých hodnot lze určit hodinovou potřebu tepla pro přípravu teplé vody podle následujícího vztahu.

$$Q_{TV,hod} = (1 + z) \frac{\rho \cdot c \cdot V_{TV,hod} \cdot (t_2 - t_1)}{3600000} \quad [\text{kWh}] \quad (3.20)$$

kde je

$z$  koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody [-];

$\rho$  hustota vody [ $\text{kg/m}^3$ ];

$c$  měrná tepelná kapacita vody [ $\text{J/kgK}$ ];

$V_{TV,hod}$  hodinová potřeba teplé vody [ $\text{m}^3$ ];

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

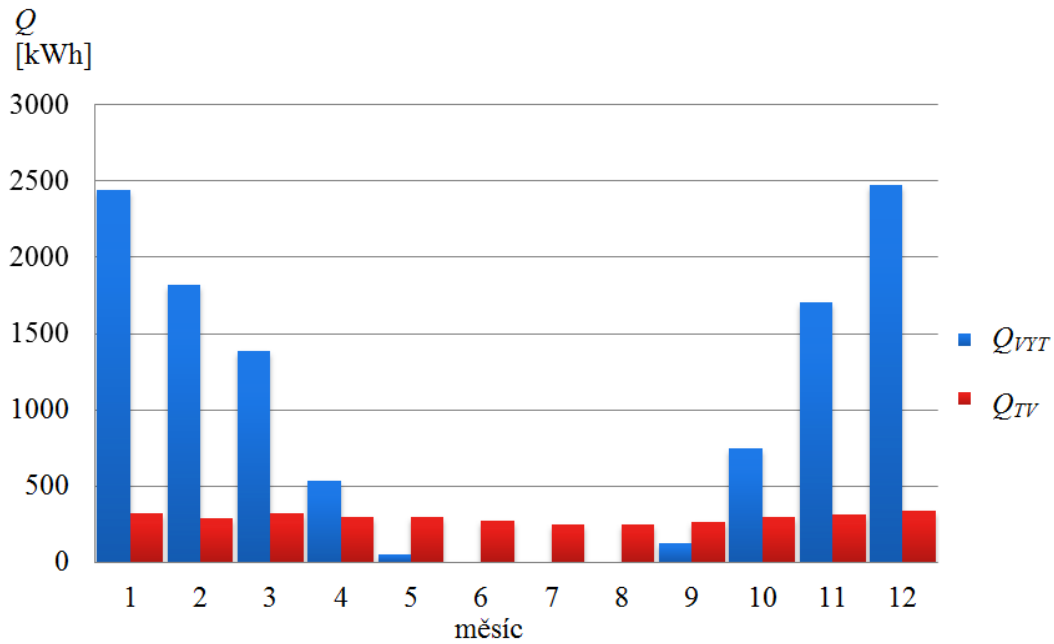
$t_2$  teplota teplé vody [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Pro hodnocený dům uvažujeme koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody 0,15, hustotu vody  $1000 \text{ kg/m}^3$ , měrnou tepelnou kapacitu vody  $4186 \text{ J/kg.K}$ , teplotu studené vody uvažujeme  $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a teplotu teplé vody  $55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Tab. 3-7 Souhrnná tabulka potřeba TV, potřeba tepla na přípravu TV

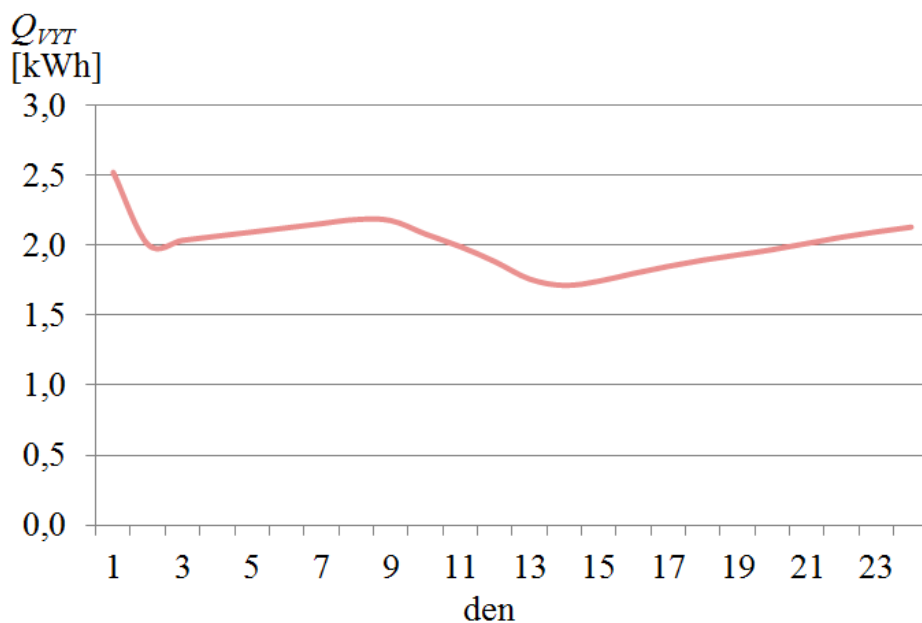
	$V_{TV}$ měsíční potřeba TV pro 4 osoby [ $\text{m}^3$ ]	$Q_{TV}$ potřeba tepla na přípravu TV [kWh]
Leden	5,4	323
Únor	4,8	291
Březen	5,4	323
Duben	5,0	298
Květen	4,9	293
Červen	4,6	277
Červenec	4,1	249
Srpen	4,1	249
Září	4,4	263
Říjen	5,0	301
Listopad	5,2	312
Prosinec	5,6	337
Roční	58,4	3515

Vypočtená potřeba tepla na přípravu teplé vody pro 4 osoby v hodnoceném domě se rovná  $3515 \text{ kWh/rok}$ .

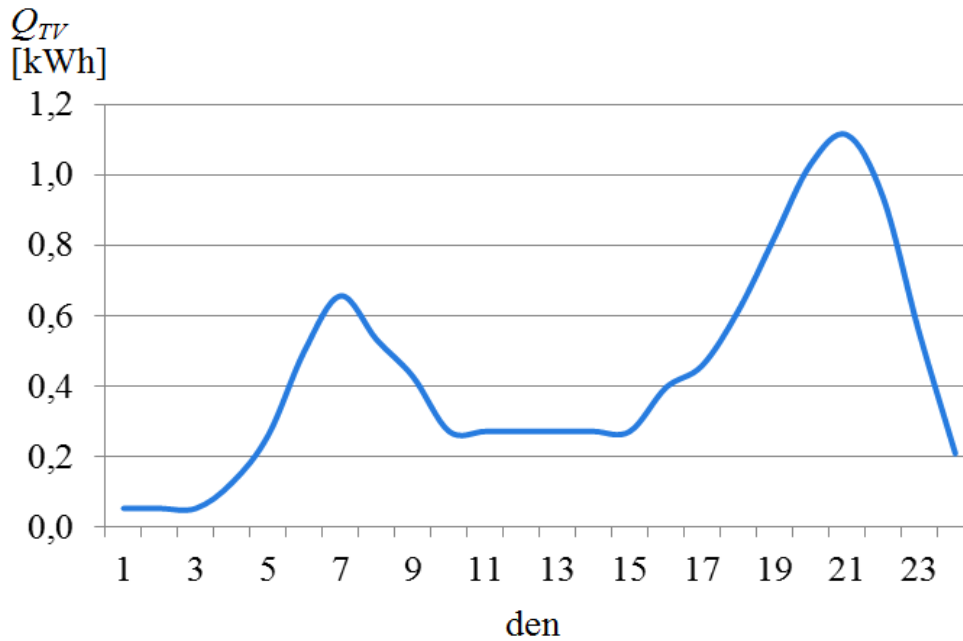


Graf 3-1 Měsíční potřeby tepla na vytápění a tepla na přípravu teplé vody

Z grafu 3-1 pro potřebu tepla na vytápění a tepla na přípravu teplé vody je patrné, že nejvyšší potřeba tepla na vytápění je v zimních měsících a to v prosinci a lednu, nejnižší v květnu a září. Letní měsíce se neuvažuje vytápění, proto je potřeba nulová. Potřeba tepla na přípravu teplé vody je téměř konstantní po celý rok. V následujícím grafu 3-2 je zobrazen denní průběh potřeby tepla na vytápění a v grafu 3-3 je denní průběh potřeby tepla na přípravu teplé vody, jsou patrné odběrové špičky v 8 a 20 hodin.



Graf 3-2 Denní potřeba tepla na vytápění dne 1. 1



Graf 3-3 Denní potřeba tepla na přípravu teplé vody dne 1.1

### 3.5.5 Potřeba elektrické energie

Roční potřeba elektrické energie hodnoceného domu je 2758 kWh. Hodnota je statisticky zjištěná dle REMODECE pro 4 členy domácnosti [16]. Potřeba je rozpočítána do hodinových odběrů pomocí matematického modelu. Tento matematický model dokáže vygenerovat celoroční průběh odběru a nahradit tak sadu tabelovaných hodnot TDD4. TDD4 je označení pro typové diagramy dodávek a třída 4 nám určuje charakter odběru, v tomto případě odběr bez tepelného využití elektřiny. Typové diagramy dodávek tvoří a připravuje EGÚ Brno a.s, kdy je pro každou třídu stanoven TDD na základě statisticky vyhodnocených odběrů měřených na výběrovém souboru [16].

Pomocí výše zmíněného matematického modelu se vytvoří normovaná denní odběrová křivka v hodinovém kroku  $L^{n,24}$ . Hodinový krok se určí podle následujícího vztahu

$$L^{n,24} = d + \sum_{i=1}^3 a_i \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{h+b}{24c_i}\right) \quad [-] \quad (3.21)$$

kde je

$h$  pořadí hodin dne [-].

Tab. 3-8 Koeficienty pro výpočet hodinového kroku  $L^{n,24}$ 

koeficient	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	c <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>2</sub>
den	-0,0208	-3,315	0,2411	0,1197	-4,564	0,5124

Tab. 3-9 Koeficienty pro výpočet hodinového kroku  $L^{n,24}$ 

koeficient	a <sub>3</sub>	b <sub>3</sub>	c <sub>3</sub>	d
den	-0,12	0	0,9483	0,3832

Normovaná roční odběrová křivka v hodinovém kroku  $L^n$  se určí tak, že pro každý den vezmeme jako základ  $L^{n,24}$  dle (3.21) a u denních průběhů provedeme korekci podle následujícího vztahu

$$L^n = L^{n,24} \cdot (k_1 + k_2 \cdot n + k_3 \cdot n^2) \quad [-] \quad (3.22)$$

kde je

$n$  pořadí dne roce [-];

Tab. 3-10 Koeficienty pro výpočet  $L^n$ 

koeficient	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>
	1,161	-0,0025	7,1E-06

Z normovaného ročního průběhu odběrů  $L^n$  lze poté vypočítat roční průběh absolutních hodinových odběrů podle vztahu

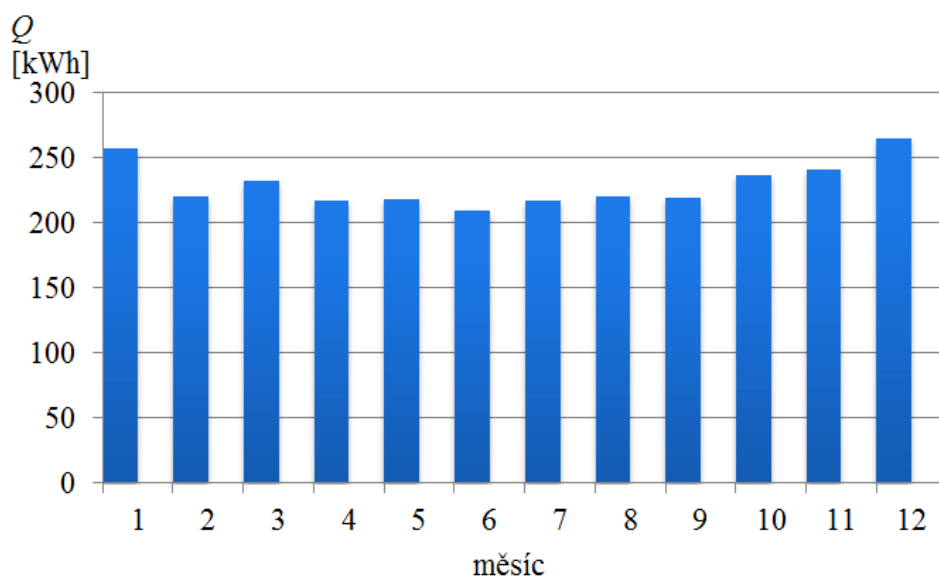
$$L(h) = L^n(h) \cdot \frac{E_{u,rok} + E_{aux,rok}}{\sum_{h=1}^{8760} L^n(h)} \quad [\text{kWh}] \quad (3.23)$$

kde je

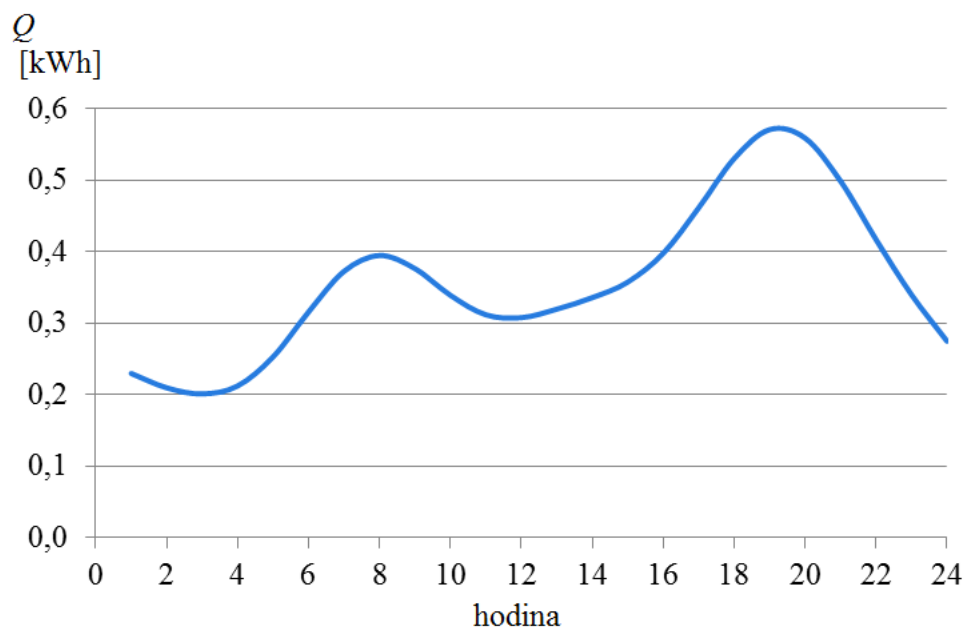
$E_{u,rok}$  roční spotřeba elektrické energie [kWh];

$E_{aux,rok}$  roční spotřeba pomocné energie [kWh]

V následujícím grafu 3-4 jsou zobrazeny měsíční potřeby uživatelské elektrické energie, lze vidět, že je během roku téměř konstantní. V grafu 3-5 je zobrazena potřeba uživatelské energie během dne.



Graf 3-4 Měsíční potřeby uživatelské elektrické energie



Graf 3-5 Denní průběh potřeby uživatelské elektrické energie dne 1. 1



## 4. Analýza a zhodnocení

### 4.1 Varianty

V následujících variantách je analyzován rodinný dům, pro který jsou navržena úsporná opatření k dosažení nulového domu, případně domu blízkého nulovému. Tento výchozí dům je podrobně popsán v předchozí kapitole a je brán jako referenční pro další návrhy, které jsou vyhodnoceny v jednotlivých variantách. Navrhované změny se týkají dodatečné tepelné izolace, výměny zdroje tepla a využívání obnovitelných zdrojů energie. Hodnocení klade důraz především na dodržení kritérií pro bilanci primární neobnovitelné energie. Jelikož je hodnocen dům, který je z běžného domu transformován na téměř nulový dům a nebyl takto uvažován ve fázi architektonického návrhu, není možné i přes zateplení na požadavky pro pasivní dům dosáhnout kritéria průměrného součinitele prostupu tepla.

Tab. 4-1 Přehled variant

Shrnutí parametrů	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4	Varianta 5
Zdroj tepla	kondenzační plynový kotel	tepelné čerpadlo	tepelné čerpadlo	tepelné čerpadlo	tepelné čerpadlo
Dodatečná izolace	není	není	na úroveň pasivního domu	není	na úroveň pasivního domu
Obnovitelné zdroje energie	není	není	není	fotovoltaika, 6 panelů	fotovoltaika, 12 panelů
Větrání	přírozené	nucené s rekuperací	nucené s rekuperací	nucené s rekuperací	nucené s rekuperací
Okna - zasklení	izolační dvojsklo	izolační trojsklo	izolační trojsklo	izolační trojsklo	izolační trojsklo

### 4.2 Bilance neobnovitelné primární energie

Primární energie je energie, která neprošla žádným procesem přeměny, je to energie, která je obsažená v přírodních zdrojích před provedenou přeměnou člověkem. Neobnovitelná primární energie se určí pomocí faktorů neobnovitelné primární energie uvedených v tabulce 4-2. Po vynásobení jednotlivých složek dodané/vydané energie, se získá odpovídající množství neobnovitelné primární energie. Do hodnocení podle ČSN 73 0540-2 se zahrnou roční energetické potřeby v závislosti na úrovni hodnocení, A nebo B. Bilance neobnovitelné primární energie je rozdíl mezi dodanou

neobnovitelnou primární energií do domu a vydanou neobnovitelnou primární energií z domu, vztaženou k celkové vnitřní ploše budovy za rok [17].

Tab. 4-2 Hodnoty faktoru energetické přeměny

Zdroj	Faktor energetické přeměny $f$ [kWh/kWh]
Zemní plyn a další fosilní paliva	1,1
Elektrická energie	3,0
Solární systémy fotovoltaické pro vlastní použití	0,0
Solární systémy fotovoltaické pro export do sítě	-3,0

### 4.3 Metoda bilance tepelného čerpadla

Hodnocení tepelného čerpadla v hodinovém kroku je provedeno podle TNI 73 0351 - Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly [18].

Předpokládá se, že tepelné čerpadlo bude provozováno v režimu přípravy teplé vody i v režimu vytápění. Výpočet je uvažován pro případ kdy má přednost pokrytí potřeby tepla na přípravu teplé vody.

Pro variantu 2 až variantu 5 je navrženo tepelné čerpadlo země - voda Stiebel Eltron typ WPC 5 s integrovaným zásobníkem teplé vody.



Technické parametry tepelného čerpadla

tepelný výkon při B0/W35 (EN 14 511)	5,92 kW;
topný faktor při B0/W35 (EN 14 511)	4,4;
hmotnost	275 kg;
teplotní spád otopné vody	5 K.

Obr. 4-1 Tepelné čerpadlo Stiebel Eltron typ WPC 5 [27]

### Určení parametrů tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo je určeno parametry - *Topný výkon*  $Q_k = f(t_{v1}, t_{k2})$  a *Topný faktor*  $COP = f(t_{v1}, t_{k2})$ .

Tyto provozní charakteristiky tepelného čerpadla je nutné posuzovat při jasně definovaných podmínkách  $t_{v1}$ ,  $t_{k2}$ . Topný výkon  $Q_k$  a topný faktor  $COP$  se zjišťuje v podkladech od výrobce, pro potřeby výpočtu se upraví pomocí následujícího vztahu. Zjištění koeficientů  $A - F$ ,  $a - f$ , probíhá v tabulkovém editoru Excel pomocí funkce vícenásobné lineární regrese.

$$Q_k = A + B \cdot t_{v1} + C \cdot t_{k2} + D \cdot t_{v1}^2 + E \cdot t_{k2}^2 + F \cdot t_{v1} \cdot t_{k2} \quad (4.1)$$

$$COP = a + b \cdot t_{v1} + c \cdot t_{k2} + d \cdot t_{v1}^2 + e \cdot t_{k2}^2 + f \cdot t_{v1} \cdot t_{k2} \quad (4.2)$$

kde je

$t_{v1}$  teplota na vstupu do výparníku [°C];

$t_{k2}$  teplota na výstupu z kondenzátoru [°C];

### Teplota nízkopotenciálního zdroje tepla

Teplota nízkopotenciálního zdroje tepla během roku, tedy teplota na vstupu do výparníku  $t_{v1}$ , ovlivňuje provozní efektivitu a výkon tepelného čerpadla. Pro určení provozních charakteristik v daných teplotních intervalech je nutné určit teplotu na výstupu z kondenzátoru  $t_{k2}$ .

Vztah pro určení teploty na vstupu do výparníku podle ČSN EN 15316-4-2 je následující

$$t_{v1} = \max(0^\circ\text{C}; \min(0,15 \cdot t_{em,j} + 1,5^\circ\text{C}; 4,5^\circ\text{C})) \quad [^\circ\text{C}] \quad (4.3)$$

kde je

$t_{em,j}$  střední teplota venkovního vzduchu v intervalu  $j$  [°C].

### Určení charakteristik režimu přípravy teplé vody a režimu vytápění

V režimu přípravy teplé vody je nutno určit teplotu teplé vody  $t_{TV}$ . Teplota na výstupu z tepelného čerpadla pro každý teplotní interval  $t_{k2,j}$  se určí podle vztahu.

$$t_{k2,j} = t_{TV} + \Delta t_{TV} \quad [^\circ\text{C}] \quad (4.4)$$

kde je

$t_{TV}$  teplota připravované teplé vody [°C];

$\Delta t_{TV}$  zvýšení teploty [K].

Teplotu pro přípravu teplé vody  $t_{TV}$  uvažujeme běžně 55 °C. Zvýšení teploty o  $\Delta t_{TV}$  zohledňuje teplotní rozdíl na výměníku tepla mezi přiváděnou otopnou vodou a připravovanou teplou vodou. Pro přípravu teplé vody bez využití cirkulace lze uvažovat 0 K.

V režimu vytápění otopnou soustavu charakterizují návrhové teploty přívodní a vratné vody  $t_{w1,N}$ ,  $t_{w2,N}$  a teplotní exponent  $m$  převažujících otopných ploch. Pro každý výpočtový interval tepelného čerpadla se určí ekvitermní teplota přívodní otopné vody  $t_{w1,j}$  na základě střední teploty venkovního vzduchu  $t_{em,j}$ , v daném výpočtovém intervalu  $j$  podle následujícího vztahu.

$$t_{w1,j} = t_i + \frac{t_{w1,N} - t_{w2,N}}{2} \cdot \frac{t_i - t_{em,j}}{t_i - t_{e,N}} + \left( \frac{t_{w1,N} + t_{w2,N}}{2} - t_i \right) \cdot \left( \frac{t_i - t_{em,j}}{t_i - t_{e,N}} \right)^{1/m} \quad (4.5)$$

kde je

$t_i$	vnitřní teplota vzduchu [°C];
$t_{e,N}$	venkovní výpočtová teplota [°C];
$t_{w1,N}$	návrhová teplota přívodní otopné vody 55 °C;
$t_{w2,N}$	návrhová teplota vratné otopné vody 40 °C;
$t_{em,j}$	střední teplota venkovního vzduchu ve výpočtovém intervalu [°C];
$m$	teplotní exponent otopných ploch [-].

Hodnota teplotního exponentu převažujících otopných ploch se uvažuje podle tabulkové hodnoty z TNI 73 0351. Pro otopná tělesa použitá v domě,  $m = 1,3$ . Teplota otopné vody na výstupu z tepelného čerpadla  $t_{k2,j}$  pro daný výpočtový interval se stanoví na základě teploty přívodní otopné vody  $t_{w1,j}$  podle vztahu,

$$t_{k2,j} = t_{w1,j} + \Delta t_w \quad [°C] \quad (4.6)$$

kde je

$t_{k2,j}$	teplota na výstupu z tepelného čerpadla [°C];
$t_{w1,j}$	teplota přívodní otopné vody [°C];
$\Delta t_w$	zvýšení teploty [K].

Zvýšení teploty  $\Delta t_w$  zohledňuje nabíjení uvažovaného nárazového zásobníku otopné vody nad požadovanou ekvitermní teplotu do otopné soustavy pro omezení cyklování

tepelného čerpadla. Pro běžné podmínky se uvažuje hodnota podle TNI 73 0351  $\Delta t_w = 2 \text{ K}$ .

### Výpočtový postup

Ve výpočtu je zvolen interval o délce trvání jedna hodina. Každý teplotní interval je charakterizován, teplotou venkovního vzduchu  $t_e$ , a dobou trvání intervalu  $\Delta \tau_j = 1$  hodina.

Provozní podmínky tepelného čerpadla, teplota na vstupu do výparníku  $t_{v1}$  a teplota na výstupu z kondenzátoru  $t_{k2}$  jsou stanoveny na základě teploty venkovního vzduchu  $t_e$ .

### Režim přípravy teplé vody

Pro každý teplotní interval  $j$  se stanoví potřeba tepla na přípravu teplé vody  $Q_{TV,j}$ . Pro teplotu zdroje tepla  $t_{v1,j}$  a teplotu otopné vody na výstupu z tepelného čerpadla  $t_{k2,j}$  v soustavě přípravy teplé vody se z charakteristik tepelného čerpadla stanoví jeho výkon  $\Phi_{k,TV,j}(t_{v1}, t_{k2})$  a topný faktor  $COP_{TV,j}(t_{v1}, t_{k2})$ .

Dostupné teplo z tepelného čerpadla  $Q_{k,TV,j}$  pro přednostní přípravu teplé vody v daném teplotním intervalu  $j$  se určí podle vztahu

$$Q_{k,TV,j} = \Phi_{k,TV,j} \cdot \Delta \tau_j \quad [\text{kWh}] \quad (4.7)$$

kde je

$Q_{k,TV,j}$  dostupné teplo z tepelného čerpadla [kWh];

$\Phi_{k,TV,j}$  výkon tepelného čerpadla v podmínkách teplotního intervalu [kW];

$\Delta \tau_j$  doba trvání výpočtového teplotního intervalu [h].

Teplo, které dodá tepelné čerpadlo pro krytí potřeby tepla na přípravu teplé vody, se určí podle vztahu

$$Q_{TC,TV,j} = \min(Q_{k,TV,j}; Q_{p,TV,j}) \quad [\text{kWh}] \quad (4.8)$$

kde je

$Q_{k,TV,j}$  dostupné teplo v teplotním intervalu [kWh];

$Q_{p,TV,j}$  potřeba tepla v teplotním intervalu [kWh].

Doba provozu tepelného čerpadla v teplotním intervalu  $j$  se určí podle následujícího vztahu

$$\Delta\tau_{TC,TV,j} = \frac{Q_{TC,TV,j}}{\Phi_{k,TV,j}} \quad [\text{h}] \quad (4.9)$$

kde je

$Q_{TC,TV,j}$  teplo dodané tepelným čerpadlem v teplotním intervalu [kWh];

$\Phi_{k,TV,j}$  výkon tepelného čerpadla v teplotním intervalu [kW];

Potřeba elektrické energie na pohon tepelného čerpadla v režimu přípravy teplé vody v teplotním intervalu  $j$ , se určí podle vztahu

$$E_{TC,TV,j} = \frac{Q_{TC,TV,j}}{COP_{TV,j}} \quad [\text{kWh}] \quad (4.10)$$

$Q_{TC,TV,j}$  teplo dodané tepelným čerpadlem v teplotním intervalu [Wh];

$COP_{TV,j}$  topný faktor tepelného čerpadla v teplotním intervalu [-].

Potřeba pomocné elektrické energie soustavy s tepelným čerpadlem v režimu přípravy teplé vody se určí podle následujícího vztahu

$$E_{aux,TV,j} = P_{aux,TV} \cdot \Delta\tau_{TC,TV,j} \quad [\text{kWh}] \quad (4.11)$$

kde je

$P_{aux,TV}$  elektrický příkon pomocným zařízením v jejich pracovním bodě [kW];

$\Delta\tau_{TC,TV,j}$  doba provozu tepelného čerpadla v teplotním intervalu [h].

V případě, že je v teplotním intervalu  $j$ , dostupné teplo z tepelného čerpadla v režimu teplé vody nižší než potřeba tepla na přípravu teplé vody, je nutné krýt zbývající potřebu tepla  $Q_{d,TV,j}$  z doplňkového ohříváče podle vztahu,

$$Q_{d,TV,j} = Q_{p,TV,j} - Q_{TC,TV,j} \quad [\text{kWh}] \quad (4.12)$$

kde je

$Q_{p,TV,j}$  potřeba tepla v teplotním interval [kWh];

$Q_{TC,TV,j}$  teplo dodané tepelným čerpadlem v teplotním interval [kWh].

### Režim vytápění

V režimu vytápění se pro každý teplotní interval  $j$  stanoví potřeba tepla na vytápění  $Q_{VYT,j}$ . Pro teplotu zdroje tepla  $t_{v1,j}$  a teplotu otopné vody na výstupu z tepelného čerpadla  $t_{k2,j}$  se v otopné soustavě z charakteristik tepelného čerpadla stanoví jeho výkon  $\Phi_{k,VYT,j}(t_{v1}, t_{k2})$  a topný faktor  $COP_{VYT,j}(t_{v1}, t_{k2})$ .

Při návrhu kombinované přípravy teplé vody a vytápění, je přednostně kryta potřeba tepla na přípravu teplé vody z doby provozu tepelného čerpadla. Proto je nutno stanovit v teplotním intervalu  $j$ , zbývající dobu provozu tepelného čerpadla  $\Delta\tau_{k,VYT,j}$ , dostupnou pro režim vytápění podle následujícího vztahu

$$\Delta\tau_{k,VYT,j} = \Delta\tau_j - \Delta\tau_{TC,TV,j} \quad [\text{h}] \quad (4.13)$$

kde je

$\Delta\tau_j$  doba trvání teplotního intervalu [h];

$\Delta\tau_{TC,VYT,j}$  doba provozu tepelného čerpadla v teplotním intervalu [h].

Dostupné teplo z tepelného čerpadla pro krytí potřeby tepla na vytápění za dobu trvání teplotního intervalu  $j$  se určí podle následujícího vztahu

$$Q_{k,VYT,j} = \Phi_{k,VYT,j} \cdot \Delta\tau_{k,VYT,j} \quad [\text{kWh}] \quad (4.14)$$

kde je

$\Phi_{k,VYT,j}$  výkon tepelného čerpadla v podmínkách teplotního intervalu [kW];

$\Delta\tau_{k,VYT,j}$  zbývající doba provozu tepelného čerpadla v teplotním intervalu v režimu vytápění [h].

Teplo, které dodá tepelné čerpadlo pro krytí potřeby tepla na vytápění, se určí podle vztahu

$$Q_{TC,VYT,j} = \min(Q_{k,VYT,j}; Q_{p,VYT,j}) \quad [\text{kWh}] \quad (4.15)$$

kde je

$Q_{k,VYT,j}$  dostupné teplo v teplotním intervalu [kWh];

$Q_{p,VYT,j}$  potřeba tepla v teplotním intervalu [kWh].

Doba provozu tepelného čerpadla v teplotním intervalu  $j$ , pro krytí potřeby tepla na vytápění se určí podle následujícího vztahu

$$\Delta\tau_{TC,VYT,j} = \frac{Q_{TC,VYT,j}}{\Phi_{k,VYT,j}} \quad [\text{h}] \quad (4.16)$$

kde je

$Q_{TC,VYT,j}$  teplo dodané tepelným čerpadlem v teplotním intervalu [kWh];

$\Phi_{k,VYT,j}$  výkon tepelného čerpadla v teplotním intervalu [kW].

Potřeba elektrické energie na pohon tepelného čerpadla v režimu vytápění v teplotním intervalu  $j$ , se určí podle vztahu

$$E_{TC,VYT,j} = \frac{Q_{TC,VYT,j}}{COP_{VYT,j}} \quad [\text{kWh}] \quad (4.17)$$

kde je

$Q_{TC,VYT,j}$  teplo dodané tepelným čerpadlem v teplotním intervalu [kWh];

$COP_{VYT,j}$  topný faktor tepelného čerpadla v intervalu [-].

Potřeba pomocné elektrické energie soustavy s tepelným čerpadlem v režimu vytápění se určí podle následujícího vztahu,

$$E_{aux,VYT,j} = P_{aux,VYT} \cdot \Delta\tau_{TC,VYT,j} \quad [\text{kWh}] \quad (4.18)$$

$P_{aux,VYT}$  elektrický příkon pomocným zařízením v jejich pracovním bodě [kW];

$\Delta\tau_{TC,VYT,j}$  doba provozu tepelného čerpadla v teplotním intervalu [h].

V případě, že je v teplotním intervalu  $j$ , dostupné teplo z tepelného čerpadla v režimu vytápění nižší než potřeba tepla na vytápění, je nutné krýt zbývající potřebu tepla  $Q_{d,VYT,j}$  z doplňkového ohřívače podle vztahu,

$$Q_{d,VYT,j} = Q_{p,VYT,j} - Q_{TC,VYT,j} \quad [\text{kWh}] \quad (4.19)$$

### Celkové výsledky

Výsledkem výpočtu je stanovení hlavních provozních parametrů tepelného čerpadla v režimu přípravy teplé vody a režimu vytápění. Výsledky lze vyhodnotit měsíčně nebo ročně.



Celková dodávka tepla  $Q_{TC}$  tepelným čerpadlem je dána součtem dodaného tepla tepelným čerpadlem v režimu přípravy teplé vody a dodaného tepla tepelným čerpadlem v režimu vytápění.

$$Q_{TC} = \sum_j Q_{TC,TV,j} + \sum_j Q_{TC,VYT,j} \quad [\text{kWh}] \quad (4.20)$$

Potřeba elektrické energie  $E_{TC}$  pro pohon tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody a vytápění, je dána jejich součtem.

$$E_{TC} = \sum_j E_{TC,TV,j} + \sum_j E_{TC,VYT,j} \quad [\text{kWh}] \quad (4.21)$$

Potřeba pomocné elektrické energie  $E_{aux}$  pro provoz tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody a vytápění je dána jejich součtem.

$$E_{aux} = \sum_j E_{aux,TV,j} + \sum_j E_{aux,VYT,j} \quad [\text{kWh}] \quad (4.22)$$

Dodávka tepla  $Q_d$  doplňkovým zdrojem pro režim přípravy teplé vody a režim vytápění je dána jejich součtem

$$Q_d = \sum_j Q_{d,TV,j} + \sum_j Q_{d,VYT,j} \quad [\text{kWh}] \quad (4.23)$$

Celková doba provozu tepelného čerpadla  $\tau_{TC}$  je dána součtem doby provozu tepelného čerpadla v režimu přípravy teplé vody a doby provozu v režimu vytápění je dána vztahem

$$\Delta\tau_{TC} = \sum_j \Delta\tau_{TC,TV,j} + \sum_j \Delta\tau_{TC,VYT,j} \quad [\text{h}] \quad (4.24)$$

Roční pokrytí celkové potřeby tepla na přípravu teplé vody a vytápění teplem dodaným z tepelného čerpadla.

$$f = \frac{Q_{TC,TV} + Q_{TC,VYT}}{Q_{p,TV} + Q_{p,VYT}} = \frac{Q_{TC}}{Q_p} \quad [-] \quad (4.25)$$

Sezónní topný faktor  $SPF_{TC}$ , je podílem dodaného tepla tepelným čerpadlem, ku spotřebované elektrické energii pro pohon tepelného čerpadla.

$$SPF_{TC} = \frac{Q_{TC}}{E_{TC}} \quad [-] \quad (4.26)$$

Celkový sezónní faktor soustavy s tepelnými čerpadly s elektricky poháněnými kompresory je dán vztahem

$$SPF_{sys} = \frac{Q_{TC} + Q_d}{E_{TC} + E_{aux} + E_d} = \frac{Q_{p,TV} + Q_{p,VYT}}{E_{TC} + E_{aux} + E_d} \quad [-] \quad (4.27)$$

$E_d$  potřeba doplňkové energie  $Q_d$  ze záložního zdroje, pokud se jedná o elektrický ohřívač [kWh].

#### 4.4 Metoda bilance fotovoltaiky

Hodnocení je provedeno v hodinovém kroku podle zjednodušené bilanční metody. Tato metoda nepracuje s voltampérovou charakteristikou, ale pro výpočet používá referenční účinnost modulů  $\eta_{ref}$  [%] a instalovaný špičkový výkon  $P_{pk}$  [kW<sub>p</sub>]. Pro další výpočet je potřeba parametry zjistit od výrobce z technických listů, k zohlednění vlivu provozních podmínek na účinnost modulů. Je to teplotní výkonový součinitel, jmenovitá provozní účinnost článku a pokles účinnosti s poklesem slunečního ozáření [19].

Pro variantu 4 a variantu 5 jsou navrženy polykrystalické fotovoltaické panely. Panely jsou umístěny na jižní část šikmé střechy, která má sklon 40 °. Zvoleny jsou panely značky Kyocera, typ KD250GH - 4YB2.



Obr. 4-2 Fotovoltaické panely Kyocera [28]

Technické parametry fotovoltaického panelu Kyocera KD250GH - 4YB2

jmenovitý výkon při 1000 W/m <sup>2</sup>	250 W <sub>p</sub> ;
jmenovitá účinnost 1000 W/m <sup>2</sup>	15,1 %;
snížení účinnosti z 1000 W/m <sup>2</sup> na 200 W/m <sup>2</sup>	6,7 %;

teplotní součinitel výkonu	-4,6 %;
rozměry	1662 x 990 x 46 mm;
hmotnost	12,5 kg;
počet článků v panelu	36 ks;
NOCT	45 °C.

Na jižní straně domu na šikmé střeše jsou umístěny výše zmíněné panely, které produkují elektrickou energii pro krytí potřeby elektrické energie na pohon tepelného čerpadla, uživatelské a pomocné elektrické energie. Pokud je potřeba energie v domě nižší než vyrobí fotovoltaické panely, je možné přebytek dodávat do sítě.

Účinnost FV panelů je závislá na teplotě článků. S rostoucí teplotou se snižuje podle následujícího vztahu

$$\eta_{FV} = \eta_{ref} \cdot (1 + \beta \cdot (t_{FV} - t_{ref})) \quad [\%] \quad (4.28)$$

kde je

$\eta_{FV}$	účinnost FV panelu [%];
$\eta_{ref}$	referenční účinnost při normových zkušebních podmínkách [%];
$t_{FV}$	teplota FV článku [°C];
$t_{ref}$	referenční teplota [°C];
$\beta$	teplotní součinitel výkonu pro daný panel [%/K].

Střední teplota fotovoltaického článku pro každý interval lze určit podle následujícího vztahu

$$t_{FV} = t_e + \frac{\alpha \cdot G_T - \eta_{FV} \cdot G_T / 100}{U} = t_e + \frac{G_T}{800} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{FV} / 100}{\alpha}\right) \cdot (NOCT - 20) \quad [^\circ\text{C}] \quad (4.29)$$

kde je

$t_e$	venkovní teplota v daném intervalu [°C];
$G_T$	sluneční ozáření v daném intervalu [W/m <sup>2</sup> ];
NOCT	jmenovitá provozní teplota článku [°C];
$\eta_{FV}$	účinnost FV modulu [%].

Účinnost  $\eta_{FV}$ , která se zadává do výše uvedeného vztahu, závisí zpětně na teplotě  $t_{FV}$ , která se ze vztahu vypočítá. Použití iterované hodnoty účinnosti  $\eta_{FV}$  a použití referenční účinnosti činí ve výsledku teploty rozdíl desetin K.

Dále je kromě teploty účinnost závislá také na úrovni slunečního ozáření  $G$ , s klesajícím ozářením se snižuje účinnost přibližně logaritmicky podle vztahu

$$\eta_{FV} = \eta_{ref} \cdot \left( 1 + k \cdot \ln \frac{G}{G_{ref}} \right) \quad [\%] \quad (4.30)$$

kde je

- $\eta_{ref}$  referenční účinnost při normových zkušebních podmínkách [%];
- $G$  sluneční ozáření [ $\text{W}/\text{m}^2$ ];
- $G_{ref}$  referenční sluneční ozáření [ $\text{W}/\text{m}^2$ ];
- $k$  součinitel pro daný panel [-].

Od výrobce panelu se získá hodnota relativního snížení účinnosti  $\Delta\eta_G$  z  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$  na  $200 \text{ W}/\text{m}^2$ , uvádí se záporná. Následně je pak možné vypočítat součinitel pro daný modul  $l$  podle následujícího vztahu

$$l = \frac{\eta_{FV} - \eta_{ref}}{\eta_{ref}} \cdot \frac{1}{\ln \frac{G}{G_{ref}}} = \frac{\Delta\eta_G}{\ln \frac{G}{G_{ref}}} \quad [-] \quad (4.31)$$

kde je

- $\Delta\eta_G$  relativní snížení účinnosti z  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$  na  $200 \text{ W}/\text{m}^2$  [%];
- $G$  sluneční ozáření [ $\text{W}/\text{m}^2$ ];
- $G_{ref}$  referenční sluneční ozáření [ $\text{W}/\text{m}^2$ ];

Celková účinnost modulu je v hodnocení vypočtena pro hodinový interval, na základě klimatických podmínek, upravených předchozích vztahů a údajů od výrobce. Vztah pro celkovou účinnost je

$$\eta_{FV} = \eta_{ref} \cdot \left( 1 + \beta \cdot \left( t_e + \left( 1 - \frac{\eta_{ref}/100}{0,95} \right) \frac{G_j}{800} (NOCT - 20) - 25 \right) \right) \cdot \left( 1 + l \ln \frac{G_j}{1000} \right) \quad [\%] \quad (4.32)$$

kde je

- $\eta_{ref}$  referenční účinnost při normových zkušebních podmínkách [%];
- $\beta$  teplotní součinitel výkonu pro daný modul [%/K];

$t_e$	teplota venkovního vzduchu v daném intervalu [°C];
$G_j$	sluneční ozáření v daném intervalu [W/m <sup>2</sup> ];
$NOCT$	jmenovitá provozní teplota článku [°C];
$l$	součinitel pro daný modul [-].

Hodinovou produkci elektrické energie FV systémem lze stanovit na základě klimatických podmínek a předpokládaných elektrických ztrát z hodinové účinnosti FV modulu podle následujícího vztahu,

$$E_{FV,sys} = 0,9 \cdot \frac{\eta_{FV}}{100} \cdot \frac{G_j}{1000} \cdot A_{FV} \cdot (1-p) \cdot \Delta\tau_j = 0,9 \cdot \frac{P_{pk}}{G_{ref}} \cdot \frac{G_j}{1000} \cdot \frac{\eta_{FV}}{\eta_{ref}} \cdot (1-p) \cdot \Delta\tau_j \quad [\text{kWh}] \quad (4.33)$$

kde je

$G_j$	sluneční ozáření v daném intervalu [W/m <sup>2</sup> ];
$A_{FV}$	plocha instalovaných FV panelů [m <sup>2</sup> ]
$P_{pk}$	špičkový výkon instalovaných panelů [kW];
$\eta_{ref}$	referenční účinnost při normových zkušebních podmínkách [%];
$\eta_{FV}$	celková účinnost v daném intervalu [%];
$G_{ref}$	referenční ozáření = 1 kW/m <sup>2</sup> ;
$p$	srážka vlivem elektrických ztrát systému [%];
$\Delta\tau_j$	doba trvání intervalu = 1 hod.

Elektrické ztráty rozvodu v objektu jsou zjednodušeně uvažovány, ztráty na DC vedení 2 %, ztráty na měniči 5 %, ztráty na AC vedení 1 %. Optické ztráty vlivem nekolmého dopadu slunečního záření na fotovoltaické panely jsou zjednodušeně zohledněny v rovnici konstantou 0,9.

Z celkové produkce elektrické energie lze určit kolik energie se spotřebuje na potřeby domu, a kolik je exportováno do sítě, podle následujících vztahů,

$$E_{dum} = E_{TC} + E_u + E_{auc} \quad [\text{kWh}] \quad (4.34)$$

kde je

$E_{dum}$	elektrická energie potřebná k pokrytí uživatelské energie a na pokrytí provozu tepelného čerpadla [kWh];
$E_{TC}$	elektrická energie potřebná na pohon tepelného čerpadla [kWh];

$E_u$  potřeba uživatelské elektrické energie [kWh].

$E_{aux}$  pomocná energie [kWh]

Elektrická energie dodaná do domu se určí podle následujícího vztahu

$$E_{FV,dod,d\ddot{u}m} = \min ( E_{FV,sys} ; E_{d\ddot{u}m} ) \quad [\text{kWh}] \quad (4.35)$$

kde je

$E_{FV,sys}$  elektrická energie produkovaná fotovoltaickým systémem [kWh];

$E_{d\ddot{u}m}$  elektrická energie potřebná k pokrytí elektrické uživatelské energie, na pokrytí provozu tepelného čerpadla, pomocné energie [kWh].

Elektrická energie exportovaná z domu se určí podle vztahu,

$$E_{FV,exp,s\ddot{u}t} = E_{FV,sys} - E_{FV,dod,dum} \quad [\text{kWh}] \quad (4.36)$$

kde je

$E_{FV,sys}$  elektrická energie produkovaná fotovoltaickým systémem [kWh];

$E_{FV,dod,d\ddot{u}m}$  elektrická energie dodaná do domu [kWh].

Elektrická energie dodaná ze sítě pro krytí potřeb domu se určí podle vztahu

$$E_{dod,s\ddot{u}t} = E_{dum} - E_{FV,dod,dum} \quad [\text{kWh}] \quad (4.37)$$

kde je

$E_{d\ddot{u}m}$  elektrická energie potřebná k pokrytí uživatelské elektrické energie, na pokrytí provozu tepelného čerpadla, pomocné energie [kWh];

$E_{FV,dod,d\ddot{u}m}$  elektrická energie dodaná do domu [kWh].

## 4.5 Výsledky výpočtu

### 4.5.1 Varianta 1 - bez zateplení, plynový kondenzační kotel

Ve variantě 1 je rodinný dům zhodnocen ve stávajícím stavu. Zdroj tepla je plynový kondenzační kotel, který zajišťuje krytí potřeby tepla na vytápění a na přípravu teplé vody. Pro osvětlení a zajištění chodu dalších spotřebičů v domě je využívána elektrická energie. Bilance neobnovitelné primární energie podle ČSN 73 0540-2 je provedena podle úrovně A, kde se do bilance zahrnuje potřeba tepla na vytápění, potřeba tepla na přípravu teplé vody, pomocná elektrická energie na provoz energetického systému budovy, elektrická energie na umělé osvětlení a elektrické spotřebiče. Uživatelská elektrická energie se uvažuje jednotně 2758 kWh/rok podle [16]. Pomocná elektrická energie se uvažuje 40 kWh/rok na základě [20]. Měrná roční bilance potřeby a produkce neobnovitelné primární energie se rovná rozdílu dodané primární energie do budovy a vyprodukované primární energie budovou. Podlahová plocha se uvažuje celková vnitřní 172 m<sup>2</sup>.

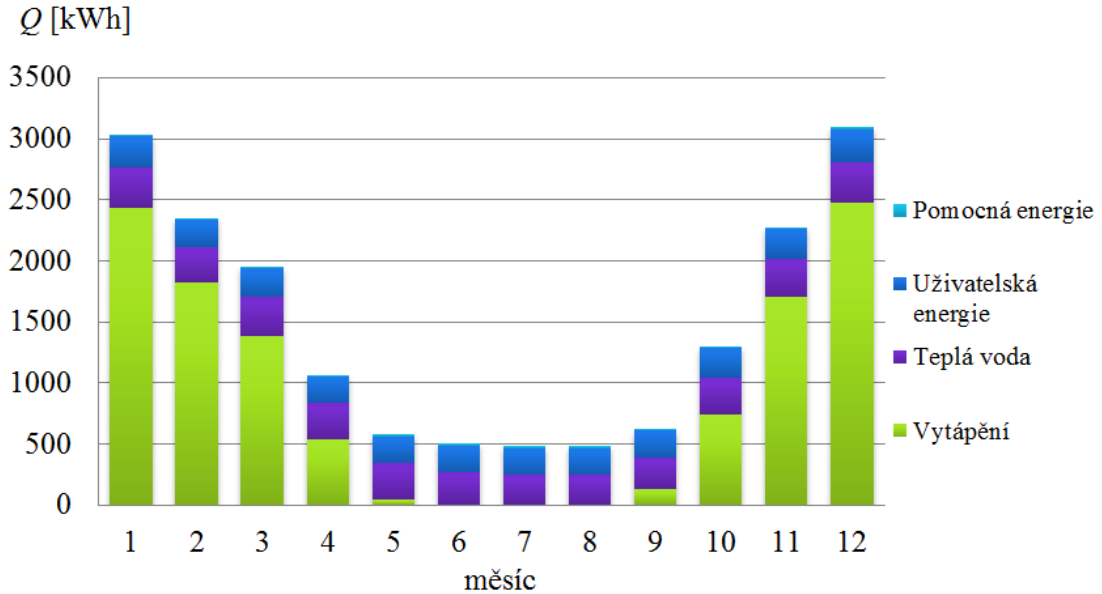
Tab. 4-3 Bilance neobnovitelné primární energie podle úrovně A, ve variantě 1

	Roční potřeba energie $Q_{dum}$ [kWh/rok]	Roční dodaná/vydaná energie $Q$ [kWh/rok]	Energonositel	Faktor energetické přeměny $f$ [-]	Dodaná primární/vydaná energie $PE$ [kWh/rok]	Měrná roční bilance potřeby a produkce neobnovitelné primární energie $PE_A$ [kWh/m <sup>2</sup> .rok]
Vytápění	11291	13807	ZP	1,1	15187	88
Teplá voda	3515	3740	ZP	1,1	4114	24
Uživatelská energie	2758	2758	EL	3,0	8274	48
Pomocná energie	40	40	EL	3,0	120	1
Fotovoltaika	-	-	-	-	-	-
$\Sigma$						161

Roční dodaná energie  $Q$  na vytápění má vyšší hodnotu po zohlednění účinnosti zdroje tepla  $\eta_z = 0,94$  tepla a o účinnost distribuce energie na vytápění  $\eta_{dis} = 0,87$  podle TNI 73 0331 [21].

### Závěr varianta 1

V první variantě je dům zhodnocen bez úprav ve stávajícím stavu, průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em} = 0,40 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , měrná potřeba tepla na vytápění  $E_A = 65 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$  a měrná roční bilance neobnovitelné primární energie  $PE_A = 161 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ . Ani jedno z kritérií nesplňuje požadavky na téměř nulový dům. V grafu 4-1 je uvedena dodaná energie pro jednotlivé systémy - vytápění, teplou vodu, uživatelskou energii a pomocnou energii.



Graf 4-1 Energie dodaná do domu ve variantě 1



#### 4.5.2 Varianta 2 - bez zateplení, tepelné čerpadlo

Ve variantě 2 je navržena změna zdroje tepla, na tepelné čerpadlo, které pokryje potřebu tepla na vytápění a na přípravu teplé vody. Dále je navržen systém nuceného větrání s rekuperací o účinnosti 75 %. Tím se značně zmenší tepelná ztráta větráním a potřeba tepla na vytápění. Dodatečné zateplení uvažováno není, ale je navržena změna oken, z oken s izolačním dvojsklem na okna s izolačním trojsklem. Pro osvětlení a další spotřebiče v domě je stejně jako ve variantě 1 využívána elektrická energie. Celková tepelná ztráta domu je 3,5 kW pro venkovní teplotu -12 °C. Celková roční potřeba tepla na vytápění je 5465 kWh/rok, celková roční potřeba tepla na přípravu teplé vody pro 4 osoby je 3515 kWh/rok.

Bilance tepelného čerpadla je provedena v hodinovém kroku podle TNI 73 0351, výpočtový postup je podrobně popsán v kapitole 4. 3. V následující tabulce jsou shrnuty výsledky hodnocení.

Tab. 4-4 Bilance tepelného čerpadla ve variantě 2

	Dodávka tepla TČ režim v <sub>YT</sub> [kWh]	Dodávka tepla TČ režim t <sub>V</sub> [kWh]	Celková dodávka tepla TČ režim t <sub>V+v<sub>YT</sub></sub> Q <sub>TČ</sub> [kWh]	Celková potřeba el. Energie pro pohon TČ režim t <sub>V+v<sub>YT</sub></sub> E <sub>TČ</sub> [kWh]	Celková potřeba pomocné el. Energie pro provoz TČ režim t <sub>V+v<sub>YT</sub></sub> E <sub>aux</sub> [kWh]	Celková doba provozu TČ režim t <sub>V+v<sub>YT</sub></sub> τ <sub>TČ</sub> [h]	Celková dodávka tepla doplňkovým tepelným zdrojem Q <sub>d</sub> [kWh]
Leden	1335	323	1658	595	3,4	299	0
Únor	920	291	1212	428	2,6	218	0
Březen	562	323	885	292	2,1	155	0
Duben	109	298	407	145	1,2	71	0
Květen	2	293	295	113	1,0	52	0
Červen	-	277	277	105	1,0	48	0
Červenec	-	249	249	94	0,9	43	0
Srpen	-	249	249	95	0,9	43	0
Září	10	263	273	103	0,9	48	0
Říjen	233	301	534	175	1,4	92	0
Listopad	894	312	1206	382	2,5	209	0
Prosinec	1399	337	1736	593	3,5	309	0
Roční	5465	3515	8980	3121	21	1586	0

V tabulce je uvedena celková dodávka tepla tepelným čerpadlem, pro režim vytápění i pro režim teplé vody, samotná dodávka tepla na vytápění je 5465 kWh/rok, dodávka tepla pro přípravu teplé vody se nemění a je 3515 kWh/rok. Celková roční potřeba

elektrické energie pro pohon tepelného čerpadla je 3121 kWh/rok a roční potřeba pomocné elektrické energie pro pohon tepelného čerpadla je 21 kWh/rok. Doba provozu tepelného čerpadla za rok je 1586 hodin.

Bilance neobnovitelné primární energie podle ČSN 73 0540-2 je provedena podle úrovně A, popsanou ve variantě 1. Pomocná elektrická energie se uvažuje 180 kWh/rok na základě [20]. Uživatelská elektrická energie se uvažuje jednotně 2758 kWh/rok podle [16]. Potřebu tepla na vytápění a přípravu teplé vody kryje tepelné čerpadlo, které je zbilancováno v hodinovém kroku podle [18], do výpočtu se zahrne roční potřeba elektrické energie na pohon v režimu teplé vody a režimu vytápění, dále pomocná elektrická energie v obou režimech.

Tab. 4-5 Bilance neobnovitelné primární energie podle úrovně A, ve variantě 2

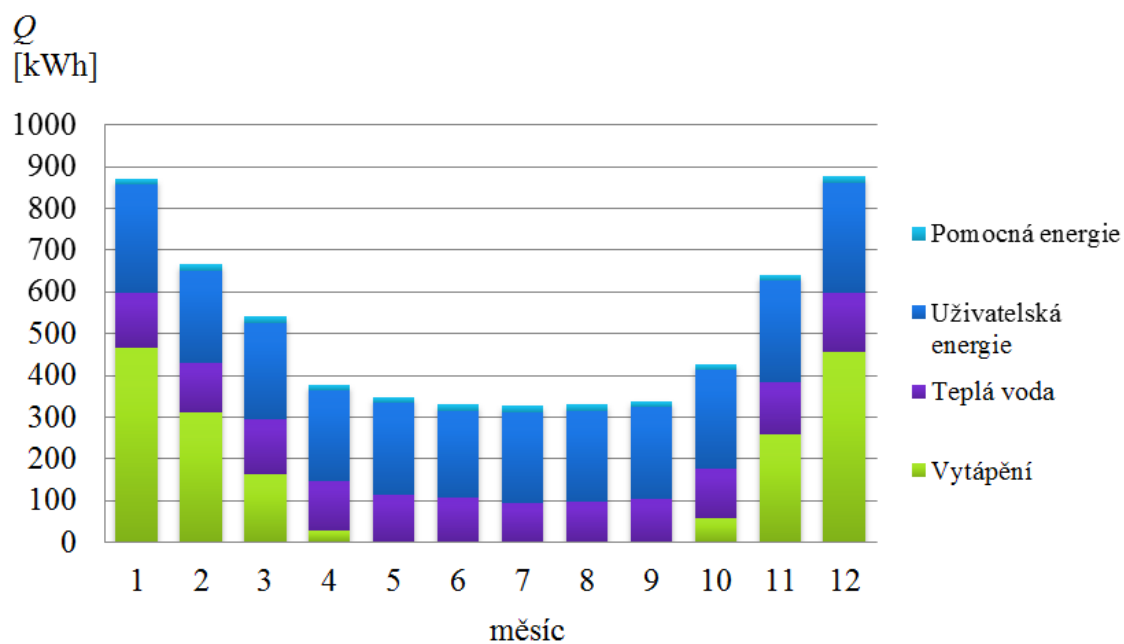
	Roční potřeba energie $Q_{dum}$ [kWh/rok]	Roční dodaná/vydaná energie $Q_{EV}$ [kWh/rok]	Ergonositel	Faktor energetické přeměny $f$ [-]	Dodaná primární/vydaná energie $PE$ [kWh/rok]	Měrná roční bilance potřeby a produkce primární energie $PE_A$ [kWh/m <sup>2</sup> .rok]
Vytápění	5465	1741	EL	3,0	5223	30
Teplá voda	3515	1401	EL	3,0	4203	24
Uživatelská energie	2758	2758	EL	3,0	8274	48
Pomocná energie	180	180	EL	3,0	540	3
Fotovoltaika	-	-	-	-	-	-
$\Sigma$						106

### Závěr varianta 2

Ve variantě 2 byl zhodnocen dům, kde bylo navrženo tepelné čerpadlo jako zdroj tepla. Průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em} = 0,35 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , měrná potřeba tepla na vytápění  $E_A = 32 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$ . Měrná roční bilance neobnovitelné primární energie  $PE_A = 106 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$ . V této variantě není splněno žádné kritérium pro dům blízky nulovému, proto nelze označit dům jako dům blízky nulovému.

V následujícím grafu 4-2 je zobrazena dodaná energie do domu pro zajištění chodu jednotlivých systémů domu, na vytápění, teplou vodu, uživatelskou energii

a pomocnou energii. Vydanou energii dům nemá, jelikož v této variantě nejsou navrženy fotovoltaické panely, které produkují elektrickou energii, kterou je možné v případě přebytku dodávat do sítě.



Graf 4-2 Energie dodaná do domu ve variantě 2

### 4.5.3 Varianta 3 - se zateplením, tepelné čerpadlo

V této variantě je jako zdroj tepla uvažováno také tepelné čerpadlo na pokrytí potřeby tepla na vytápění a potřeby tepla na přípravu teplé vody. Větrání je navrženo nucené větrání s rekuperací o účinnosti 75 %. Pro osvětlení a zajištění chodu dalších spotřebičů v domě je využívána elektrická energie.

Dodatečné zateplení je navrženo tak, aby součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí vyhovoval doporučeným hodnotám pro pasivní domy podle ČSN 73 0540-2.

Tab. 4-6 Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla

Typ konstrukce	$U$ [W/m <sup>2</sup> K] varianta 1	$U$ [W/m <sup>2</sup> K] pasivní dům
plné části obvodových konstrukcí	0,21	0,13
příčka 115 mm - stěna vnitřní s rozdílem teplot do 5 °C	1,92	1,7
příčka 115 mm zateplená - stěna vnitřní s rozdílem teplot do 5 °C	0,38	0,38
příčka 240 mm - stěna vnitřní s rozdílem teplot do 5 °C	1,24	1,24
příčka 300 mm - stěna vnitřní s rozdílem teplot do 5 °C	1,06	1,06
střecha plochá	0,18	0,11
střecha šikmá se sklonem do 45°	0,22	0,12
strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C, WC	0,39	0,39
strop nad nevytápěným prostorem - z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,39	0,22
strop půda - z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,33	0,25
podlaha na terénu zádveří, WC,	0,31	0,18
podlaha na terénu pokoj+kk	0,29	0,17
okno	1,20	0,80
dveře	1,20	1,20

Díky dodatečnému zateplení v kombinaci s nuceným větráním s rekuperací dojde k výraznému poklesu tepelných ztrát domu, a to na 2,6 kW. V návaznosti na nižší tepelné ztráty dojde i k poklesu potřeby tepla na vytápění na hodnotu 3159 kWh/rok. Tato potřeba je tak nižší než potřeba tepla na přípravu teplé vody, která zůstává stejná jako ve výchozí variantě 1.

Bilance tepelného čerpadla je vypočítána v hodinovém kroku podle TNI 73 0351 postup je podrobně popsán v kapitole 4.3. V následující tabulce jsou shrnuty výsledky hodnocení.

Tab. 4-7 Bilance tepelného čerpadla ve variantě 3

	Dodávka tepla TČ režim VYT [kWh]	Dodávka tepla TČ režim TV [kWh]	Celková dodávka tepla TČ režim TV+VYT $Q_{TC}$ [kWh]	Celková potřeba el. Energie pro pohon TČ režim TV+VYT $E_{TC}$ [kWh]	Celková potřeba pomocné el. Energie pro provoz TČ režim TV+VYT $E_{aux}$ [kWh]	Celková doba provozu TČ režim TV+VYT $\tau_{TC}$ [h]	Celková dodávka tepla doplňkovým tepelným zdrojem $Q_d$ [kWh]
Leden	852	323	1175	428	2,6	213	0
Únor	528	291	820	296	1,9	148	0
Březen	230	323	553	196	1,5	98	0
Duben	17	298	315	122	1,1	56	0
Květen	0	293	293	113	1,0	51	0
Červen	-	277	277	105	1,0	48	0
Červenec	-	249	249	94	0,9	43	0
Srpen	-	249	249	95	0,9	43	0
Září	1	263	263	101	0,9	46	0
Říjen	64	301	365	134	1,2	64	0
Listopad	538	312	850	280	2,0	149	0
Prosinec	928	337	1265	439	2,7	226	0
Roční	3159	3515	6674	2404	18	1184	0

V tabulce je uvedena celková roční dodávka tepla na vytápění 3159 kWh/rok, dodávka tepla pro přípravu teplé vody se nemění a je 3515 kWh/rok. Roční potřeba elektrické energie pro pohon tepelného čerpadla je 2404 kWh/rok a roční potřeba pomocné elektrické energie pro pohon tepelného čerpadla je 18 kWh/rok. Doba provozu tepelného čerpadla za rok je 1184 hodin.

Bilance neobnovitelné primární energie podle ČSN 73 0540 - 2 je provedena dle stejného postupu a výchozích podkladů jako je popsáno ve variantě 1.

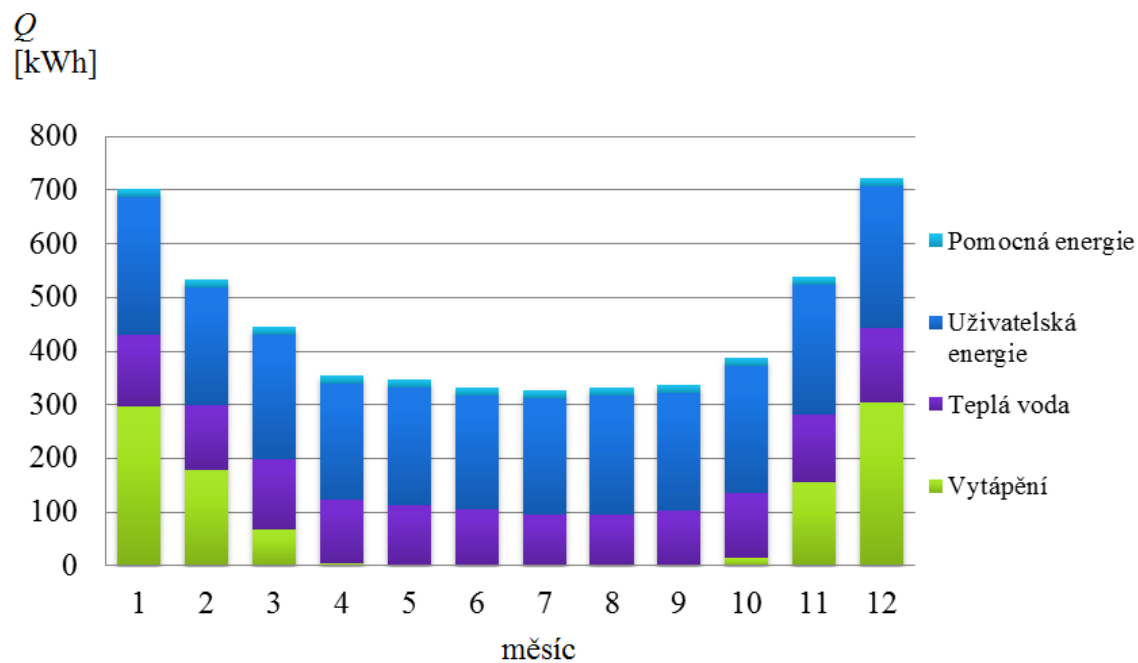
Tab. 4-8 Bilance neobnovitelné primární energie podle úrovně A, ve variantě 3

	Roční potřeba energie $Q_{dum}$ [kWh/rok]	Roční dodaná/vydaná energie $Q$ [kWh/rok]	Energonositel	Faktor energetické přeměny $f$ [-]	Dodaná primární/vydaná energie $PE$ [kWh/rok]	Měrná roční bilance potřeby a produkce neobnovitelné primární energie $PE_A$ [kWh/m <sup>2</sup> .rok]
Vytápění	3159	1020	EL	3,0	3061	18
Teplá voda	3515	1401	EL	3,0	4203	24
Uživatelská energie	2758	2758	EL	3,0	8274	48
Pomocná energie	180	180	EL	3,0	540	3
Fotovoltaika	-	-	-	-	-	-
$\Sigma$						93

### Závěr varianta 3

Ve variantě 3 je zhodnocen dům s návrhem tepelného čerpadla a dodatečného zateplení. Průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em} = 0,26 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , měrná potřeba tepla na vytápění  $E_A = 18 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ , měrná roční bilance neobnovitelné primární energie  $PE_A = 93 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ . V této variantě je splněno jedno kritérium pro dům blízký nulovému, a to měrná potřeba tepla na vytápění. Ostatní kritéria splněna nejsou, jde především o bilanci neobnovitelné primární energie, která je v této diplomové práci považována za nejdůležitější kritérium, proto nelze označit dům jako dům blízký nulovému.

V následujícím grafu 4-3 je zobrazena dodaná energie do domu pro zajištění chodu jednotlivých systémů domu, na vytápění, teplou vodu, uživatelskou energii a pomocnou energii. Vydanou energii dům nemá, jelikož v této variantě nejsou navrženy fotovoltaické panely, které produkují elektrickou energii, kterou je možné v případě přebytku dodávat do sítě.



Graf 4-3 Energie dodaná do domu ve variantě 3

#### 4.5.4 Varianta 4 - bez zateplení, tepelné čerpadlo, fotovoltaické panely

V této variantě je jako zdroj tepla uvažováno také tepelné čerpadlo na pokrytí potřeby tepla na vytápění a potřeby tepla na přípravu teplé vody. Pro větrání je navrženo nucené větrání s rekuperací o účinnosti 75 %. Pro osvětlení a zajištění chodu dalších spotřebičů v domě je využívána elektrická energie. Dodatečné zateplení uvažováno není stejně jako ve variantě 2. Okna jsou navržena jako izolační trojsklo. Dále je uvažován fotovoltaický systém s panely Kyocera, 6 kusů, špičkový výkon jednoho panelu  $P_{pk} = 0,25 \text{ kWp}$ , všech navržených panelů  $P_{pk} = 1,5 \text{ kWp}$ , celková plocha panelů  $A_{FV} = 9,9 \text{ m}^2$ . Fotovoltaické panely jsou umístěny na jižní části šikmé střechy, která má sklon  $40^\circ$  a plochu  $34 \text{ m}^2$ . Produkce elektrické energie slouží k pokrytí potřeby elektrické energie domu. V případě přebytku je možné dodávat elektrickou energii do sítě.

Tepelná ztráta domu u této varianty je  $3,5 \text{ kW}$ . Potřeba tepla na vytápění je shodná s variantou 2 a to  $5465 \text{ kW/rok}$ . Potřeba tepla na přípravu teplé vody zůstává stejná jako u výchozí varianty 1.

Tab. 4-9 Bilance tepelného čerpadla ve variantě 4

	Dodávka tepla TČ režim vYT [kWh]	Dodávka tepla TČ režim TV [kWh]	celková dodávka tepla TČ režim TV+vYT $Q_{TC}$ [kWh]	Celková potřeba el. Energie pro pohon TČ režim TV+vYT $E_{TC}$ [kWh]	Celková potřeba pomocné el. Energie pro provoz TČ režim TV+vYT $E_{aux}$ [kWh]	Celková doba provozu TČ režim TV+vYT $\tau_{TC}$ [h]	Celková dodávka tepla doplňkovým tepelným zdrojem $Q_d$ [kWh]
Leden	1335	323	1658	595	3,4	299	0
Únor	920	291	1212	428	2,6	218	0
Březen	562	323	885	292	2,1	155	0
Duben	109	298	407	145	1,2	71	0
Květen	2	293	295	113	1,0	52	0
Červen	-	277	277	105	1,0	48	0
Červenec	-	249	249	94	0,9	43	0
Srpen	-	249	249	95	0,9	43	0
Září	10	263	273	103	0,9	48	0
Říjen	233	301	534	175	1,4	92	0
Listopad	894	312	1206	382	2,5	209	0
Prosinec	1399	337	1736	593	3,5	309	0
Roční	5465	3515	8980	3121	21	1586	0



V uvedené tabulce je vypočtena celková roční dodávka tepla na vytápění 5465 kWh/rok, dodávka tepla pro přípravu teplé vody se nemění a je 3515 kWh/rok. Roční potřeba elektrické energie pro pohon tepelného čerpadla je 3121 kWh/rok a roční potřeba pomocné elektrické energie pro pohon tepelného čerpadla je 21 kWh/rok. Doba provozu tepelného čerpadla za rok je 1586 hodin.

Bilance fotovoltaiky je vypočtena v hodinovém kroku podle zjednodušené bilanční metody, která je podrobně popsána v kapitole 4. 4.

Tab. 4-10 Bilance fotovoltaických panelů ve variantě 4

	Celková potřeba el. energie v domě $E_{dum}$ [kWh]	Produkce el. energie FV systémem $E_{FV,sys}$ [kWh]	Elektrická energie dodaná do domu $E_{FV,dum}$ [kWh]	El. energie exportovaná (vydaná) do sítě $E_{FV,exp,sit}$ [kWh]	El. energie dodaná ze sítě $E_{dod,sit}$ [kWh]
Leden	872	42	42	0	830
Únor	666	70	70	0	595
Březen	542	118	113	5	428
Duben	379	148	127	22	252
Květen	348	143	128	15	220
Červen	331	119	115	5	216
Červenec	327	109	105	4	222
Srpen	331	105	102	3	230
Září	339	98	91	6	248
Říjen	428	81	79	2	349
Listopad	641	46	46	0	594
Prosinec	877	30	30	0	847
Roční	6080	1110	1049	61	5031

Celková potřeba elektrické energie v domě je 6080 kWh/rok, zahrnuje se do ní potřeba elektrické energie na pohon tepelného čerpadla v režimu vytápění a přípravy teplé vody, dále potřeba uživatelské a pomocné elektrické energie. Elektrická energie dodaná do domu  $E_{FV,dum} = 1049$  kWh/rok. Produkce elektrické energie fotovoltaickými panely je  $E_{FV,sys} = 1110$  kWh/rok. Exportovaná elektrická energie do sítě  $E_{FV,exp,sit} = 61$  kWh/rok a elektrická energie dodaná ze sítě  $E_{dod,sit} = 5031$  kWh/rok.

Bilance neobnovitelné primární energie podle ČSN 73 0540-2 je provedena stejně jako ve variantě 2, varianty se liší jen tím, že ve variantě 4 je navržen fotovoltaický systém. Do bilance neobnovitelné primární energie je započítána exportovaná elektrická energie do sítě  $E_{FV,exp,sit} = 61$  kWh/rok.

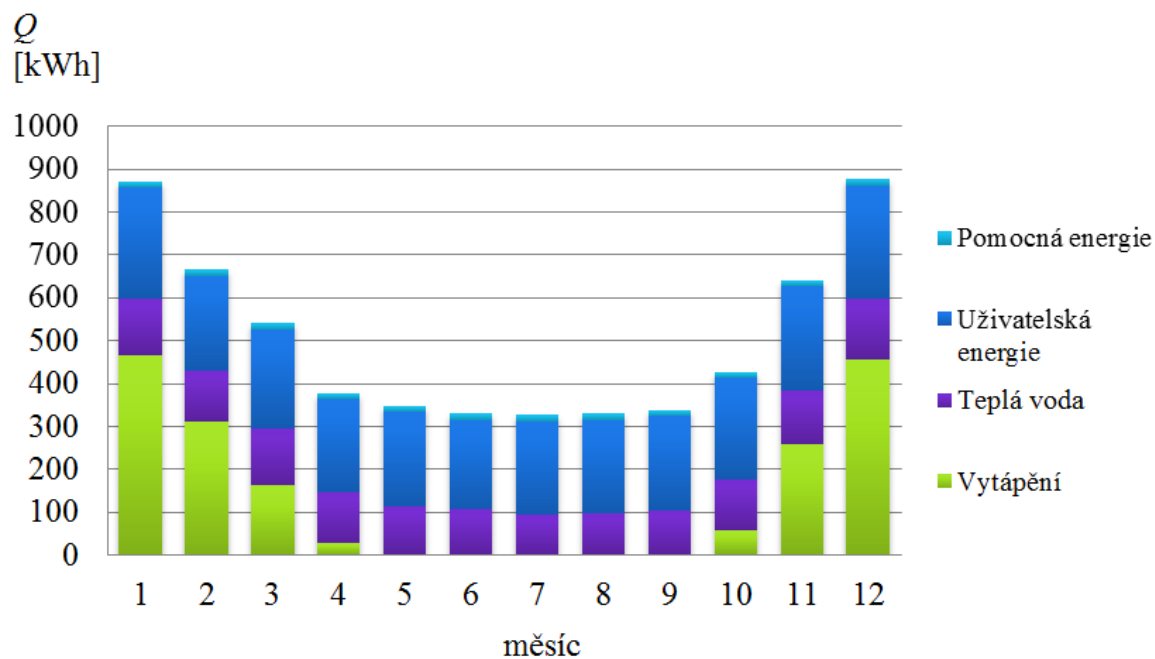
Tab. 4-11 Bilance neobnovitelné primární energie podle úrovně A, ve variantě 4

	Roční potřeba energie $Q_{dum}$ [kWh/rok]	Roční dodaná/vydaná energie $Q$ [kWh/rok]	Energonositel	Faktor energetické přeměny $f$ [-]	Dodaná primární/vydaná energie $PE$ [kWh/rok]	Měrná roční bilance potřeby a produkce neobnovitelné primární energie $PE_A$ [kWh/m <sup>2</sup> .rok]
Vytápění	5465	1741	EL	3,0	5223	30
Teplá voda	3515	1401	EL	3,0	4203	24
Uživatelská energie	2758	2758	EL	3,0	8274	48
Pomocná energie	180	180	EL	3,0	540	3
Fotovoltaika	-	61	EL	-3,0	-184	-1
$\Sigma$						105

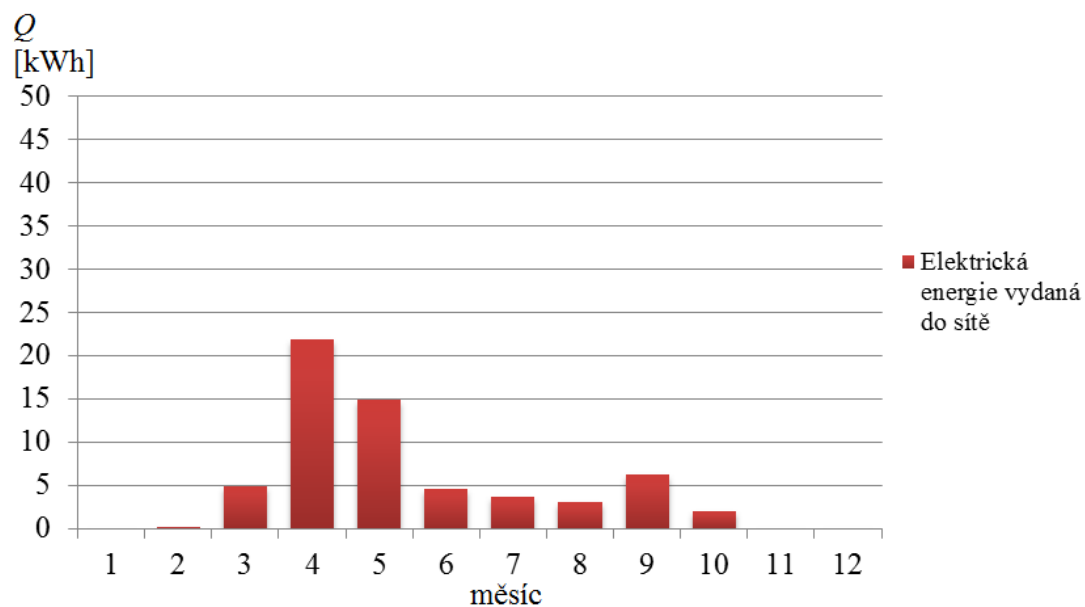
#### Závěr varianta 4

Ve variantě 4 byl zhodnocen dům s návrhem tepelného čerpadla a fotovoltaických panelů. Průměrný součinitel prostupu tepla je  $U_{em} = 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{rok}$ , měrná potřeba tepla na vytápění je  $PE = 32 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ , měrná roční bilance neobnovitelné primární energie je  $PE_A = 105 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ . Není splněno ani jedno kritérium pro téměř nulový dům, proto dům hodnocený v této variantě tak nelze označit.

V následujícím grafu 4-4 je zobrazena dodaná energie do domu pro zajištění chodu jednotlivých systémů domu, na vytápění, teplou vodu, uživatelskou energii a pomocnou energii. V grafu 4-5 je zobrazena vydaná elektrická energie z domu do sítě.



Graf 4-4 Energie dodaná do domu ve variantě 4



Graf 4-5 Energie vydaná z domu do sítě ve variantě 4

#### 4.5.5 Varianta 5 - se zateplením, tepelné čerpadlo, fotovoltaické panely

V této variantě je jako zdroj tepla uvažováno také tepelné čerpadlo na pokrytí potřeby tepla na vytápění a potřeby tepla na přípravu teplé vody. Pro větrání je navrženo nucené větrání s rekuperací o účinnosti 75 %. Pro osvětlení a zajištění chodu dalších spotřebičů v domě je využívána elektrická energie. Dodatečné zateplení je uvažováno, shodně jako u varianty 3. Dále je uvažován fotovoltaický systém s panely Kyocera, počet kusů 12, špičkový výkon jednoho panelu  $P_{pk} = 0,25$  kWp, všech navržených panelů  $P_{pk} = 3$  kWp, celková plocha panelů  $A_{FV} = 19,8$  m<sup>2</sup>. Fotovoltaické panely jsou umístěny stejně jako u varianty 4 na jižní části šikmé střechy, která má sklon 40° a plochu 34 m<sup>2</sup>.

Tepelná ztráta domu u této varianty je 2,6 kW. Potřeba tepla na vytápění je shodná s variantou 3 a to 3159 kW/rok. Potřeba tepla na přípravu teplé vody zůstává stejná jako u všech předchozích variant 3515 kW/rok.

Tab. 4-12 Bilance tepelného čerpadla varianta 5

	Dodávka tepla TČ režim VYT [kWh]	Dodávka tepla TČ režim TV [kWh]	celková dodávka tepla TČ režim TV+VYT $Q_{TC}$ [kWh]	Celková potřeba el. Energie pro pohon TČ režim TV+VYT $E_{TC}$ [kWh]	Celková potřeba pomocné el. Energie pro provoz TČ režim TV+VYT $E_{aux}$ [kWh]	Celková doba provozu TČ režim TV+VYT $\tau_{TC}$ [h]	Celková dodávka tepla doplňkovým tepelným zdrojem $Q_d$ [kWh]
Leden	852	323	1175	428	2,6	213	0
Únor	528	291	820	296	1,9	148	0
Březen	230	323	553	196	1,5	98	0
Duben	17	298	315	122	1,1	56	0
Květen	0	293	293	113	1,0	51	0
Červen	-	277	277	105	1,0	48	0
Červenec	-	249	249	94	0,9	43	0
Srpen	-	249	249	95	0,9	43	0
Září	1	263	263	101	0,9	46	0
Říjen	64	301	365	134	1,2	64	0
Listopad	538	312	850	280	2,0	149	0
Prosinec	928	337	1265	439	2,7	226	0
Roční	3159	3515	6674	2404	18	1184	0

V uvedené tabulce je vypočtena celková roční dodávka tepla na vytápění 3159 kWh/rok, dodávka tepla pro přípravu teplé vody se nemění a je 3515 kWh/rok. Roční potřeba elektrické energie pro pohon tepelného čerpadla je 2404 kWh/rok a roční

potřeba pomocné elektrické energie pro pohon tepelného čerpadla je 18 kWh/rok. Doba provozu tepelného čerpadla za rok je 1184 hodin.

Bilance fotovoltaiky je provedena v hodinovém kroku podle zjednodušené bilanční metody, která je podrobně popsána v kapitole 4. 4.

Tab. 4-13 Bilance fotovoltaických panelů varianta 5

	Celková potřeba el. energie v domě $E_{dum}$ [kWh]	Produkce elektrické energie FV systémem $E_{FV,sys}$ [kWh]	Elektrická energie dodaná do domu $E_{FV,dum}$ [kWh]	El. energie exportovaná (vydaná) do sítě $E_{FV,exp,sit}$ [kWh]	El. energie dodaná ze sítě $E_{dod,sit}$ [kWh]
Leden	704	84	78	6	626
Únor	534	140	112	28	421
Březen	445	236	142	94	304
Duben	355	297	152	145	203
Květen	348	286	165	121	183
Červen	331	238	156	82	174
Červenec	327	218	149	68	178
Srpen	331	210	143	66	188
Září	337	195	124	71	212
Říjen	387	162	111	52	276
Listopad	539	93	84	8	454
Prosinec	723	60	60	0	663
Roční	5359	2220	1477	742	3882

Celková potřeba elektrické energie v domě je 5359 kWh/rok, zahrnuje se do ní potřeba elektrické energie na pohon tepelného čerpadla v režimu vytápění a přípravy teplé vody, dále potřeba uživatelské a pomocné elektrické energie. Produkce elektrické energie fotovoltaickými panely je  $E_{FV,sys} = 2220$  kWh/rok. Elektrická energie dodaná do domu  $E_{FV,dum} = 1477$  kWh/rok. Exportovaná elektrická energie do sítě  $E_{FV,exp,sit} = 742$  kWh/rok a elektrická energie dodaná ze sítě  $E_{dod,sit} = 3882$  kWh/rok. Bilance neobnovitelné primární energie podle ČSN 73 0540-2 je provedena stejně jako ve variantě 2, varianty se liší jen tím, že ve variantě 5 je navržen fotovoltaický systém.

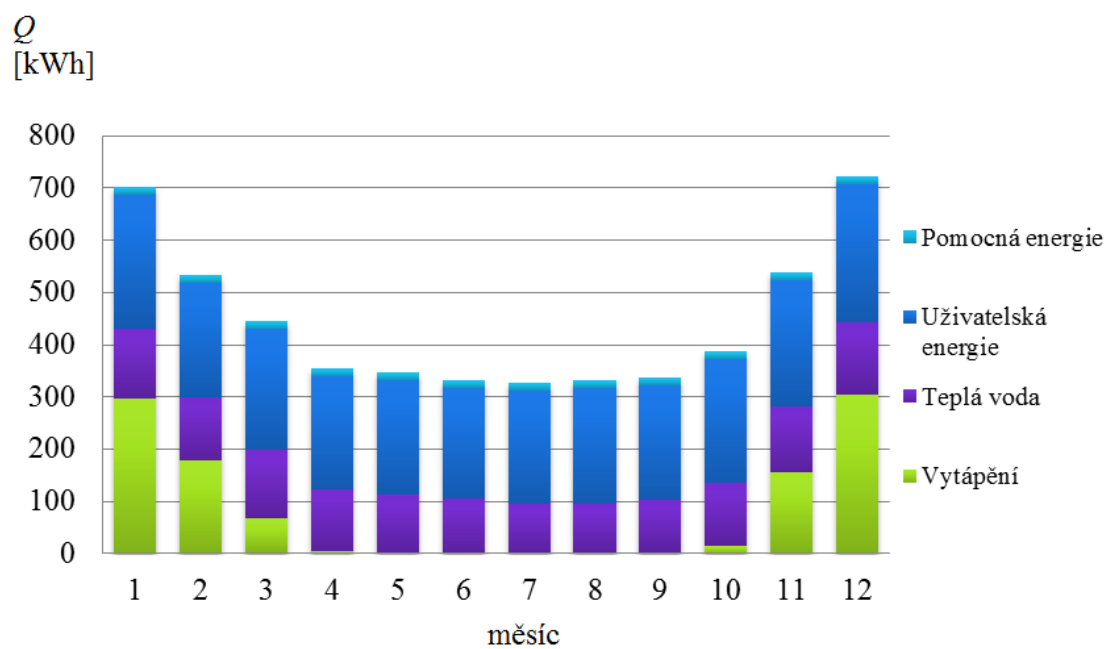
Tab. 4-14 Bilance neobnovitelné primární energie podle úrovně A, ve variantě 5

	Roční potřeba energie $Q_{dum}$ [kWh/rok]	Roční dodaná/vydaná energie $Q$ [kWh/rok]	Energonositel	Faktor energetické přeměny $f$ [-]	Dodaná primární/vydaná energie $PE$ [kWh/rok]	Měrná roční bilance potřeby a produkce neobnovitelné primární energie $PE_A$ [kWh/m <sup>2</sup> .rok]
Vytápění	3159	1020	EL	3,0	3061	18
Teplá voda	3515	1401	EL	3,0	4203	24
Uživatelská energie	2758	2758	EL	3,0	8274	48
Pomocná energie	180	180	EL	3,0	540	3
Fotovoltaika	-	742	EL	-3,0	-2227	-13
$\Sigma$						80

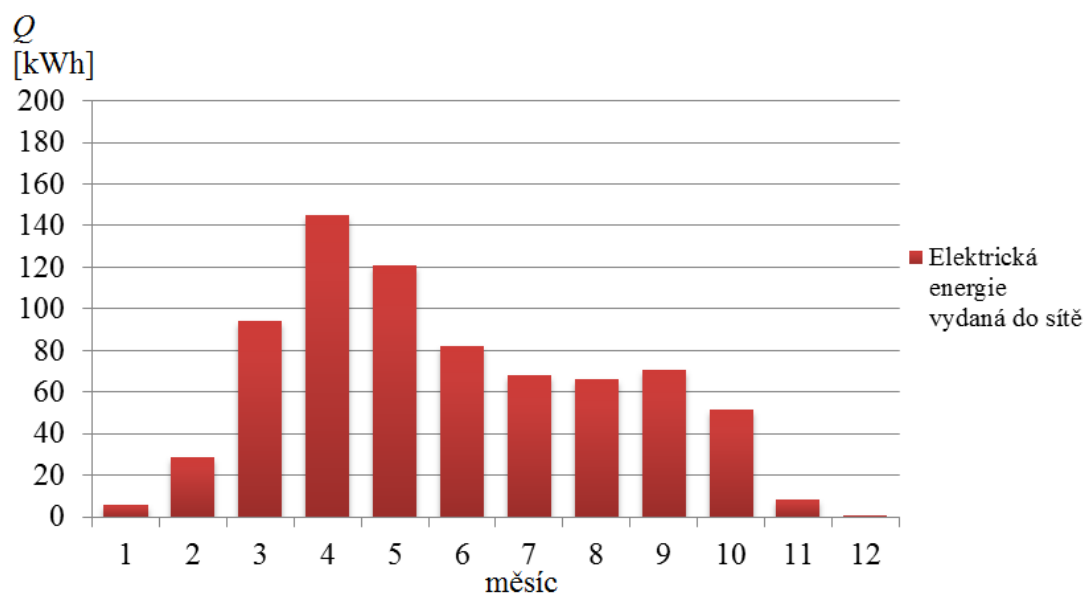
### Závěr varianta 5

Ve variantě 5 byl zhodnocen dům s navrženým tepelným čerpadlem, dodatečným zateplením a fotovoltaickými panely. Průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em} = 0,26 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , měrná potřeba tepla na vytápění  $E_A = 18 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$ , měrná roční bilance neobnovitelné primární energie  $PE_A = 80 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$ . V této variantě není splněno jen jedno kritérium pro dům blízký nulovému, jedná se o průměrný součinitel prostupu tepla. Požadovaná hodnota je  $U_{em} \leq 0,25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , je patrné, že rozdíl je velmi malý. Ostatní kritéria splněna jsou a to především bilance potřeby a produkce neobnovitelné primární energie  $PE_A = 80 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$ . Může se tedy dům v této variantě označit jako blízký nulovému.

V následujícím grafu 4-6 je zobrazena dodaná energie do domu pro zajištění chodu jednotlivých systémů domu, na vytápění, teplou vodu, uživatelskou energii a pomocnou energii. V grafu 4-7 je zobrazena vydaná elektrická energie z domu do sítě.



Graf 4-6 Energie dodaná do domu ve variantě 5



Graf 4-7 Energie vydaná z domu do sítě ve variantě 5

## 5. Závěr

V diplomové práci byl transformován běžný rodinný dům na dům blízky nulovému. V několika variantách byla navržena opatření jako, změna zdroje tepla na tepelné čerpadlo, dodatečná tepelná izolace, tak aby součinitel prostupu tepla konstrukcí vyhovoval doporučeným hodnotám pro pasivní domy, návrh nuceného větrání, změna oken s izolačním dvojsklem na izolační trojsklo.

V jednotlivých variantách byly analyzovány různá opatření pro dosažení energeticky téměř nulového domu. Výchozí zvolený rodinný dům byl zhodnocen ve stávajícím stavu, který se uvažoval jako výchozí varianta pro další úpravy. Jedná se o běžný katalogový rodinný dům, který byl postaven v roce 2013. Dům je napojen na veřejnou elektrickou, plynovou a kanalizační síť. Potřeba tepla na přípravu teplé vody pro 4 osoby je shodná u všech variant 3515 kWh/rok. Uživatelská elektrická energie je 2758 kWh/rok taktéž pro všechny varianty [16].

### Varianta 1

Tato varianta se věnuje zhodnocení ve stávajícím stavu, zdrojem tepla je kondenzační plynový kotel, který kryje potřebu tepla na vytápění a na přípravu teplé vody. Pro umělé osvětlení a zajištění dalších uživatelských potřeb je využito elektrické energie z veřejné sítě. Průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em} = 0,40 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Měrná potřeba tepla na vytápění  $E_A = 65 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$ , měrná roční bilance primární energie je  $PE_A = 161 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$ . Tento dům nesplňuje kritéria pro dům blízky nulovému, proto ho tak nelze označit.

### Varianta 2

V této variantě je navrženo tepelné čerpadlo jako zdroj tepla pro krytí potřeby na vytápění a potřeby teplé vody. Je zbilancováno v hodinovém kroku podle [18]. V porovnání s výchozí variantou 1 je značná úspora tepla na vytápění z 11291 kWh na 5465 kWh. Tento pokles potřeby tepla na vytápění je dán návrhem změny zdroje tepla, nuceného větrání s rekuperací a instalací oken s izolačním trojsklem. Průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em} = 0,35 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Měrná potřeba tepla na vytápění  $E_A = 32 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$ , měrná roční bilance primární energie je  $106 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$ . Z toho vyplývá, že když se do běžného rodinného domu, na který nejsou kladeny zvláštní požadavky na zateplení obálky budovy, instaluje tepelné čerpadlo, dojde k poklesu potřeby tepla na vytápění přibližně na polovinu, roční bilance potřeby a produkce neobnovitelné primární energie  $PE_A$  poklesne ze  $161 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$  ve variantě 1 na



106 kWh/m<sup>2</sup>.rok. Ve variantě 2 není splněno žádné kritérium pro dům blízky nulovému, nelze dům v této variantě označit jako dům blízky nulovému.

#### Varianta 3

Ve variantě 3 je navrženo dodatečné zateplení budovy tak, aby součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí vyhovoval doporučeným hodnotám pro pasivní domy podle [6]. Ostatní parametry jsou stejné jako v předchozí variantě 2, tedy tepelné čerpadlo jako zdroj tepla, nucené větrání s rekuperací, okna s izolačním trojsklem. Vzhledem k dodatečnému zateplení dojde k významnému snížení tepelné ztráty na 2,6 kWh a potřeby tepla na vytápění na 3159 kWh/rok. Je zde patrné, že při takové úrovni zateplení domu, je téměř stejně významným parametrem potřeba tepla na vytápění jako potřeba tepla na přípravu teplé vody 3515 kWh/rok. Průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em} = 0,26 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , měrná potřeba tepla na vytápění  $E_A = 18 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ . Měrná roční bilance neobnovitelné primární energie  $P_{EA} = 93 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ . Je tedy patrné, že i při důsledném zateplení domu na úroveň pasivního standardu, instalaci vzduchotechnické jednotky s rekuperací ve variantě 3 dům splňuje jen jedno kritérium pro dům blízky nulovému a to měrnou potřebu tepla na vytápění. Důležité je, že není splněno kritérium na bilanci neobnovitelné primární energie, které je v této diplomové práci považováno za nejdůležitější, proto nelze označit dům jako blízky nulovému.

#### Varianta 4

V této variantě je navržen fotovoltaický systém s panely Kyocera k částečnému pokrytí potřeb domu. Jako zdroj tepla je tepelné čerpadlo, větrání je nucené s rekuperací, okna s izolačním trojsklem, dodatečné zateplení není uvažováno, potřeba tepla na vytápění je rovna 5465 kWh/rok. Fotovoltaické panely jsou značky Kyocera typ KD250GH - 4YB2 a jsou umístěny na šikmé střeše orientované na jih, 6 kusů. Vyprodukovaná roční energie je  $E_{FV,sys} = 1100 \text{ kWh/rok}$ , z toho je dodaná energie do domu  $E_{FV,dum} = 1049 \text{ kWh/rok}$ . Přebytkovou elektrickou energii je možné exportovat do sítě,  $E_{FV,exp,sit} = 61 \text{ kWh/rok}$ . Průměrný součinitel prostupu tepla je  $0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , měrná potřeba tepla na vytápění je  $32 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ , měrná roční bilance primární energie je  $105 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ . V této variantě není splněno žádné kritérium pro dům blízky nulovému, proto tak hodnocený dům ve variantě 4 nelze označit.

## Varianta 5

V této poslední variantě je také navržen fotovoltaický systém s panely Kyocera jako ve variantě 4. Počet panelů je zvolen dvojnásobný 12 kusů. Zdroj tepla je tepelné čerpadlo, je uvažován systém nuceného větrání s rekuperací, okna s izolačním trojsklem a dodatečné zateplení domu stejně jako ve variantě 3. Tato kombinace vede k nízké tepelné ztrátě 2,6 kWh, potřeba tepla na vytápění je 3159 kWh/rok. Potřeba tepla na přípravu teplé vody se nemění a je shodná s výchozí variantou 1. Roční produkce fotovoltaickými panely je  $E_{FV,sys} = 2220$  kWh/rok, z toho je dodaná energie do domu  $E_{FV,dum} = 1477$  kWh/rok. Přebytkovou elektrickou energii je možné exportovat do sítě,  $E_{FV,exp,sit} = 742$  kWh/rok. Průměrný součinitel prostupu tepla je  $0,26$  W/m<sup>2</sup>.K, měrná potřeba tepla na vytápění je 18 kWh/m<sup>2</sup>.rok, měrná roční bilance neobnovitelné primární energie je 80 kWh/m<sup>2</sup>.rok. V této variantě je splněno kritérium pro bilanci potřeby a produkce neobnovitelné primární energie  $PE_A$  i kritérium pro měrnou potřebu tepla na vytápění  $E_A$ , kritérium pro průměrný součinitel prostupu tepla není splněno jen velmi těsně, požadavek je  $U_{em} \leq 0,25$  W/m<sup>2</sup>.K. V této diplomové práci je kladen důraz především na kritérium pro měrnou roční bilanci neobnovitelné primární energie, které je splněno, proto lze dům označit jako blízký nulovému.

V následující tabulce 4-15 jsou shrnuty jednotlivé varianty.

Tab. 4-15 Shrnutí variant

Shrnutí parametrů	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4	Varianta 5
Zdroj tepla	kondenzační plynový kotel	tepelné čerpadlo	tepelné čerpadlo	tepelné čerpadlo	tepelné čerpadlo
Tepelná ztráta	5,5	3,5	2,6	3,5	2,6
Větrání	přirozené	nucené s rekuperací	nucené s rekuperací	nucené s rekuperací	nucené s rekuperací
Dodatečná izolace	není	není	na úroveň pasivního domu	není	na úroveň pasivního domu
Otopná soustava	teplovodní OS spád 55/40, desková OT	teplovodní OS spád 55/40, desková OT	teplovodní OS spád 55/40, desková OT	teplovodní OS spád 55/40, desková OT	teplovodní OS spád 55/40, desková OT
Roční potřeba tepla na vytápění	11291	5465	3159	5465	3159
Roční potřeba tepla na přípravu teplé vody [kWh]	3515	3515	3515	3515	3515

Roční potřeba uživatelské elektrické energie [kWh]	2758	2758	2758	2758	2758
Roční potřeba pomocné elektrické energie [kWh]	40	180	180	180	180
Průměrný součinitel prostupu tepla [W/m <sup>2</sup> .K]	0,40	0,35	0,26	0,35	0,26
Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/m <sup>2</sup> .rok]	65	32	18	32	18
Měrná roční bilance potřeby a produkce primární energie [kWh/m <sup>2</sup> .rok]	161	106	93	105	80

Z výsledků jednotlivých variant je zřejmé, že se z výchozího hodnoceného domu, dosáhne opatřeními na dům blízky nulovému ve variantě 5.

## 6. Použitá literatura

- [1] HUMM, O. *Nízkoenergetické domy*, Grada Publishing, spol. s r. o., 1999, ISBN 80-7169-657-9.
- [2] TYWONIAK, J. A KOLEKTIV, *Nízkoenergetické domy 2. Principy a příklady*. Grada Publishing, a.s., 2008, ISBN 978-80-247-2061-6.
- [3] TYWONIAK, J. A KOLEKTIV, *Nízkoenergetické domy 3. Nulové, pasivní a další*. Grada Publishing, a.s., 2012, ISBN 978-80-247-3832-1.
- [4] KOLEKTIV AUTORŮ, *Konference alternativní zdroje energie 2014, sborník přednášek z konference*, Společnost pro techniku prostředí Praha, 2014, ISBN 987-80-02-02546-7.
- [5] ČESKÁ RADA PRO ŠETRNÉ BUDOVY, *Certifikace budov*, dostupné z <http://www.czgbc.org/certifikace/co-je-certifikace-budov>, [18.5.2015].
- [6] ČSN 73 0540 - 2, *Tepelná ochrana budov - část 2: Požadavky*, ÚNMZ, říjen 2011.
- [7] TNI 73 0329, *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Rodinné domy*, ÚNMZ, srpen 2010.
- [8] MATUŠKA, T. *Možnost spolupráce solárních soustav a tepelných čerpadel*, Ústav techniky prostředí FS ČVUT, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov UCEEB, Praha, 2014.
- [9] *Tepelná čerpadla*, dostupné z <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/329-ekonomika#ekonomika-pro-rd>, [17.5.2015].
- [10] MATUŠKA, T. *Parametry solárních kolektorů*, dostupné z <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/155-parametry-solarnich-kolektoru>, [17.5.2015].
- [11] MATUŠKA, T. *AZE2 Fotovoltaika - technologie*, Ústav techniky prostředí FS ČVUT, Praha 2015.
- [12] MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L., BARTOŠÍK, T., PAVELKA, T. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*, ČVUT v Praze, 2011, ISBN 978-80-01-04937-2.
- [13] ČSN EN ISO 6946 *Stavební prvky a s tavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda*, ÚNMZ, prosinec 2008.
- [14] ČSN EN 12831 *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*, ÚNMZ, březen 2005.

- [15] ČSN EN ISO 13 790 *Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*, ÚNMZ, listopad 2009.
- [16] STANĚK, K. *Fotovoltaika pro budovy*, Grada Publishing, a.s., 2012, ISBN 978-80-247-4278-6.
- [17] *Energetická náročnost budov*, dostupné z <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/239-energeticka-narocnost-budov-definice-pojmu> [2.6.2015]
- [18] TNI 73 0351, *Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly*, ÚNMZ, 2014.
- [19] MATUŠKA, T. *Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací*, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT Praha.
- [20] MATUŠKA, T. ZAJÍC, M. *Analýza potřeby pomocné elektrické energie v pasivním domě*, dostupné z <http://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/8176-analyza-potreby-pomocne-elektricke-energie-v-pasivnim-dome> [22.5.2015].
- [21] TNI 73 0331, *Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet*, ÚNMZ, duben 2013
- [22] Obr. 2-1 Izolační dvojsko, trojsklo <http://www.jubookna.cz/1770/izolacni-skla/> [1.6.2015].
- [23] Obr. 2-2 *Tvarovka Porotherm 425 T Profi*, dostupné z <http://porotherm-shop.hu/porotherm-44-t-profi-tegla/> [28.5.2015].
- [24] Obr. 2-3 *Tvarovka Unipor Coriso*, dostupné z <http://www.dako-pr.de/service/pressemitteilungen/news-details/article/deutlich-mehr-absatz-bei-unipor.html> [28.5.2015]
- [25] Obr. 2-4 *Monokrystalický, polykrystalický, amorfni článek*, dostupné z <http://www.cne.cz/seniori/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/> [28.5. 2015].
- [26] Obr. 3-4 *Kondenzační plynový kotel Buderus Logamax plus GB172-14*, dostupné z <http://www.buderus.cz/produkty/kotle/nastenne-kondenzacni-kotle/logamax-plus-gb172.html> [28.5.2015].
- [27] Obr. 4-1 *Tepelné čerpadlo Stiebel Eltron typ WPC 5*, dostupné z <http://www.ateg.cz/produkty/tepelna- cerpada/zemevoda/stiebel-eltron/wpc-cool/> [28.5.2015].
- [28] Obr. 4-2 *Fotovoltaické panely Kyocera*, Kyocera technický list k panelu KD250GH - 4YB2 , 2015.

## 7. Seznam tabulek, obrázků, grafů

### Seznam tabulek

Tab. 2-1	Základní vlastnosti pasivního domu podle ČSN 73 0540 - 2 .....	9
Tab. 2-2	Základní požadavky na energeticky nulové domy a domy blízké nulovému.....	10
Tab. 2-3	Součinitel prostupu tepla $U$ - okna podle ČSN 73 0540 - 2 .....	11
Tab. 2-4	Součinitel prostupu tepla $U$ - konstrukce podle ČSN 730540-2 .....	13
Tab. 2-5	Požadavky na energeticky nulové domy a domy blízké nulovému podle ČSN 73 0540-2.....	14
Tab. 3-1	Součinitel prostupu tepla konstrukcí .....	24
Tab. 3-2	Tepelná ztráta prostupem .....	25
Tab. 3-3	Tepelná ztráta větráním .....	26
Tab. 3-4	Celková tepelná ztráta .....	27
Tab. 3-5	Měrná tepelná ztráta prostupem .....	28
Tab. 3-6	Souhrnná tabulka ztráta tepla, tepelné zisky, stupeň využití solárních zisků, potřeba tepla na vytápění .....	31
Tab. 3-7	Souhrnná tabulka potřeba TV, potřeba tepla na přípravu TV .....	32
Tab. 3-8	Koeficienty pro výpočet hodinového kroku .....	35
Tab. 3-9	Koeficienty pro výpočet hodinového roku .....	35
Tab. 3-10	Koeficienty pro výpočet $L''$ .....	35
Tab. 4-1	Přehled variant .....	37
Tab. 4-2	Hodnoty faktoru energetické přeměny .....	38
Tab. 4-3	Bilance neobnovitelné primární energie, úroveň A, ve variantě 1.....	51
Tab. 4-4	Bilance tepelného čerpadla ve variantě 2 .....	53
Tab. 4-5	Bilance neobnovitelné primární energie, úroveň A, ve variantě 2 .....	54
Tab. 4-6	Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla .....	56
Tab. 4-7	Bilance tepelného čerpadla ve variantě 3 .....	57
Tab. 4-8	Bilance neobnovitelné primární energie, úroveň A, ve variantě 3.....	58
Tab. 4-9	Bilance tepelného čerpadla ve variantě 4. ....	60
Tab. 4-10	Bilance fotovoltaických panelů ve variantě 4 .....	61
Tab. 4-11	Bilance neobnovitelné primární energie, úroveň A, ve variantě 4 .....	62
Tab. 4-12	Bilance tepelného čerpadla ve variantě 5 .....	64
Tab. 4-13	Bilance fotovoltaických panelů ve variantě 5 .....	65
Tab. 4-14	Bilance neobnovitelné primární energie, úroveň A, ve variantě 5 .....	66
Tab. 4-15	Shrnutí variant .....	70

### Seznam obrázků

Obr. 2-1	Izolační dvojsko a izolační trojsklo .....	12
Obr. 2-2	Tvarovka Porotherm 425 T Profi .....	12
Obr. 2-3	Tvarovka Unipor Coriso .....	12
Obr. 2-4	Rozměry .....	14
Obr. 2-5	Monokrystalický, polykrystalický, amorfni člunek .....	19
Obr. 3-1	Hodnocení dům .....	21
Obr. 3-2	Přízemí .....	22
Obr. 3-3	První patro .....	22
Obr. 3-4	Kondenzační plynový kotel Buderus .....	27
Obr. 4-1	Tepelné čerpadlo Stiebel Eltron .....	38
Obr. 4-2	Fotovoltaické panely Kyocera .....	46

**Seznam grafů**

Graf 2-1	Křivky účinnosti solárních kolektorů .....	17
Graf 2-2	Voltampérová charakteristika .....	19
Graf 3-1	Měsíční potřeby tepla na vytápění a potřeby tepla na přípravu teplé vody.....	33
Graf 3-2	Denní potřeba tepla na vytápění dne 1. 1.....	34
Graf 3-3	Denní potřeba tepla na přípravu teplé vody dne 1. 1.....	34
Graf 3-4	Měsíční potřeby uživatelské elektrické energie .....	36
Graf 3-5	Denní průběh potřeby uživatelské elektrické energie dne 1. 1.....	36
Graf 4-1	Energie dodaná do domu ve variantě 1.....	52
Graf 4-2	Energie dodaná do domu ve variantě 2 .....	55
Graf 4-3	Energie dodaná do domu ve variantě 3 .....	59
Graf 4-4	Energie dodaná do domu ve variantě 4 .....	63
Graf 4-5	Energie vydaná z domu do sítě ve variantě 4 .....	63
Graf 4-6	Energie dodaná do domu ve variantě 5 .....	67
Graf 4-7	Energie vydaná z domu do sítě ve variantě 5 .....	67

**Seznam příloh**

Příloha 1	Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukcí .....	76
Příloha 2	Výpočet tepelných ztrát prostupem tepla, ČSN EN 1283 .....	78
Příloha 3	Výpočet tepelných ztrát větráním podle ČSN EN 12831 .....	84
Příloha 4	Návrh nuceného větrání .....	84
Příloha 5	Výpočet potřeby tepla na vytápění, ztráta tepla, tepelné zisky .....	85

**Příloha 1 Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukcí**

Materiál vrstvy	šířka [mm]	$\lambda$ [W/m.K]	$R_j$ [m <sup>2</sup> .K/W]	$U$ [W/m <sup>2</sup> .K]
Obvodová nosná stěna				
zdivo porotherm 30 P+D	300	0,23	1,30	
pěnový polystyren	140	0,044	3,18	
$\Sigma$	440		4,66	0,21

Stěna nosná vnitřní 240 mm				
porotherm 24 P+D	240	0,44	0,55	
$\Sigma$	240		0,81	1,24

Stěna nosná vnitřní 300 mm				
porotherm 30 P+D	300	0,44	0,68	
$\Sigma$	330		0,94	1,06

Střecha plochá				
spádové klíny EPS 100 S ve spádu 2%	200	0,039	5,13	
bednění	36	0,18	0,20	
SDK deska Knauf	12,5	0,22	0,06	
$\Sigma$	39		5,53	0,18

Střecha šikmá				
minerální tepelná izolace 2 vrstvy 140+60mm	200	0,046	4,35	
SDK deska Knauf	12,5	0,22	0,06	
$\Sigma$	322,5		4,54	0,19

Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru				
betonová mazanina	60	1,2	0,05	
tepelná izolace EPS 100 S	80	0,038	2,11	
ŽB deska	180	1,43	0,13	
$\Sigma$	320		2,54	0,39

Strop obývací pokoj+kk, hala komora, zádveří, WC				
betonová mazanina	60	1,2	0,05	
tepelná izolace EPS 100 S	80	0,038	2,11	
ŽB deska	180	1,43	0,13	
$\Sigma$	320		2,54	0,39

Strop půda (strop vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru)				
2X OSB, křížem kladené	36	0,13	0,28	
minerální izolace	100	0,04	2,50	
$\Sigma$	3136		3,0	0,33



Podlaha na terénu obývací pokoj+kk				
betonová mazanina	60	1,2	0,05	
tepelná izolace EPS 100 S	80	0,038	2,11	
betonová vyztužená deska	180	1,43	0,13	
podkladní beton C12/15	120	1,3	0,09	
$\Sigma$	440		2,37	0,31

## Příloha 2 Výpočet tepelných ztrát prostupem tepla podle ČSN EN 12831

### Přízemí - Zádveří 1.1

Skladba	Délka [m]	Šířka/výška [m]	Plocha celá [m <sup>2</sup> ]	Plocha otvorů [m <sup>2</sup> ]	Plocha bez otvorů [m <sup>2</sup> ]	$U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$\Delta U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$U' = U + U'$ [W/m <sup>2</sup> .K]	Redukční činitel $b_{ij}$ [-]	Redukční činitel $b_u$ [-]	Redukční činitel $b_g$ [-]	Korekční činitel zahrnující vliv podzemní vody $C_{gw}$	$H_{T,te}$ [W/K]	$H_{T,iae}$ [W/K]	$H_{T,ig}$ [W/K]	$H_{T,ij}$ [W/K]	$t_i - t_e$ [°C]	$\sum H_i$ [W/K]	$\Phi_{T,i}$ [W]
Zed' S	3,7	3,1	11,5	5,2	6,2	0,21	0,05	0,26					1,62						
Dveře	1,4	2,4	3,2	3,2		1,20	0,05	1,25					3,97						
Okno 11	1,1	1,9	2,1	2,1		1,20	0,05	1,25					2,59						
Zed' V	2,9	3,1	9,1	3,7	5,4	0,21	0,05	0,26					1,41						
Okno 11	2,0	1,9	3,7	3,7		1,20	0,05	1,25					4,63						
Garáž zed'	2,6	2,6	6,9	1,7	5,2	1,06	0,05	1,11		0,27				1,54					
Dveře garáž	0,8	2,1	1,7	1,7		1,20	0,05	1,25		0,27				0,56					
Zed' k hale	1,0	2,6	2,6	1,7	0,9	1,92	0,05	1,97		-0,07				-0,12					
Dveře k hale	0,8	2,1	1,7	1,7		1,20	0,05	1,25		-0,07				-0,14					
Terén	3,4	2,8	9,5		9,5	0,31	0,05	0,36			0,41	1			1,39				
Strop do 2NP	3,4	2,8	9,5		9,5	0,39			-0,07								-0,25		
Zed' S	3,7	3,1	11,5	5,2	6,2	0,21	0,05	0,26					1,62						
Dveře	1,4	2,4	3,2	3,2		1,20	0,05	1,25					3,97						
	1,1	1,9	2,1	2,1		1,20	0,05	1,25					2,59				30	17	520

**Přízemí - Hala 1.3**

Skladba	Délka [m]	Šířka/výška [m]	Plocha celá [m <sup>2</sup> ]	Plocha otvorů [m <sup>2</sup> ]	Plocha bez otvorů [m <sup>2</sup> ]	$U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$\Delta U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$U' = U+U'$ [W/m <sup>2</sup> .K]	Redukční činitel $b_{ij}$ [-]	Redukční činitel $b_u$ [-]	Redukční činitel $b_g$ [-]	Korekční činitel zahrnující vliv podzemní vody $G_{GW}$	$H_{T,ie}$ [W/K]	$H_{T,iee}$ [W/K]	$H_{T,ig}$ [W/K]	$H_{T,ij}$ [W/K]	$t_i - t_e$ [°C]	$\Sigma Hi$ [W/K]	$\Phi_{T,i}$ [W]
Zed' zádveří	1,0	2,6	2,6	1,7	0,9	1,92	0,05	1,97		0,06				0,11					
Dveře do zádveří	0,8	2,1	1,7	1,7		1,20	0,05	1,25		0,06				0,13					
Zed' garáž	1,0	2,6	2,6	0,0	2,6	1,92	0,05	1,97		0,31				1,60					
Terén	2,5	2,2	5,4	0,0	5,4	0,29	0,05	0,34			0,47	1			0,86				
																	32	3	90

**Přízemí - Pokoj 1.6 + kk**

Skladba	Délka [m]	Šířka/výška [m]	Plocha celá [m <sup>2</sup> ]	Plocha otvorů [m <sup>2</sup> ]	Plocha bez otvorů [m <sup>2</sup> ]	$U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$\Delta U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$U' = U+U'$ [W/m <sup>2</sup> .K]	Redukční činitel $b_{ij}$ [-]	Redukční činitel $b_u$ [-]	Redukční činitel $b_g$ [-]	Korekční činitel zahrnující vliv podzemní vody $G_{GW}$	$H_{T,ie}$ [W/K]	$H_{T,iee}$ [W/K]	$H_{T,ig}$ [W/K]	$H_{T,ij}$ [W/K]	$t_i - t_e$ [°C]	$\Sigma Hi$ [W/K]	$\Phi_{T,i}$ [W]
Zed' V	5,2	3,1	16,1	2,8	13,3	0,21	0,05	0,26					3,45						
Okno 09	1,6	1,8	2,8	2,8		1,20	0,05	1,25					3,50						
Zed' J	3,7	3,1	11,5	4,4	7,0	0,21	0,05	0,26					1,83						
Okno 07	2,5	1,8	4,4	4,4		1,20	0,05	1,25					5,56						
Okno 05	1,5	2,4	3,4	3,4		1,20	0,05	1,25					4,29						
Zed' J	3,8	3,1	11,8	5,1	6,6	0,21	0,05	0,26					1,72						
Okno 03	2,2	2,4	5,1	5,1		1,20	0,05	1,25					6,43						
Terén					39,2	0,29	0,05	0,34			0,47	1			6,24				
Zed' schodiště	2,5	2,6	6,6	0,0	6,6	1,24			0,13							1,03			
	5,2	3,1	16,1	2,8	13,3	0,21	0,05	0,26					3,45				32	34	1090

**První patro - Hala 2.2**

Skladba	Délka [m]	Šířka/výška [m]	Plocha celá [m <sup>2</sup> ]	Plocha otvorů [m <sup>2</sup> ]	Plocha bez otvorů [m <sup>2</sup> ]	$U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$\Delta U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$U' = U+U'$ [W/m <sup>2</sup> .K]	Redukční činitel $b_{ij}$ [-]	Redukční činitel $b_u$ [-]	Redukční činitel $b_g$ [-]	Korekční činitel zahrnující vliv podzemní vody $G_w$	$H_{Tie}$ [W/K]	$H_{T,ie}$ [W/K]	$H_{T,ig}$ [W/K]	$H_{T,ij}$ [W/K]	$t_i - t_e$ [°C]	$\Sigma Hi$ [W/K]	$\Phi_{T,i}$ [W]	
Příčka koupelna	2,2	2,6	5,7	1,5	4,3	1,92			-0,13								-1,02			
Dveře	0,7	2,1	1,5	1,5		1,20	0,05	1,25					1,84							
Střecha šikmá	2,5	2,6	6,4	0,0	6,4	0,18	0,05	0,23					1,48							
																	32	2	70	

**První patro - Pokoj 2.4**

Skladba	Délka [m]	Šířka/výška [m]	Plocha celá [m <sup>2</sup> ]	Plocha otvorů [m <sup>2</sup> ]	Plocha bez otvorů [m <sup>2</sup> ]	$U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$\Delta U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$U' = U+U'$ [W/m <sup>2</sup> .K]	Redukční činitel $b_{ij}$ [-]	Redukční činitel $b_u$ [-]	Redukční činitel $b_g$ [-]	Korekční činitel zahrnující vliv podzemní vody $G_w$	$H_{Tie}$ [W/K]	$H_{T,ie}$ [W/K]	$H_{T,ig}$ [W/K]	$H_{T,ij}$ [W/K]	$t_i - t_e$ [°C]	$\Sigma Hi$ [W/K]	$\Phi_{T,i}$ [W]	
Zed' V	1,6	3,1	5,0	1,7	3,2	0,21	0,05	0,26					0,84							
Okno 17	1,2	1,5	1,7	1,7		1,20	0,05	1,25					2,18							
Zed' J	3,8	3,1	11,8	3,4	8,4	0,21	0,05	0,26					2,18							
Okno 15	2,3	1,5	3,4	3,4		1,20	0,05	1,25					4,24							
Příčka koupelna 1	2,1	2,6	5,4	0,0	5,4	1,92	0,05	1,97	-0,13								-1,31			
Příčka koupelna 2	1,2	2,6	3,0	0,0	3,0	1,92	0,05	1,97	-0,13								-0,73			
Střecha plochá	5,5	3,3	18,1	0,0	18,1	0,22	0,05	0,27					4,90							
																	32	12	390	

**První patro - Pokoj 2.5**

Skladba	Délka [m]	Šířka/výška [m]	Plocha celá [m <sup>2</sup> ]	Plocha otvorů [m <sup>2</sup> ]	Plocha bez otvorů [m <sup>2</sup> ]	$U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$\Delta U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$U' = U + U'$ [W/m <sup>2</sup> .K]	Redukční čísel $b_{ij}$ [-]	Redukční čísel $b_u$ [-]	Redukční čísel $b_g$ [-]	Korekční čísel zahrnující vliv podzemní vody $G_w$	$H_{T_{te}}$ [W/K]	$H_{T_{tue}}$ [W/K]	$H_{T_{ig}}$ [W/K]	$H_{T_{ij}}$ [W/K]	$t_i - t_e$ [°C]	$\Sigma H_i$ [W/K]	$\Phi_{T,i}$ [W]	
Zed' V	5,5	3,1	17,1	1,6	15,6	0,21	0,05	0,26					4,04							
Okno 19	0,9	1,9	1,6	1,6		1,20	0,05	1,25					1,97							
Zed' J	3,7	3,1	11,5	0,0	11,5	0,21	0,05	0,26					2,98							
Okno střešní	1,4	0,8	1,1	1,1		1,20	0,05	1,25					1,37							
Strop půda	3,5	1,5	5,3	0,0	5,3	0,33	0,05	0,38		0,31			0,63							
Střecha šikmá	1,8	3,5	6,3	1,1	5,2	0,18	0,05	0,23					1,20							
Příčka schodiště	2,5	2,6	6,5	0,0	6,5	1,92	0,05	1,97		0,13			1,61							
																	32	14	440	

**První patro - Pokoj 2.6**

Skladba	Délka [m]	Šířka/výška [m]	Plocha celá [m <sup>2</sup> ]	Plocha otvorů [m <sup>2</sup> ]	Plocha bez otvorů [m <sup>2</sup> ]	$U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$\Delta U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$U' = U + U'$ [W/m <sup>2</sup> .K]	Redukční čísel $b_{ij}$ [-]	Redukční čísel $b_u$ [-]	Redukční čísel $b_g$ [-]	Korekční čísel zahrnující vliv podzemní vody $G_w$	$H_{T_{te}}$ [W/K]	$H_{T_{tue}}$ [W/K]	$H_{T_{ig}}$ [W/K]	$H_{T_{ij}}$ [W/K]	$t_i - t_e$ [°C]	$\Sigma H_i$ [W/K]	$\Phi_{T,i}$ [W]	
Zed' S	3,7	3,1	11,5	0,0	11,5	0,21	0,05	0,26					2,98							
Zed' V	3,1	3,1	9,7	0,0	9,7	0,21	0,05	0,26					2,53							
Příčka schodiště	2,0	2,6	5,2	0,0	5,2	1,92	0,05	1,97		0,13			1,29							
Strop půda	3,0	0,8	2,4	0,0	2,4	0,33	0,05	0,38		0,31			0,29							
Střecha šikmá	2,0	3,5	7,0	1,1	5,9	0,18	0,05	0,23					1,36							
Okno střešní	1,4	0,8	1,1	1,1		1,20	0,05	1,25					1,37							
Podlaha 1NP	3,5	2,6	9,3	0,0	9,3	0,39			0,06							0,23				
																	32	10	320	

**První patro - Pokoj 2.7**

Skladba	Délka [m]	Šířka/výška [m]	Plocha celá [m <sup>2</sup> ]	Plocha otvorů [m <sup>2</sup> ]	Plocha bez otvorů [m <sup>2</sup> ]	$U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$\Delta U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$U' = U+U'$ [W/m <sup>2</sup> .K]	Redukční čísel $b_{ij}$ [-]	Redukční čísel $b_u$ [-]	Redukční čísel $b_g$ [-]	Korekční čísel zahrnující vliv podzemní vody $G_w$	$H_{Tie}$ [W/K]	$H_{T,iae}$ [W/K]	$H_{T,ig}$ [W/K]	$H_{T,ij}$ [W/K]	$t_i - t_e$ [°C]	$\sum Hi$ [W/K]	$\Phi_{T,i}$ [W]
Zed' S	3,8	3,1	11,8	3,4	8,4	0,21	0,05	0,26					2,18						
Okno 16	2,3	1,5		3,4		1,20	0,05	1,25					4,24						
Zed' V	3,2	3,1	9,8	2,0	7,7	0,21	0,05	0,26					2,01						
Okno 22	1,4	1,5		2,0		1,20	0,05	1,25					2,55						
Příčka koupelna	2,1	2,6	5,4	0,0	5,4	1,92			-0,13							-1,31			
Střecha plochá	5,8	3,1	17,9	0,0	17,9	0,22	0,05	0,27					4,84						
Podlaha garáž (nevytápěná)	5,8	3,1	17,9	0,0	17,9	0,39	0,05	0,44		0,31				2,47					
																	32	17	540

**Hygienické místnosti****Prizemí - WC 1.4**

Skladba	Délka [m]	Šířka/výška [m]	Plocha celá [m <sup>2</sup> ]	Plocha otvorů [m <sup>2</sup> ]	Plocha bez otvorů [m <sup>2</sup> ]	$U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$\Delta U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$U' = U+U'$ [W/m <sup>2</sup> .K]	Redukční čísel $b_{ij}$ [-]	Redukční čísel $b_u$ [-]	Redukční čísel $b_g$ [-]	Korekční čísel zahrnující vliv podzemní vody $G_w$	$H_{Tie}$ [W/K]	$H_{T,iae}$ [W/K]	$H_{T,ig}$ [W/K]	$H_{T,ij}$ [W/K]	$t_i - t_e$ [°C]	$\sum Hi$ [W/K]	$\Phi_{T,i}$ [W]
Zed' garáž	1,7	2,6	4,5	0,0	4,5	0,38	0,05	0,43		0,31				0,61					
Strop koupelna	2,2	1,9	4,1	0,0	4,1	0,39			-0,13							-0,20			
Terén	2,2	1,9	4,1	0,0	4,1	0,31	0,05	0,36			0,47	1			0,69				
																	32	1	40

**První patro - Koupelna 2.3**

Skladba	Délka [m]	Šířka/výška [m]	Plocha celá [m <sup>2</sup> ]	Plocha otvorů [m <sup>2</sup> ]	Plocha bez otvorů [m <sup>2</sup> ]	$U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$\Delta U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$U' = U + U'$ [W/m <sup>2</sup> .K]	Redukční čísel $b_{ij}$	Redukční čísel $b_u$	Redukční čísel $b_g$	$G_W$	$H_{T,ie}$	$H_{T,ine}$	$H_{T,ig}$	$H_{T,ij}$	$t_i - t_e$	$\sum H_i$	$\Phi_{T,i}$	
Zed' 2.7	2,1	2,6	5,4	0,0	5,4	1,92			0,13								1,31			
Zed' 2.2	2,2	2,6	5,7	1,5	4,3	1,92			0,13								1,02			
Dveře	0,7	2,1	1,5	1,5		1,20			0,13								0,22			
Zed' 2.4 část 1	2,1	2,6	5,4	0,0	5,4	1,92			0,13								1,31			
Zed' 2.4 část 2	1,2	2,6	3,0	0,0	3,0	1,92			0,13								0,73			
Střecha šikmá	2,1	3,6	7,5	0,0	7,5	0,18	0,05	0,23					1,73							
Podlaha do 1 NP WC	2,1	3,4	7,0	0,0	7,0	0,39			0,13								0,34			
																	36	7	240	

**Příloha 3 Výpočet tepelných ztrát větráním podle ČSN EN 12831****Přírozené větrání**

Číslo místnosti	Typ místnosti	Objem místnosti $V$ [m <sup>3</sup> ]	$n$ [1/h]	$V_i = V \cdot n/3600$ [m <sup>3</sup> /h]	$\rho \cdot C$	$H_{v,i} = V_i \cdot \rho \cdot c$ [W/K]	$t_i - t_e$ [°C]	$\Phi_{v,i}$ [W]
Přízemí								
1.1	Zádveří	24	0,5	0,0034	1212	4	30	120
1.3	Hala	15	0,5	0,0021	1212	2	32	80
1.6 + kk	Pokoj	100	0,5	0,0139	1212	17	32	540
První patro								
2.2	Hala	15	0,5	0,0021	1212	2	32	80
2.4	Pokoj	47	0,5	0,0065	1212	8	32	250
2.5	Pokoj	39	0,5	0,0054	1212	7	32	210
2.6	Pokoj	15	0,5	0,0020	1212	2	32	80
2.7	Pokoj	47	0,5	0,0065	1212	8	32	250
Hygienické místnosti								
1.4	WC	10	0,5	0,0014	1212	2	32	50
2.3	Koupelna	17	0,5	0,0024	1212	3	36	110
$\Sigma$						55		1770

**Příloha 4 Návrh nuceného větrání**

Objem větraného prostoru $V_i$ [m <sup>3</sup> ]	Objem odváděného vzduchu $V_o$ [m <sup>3</sup> ]	Koeficient přítomnosti osob [-]	Počet osob	Objem vzduchu na osobu [m <sup>3</sup> ]	Skutečná potřeba priváděného vzduchu [m <sup>3</sup> /h]	Potřeba pro zbývající dobu obývání [m <sup>3</sup> /h]	Skutečný přívod vzduchu celkem [m <sup>3</sup> /h]	Objem prostoru - $V_i$ [m <sup>3</sup> ]	Nucené větrání se ZTZ, pasivní domy $n_{50}$	Účinnost ZTZ [%]	Součinitel větrné expozice $e$	Průtok vzduchu infiltrací, $V_x$ [m <sup>3</sup> /h]	Průtok vzduchu v budově $V = V_f(1 - \eta_{ZZT}) + V_x$	Měrná tepelná ztráta větráním $H_v$ [W/K]	Tepelná ztráta větráním $\Phi_v$ [W]
275	137	0,7	4	25	70	9	79	386	0,6	0,75	0,01	2,32	22,1	7,5	0,2



## Příloha 5 Výpočet potřeby tepla na vytápění Ztráta tepla

	Měrná tepelná ztráta prostupem $H_T$ [W/K]	Měrná tepelná ztráta větráním $H_V$ [W/K]	Měrná tepelná ztráta budovy $H$ [W/K]	Požadovaná vnitřní teplota $t_i$ [°C]	Průměrná venkovní teplota za čas úsek $t_e$ [°C]	Počet dnů úseku	Délka čas úseku $\Delta\tau$ [hod]	Ztráta tepla $Q_L$ [kWh]
	117	55	172					
Leden								
Únor			172	20	-1	31	744	2692
Březen			172	20	1	28	672	2200
Duben			172	20	4	31	744	2051
Květen			172	20	9	30	720	1365
Červen			172	20	14,6	31	744	692
Červenec			-	-	-	-	-	-
Srpen			-	-	-	-	-	-
Září			-	-	-	-	-	-
Říjen			172	20	13,8	30	720	769
Listopad			172	20	9,4	31	744	1359
Prosinec			172	20	4	30	720	1985
$\Sigma$								15743

## Tepelné zisky

### Vnitřní zisky

Měsíc	Koeficient přítomnosti osob	Počet osob $k$	Počet dnů úseku	Délka časového úseku $\Delta\tau$ [hod]	Vnitřní zisky $Q_i$ [kWh]
Leden	0,7	4	31	744	283
Únor	0,7	4	28	672	255
Březen	0,7	4	31	744	283
Duben	0,7	4	30	720	274
Květen	0,7	4	31	744	283
Červen	-	-	-	-	-
Červenec	-	-	-	-	-
Srpen	-	-	-	-	-
Září	0,7	4	30	720	274
Říjen	0,7	4	31	744	283
Listopad	0,7	4	30	720	274
Prosinec	0,7	4	31	744	283
$\Sigma$					2490

### Solární zisky

Účinná sběrná plocha $A_s$ na dané světové straně [m <sup>2</sup> ]	S	J	V	Z	Solární zisky $Q_s$ čp 73 [kWh]
	12	188	65	0	266
	22	211	114	0	347
	39	309	223	0	571
	55	358	323	0	735
	80	365	454	0	900
	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-
	41	358	262	0	660
	29	282	148	0	460
	15	136	61	0	212
	10	109	48	0	167
$\Sigma$	1,71	3,76	4,37	0	4317

### Celkové zisky

Celkové tepelné zisky $Q_G$ [kWh]
548
602
853
1009
1182
-
-
-
934
742
486
450
6806

**Potřeba tepla na vytápění**

	Poměr tepelných zisků a ztrát tepla $\gamma$ [-]	Stupeň využití solárních zisků $\eta$ [-]	Potřeba tepla na vytápění $Q_H$ [kWh]
Leden	0,20	1,00	2146
Únor	0,27	0,99	1603
Březen	0,42	0,98	1219
Duben	0,74	0,89	473
Květen	1,71	0,55	45
Červen	-	-	-
Červenec	-	-	-
Srpen	-	-	-
Září	1,21	0,70	113
Říjen	0,55	0,95	657
Listopad	0,24	1,00	1502
Prosinec	0,17	1,00	2179
$\Sigma$			9936