

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

---

**ENERGETICKY NULOVÝ RODINNÝ DŮM**

DIPLOMOVÁ PRÁCE



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Rykl** Jméno: **Radoš** Osobní číslo: **438331**  
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
 Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**  
 Studijní program: **Inteligentní budovy**  
 Studijní obor: **bez oboru**

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Energeticky nulový rodinný dům**

Název diplomové práce anglicky:

**Zero Energy Family House**

Pokyny pro vypracování:

Pro zadaný rodinný dům proveďte energetické a ekonomické posouzení různých zdrojů energie pro dosažení nulové potřeby primární energie v roční bilanci (energeticky nulový dům). Pro energetické hodnocení použijte normové metody výpočtu s měsíčním krokem výpočtu.

Seznam doporučené literatury:

- 1) TNI 73 0302 Energetické hodnocení solárních tepelných soustav - Zjednodušený výpočtový postup, ÚNMZ 2014.
- 2) TNI 73 0351 Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly - Zjednodušený výpočtový postup, ÚNMZ 2014
- 3) Podklady ke studiu předmětu Základy alternativních zdrojů energie, Alternativní zdroje energie

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D., ústav techniky prostředí FS**

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

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **31.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce:

doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D.  
 podpis vedoucí(ho) práce

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

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

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

30.4.2020

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

**Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing .Tomáši Matuškoví, Ph.D. za jeho čas, trpělivost a cenné rady, které mi pomohly při vypracovávání této diplomové práce.

**Souhrn**

Cílem této diplomové práce je pro zadaný rodinný dům provést energetické a ekonomické posouzení s využitím různých zdrojů energie pro dosažení nulové potřeby neobnovitelné primární energie v roční bilanci. První a druhá část práce se zabývá problematikou staveb s nízkou potřebou energie a jejich hodnocením. Ve třetí části jsou popsány použité výpočty potřebné pro bilancování. Čtvrtá část obsahuje popis jednotlivých variant a výsledné bilancování.

**Summary**

The aim of diploma thesis is to make an energy and economic assessment for family house with using different energy sources to achieve zero annual balance of non-renewable primary energy demand. The first and second part of the thesis introduces the issue of buildings with low energy demand and their evaluation. In the third part the methods of calculations used for balancing is described. The fourth part contains a description of individual variants and the result balancing.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Energeticky nulový rodinný dům“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Tomáše Matušky Ph.D., s použitím literatury uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 30.7.2020

Radoš Rykl

**Obsah:**

1. Úvod .....	11
2. Budovy s nízkou potřebou energie .....	12
2.1. Hodnocení a souvislosti .....	12
2.1.1. Nízkoenergetické domy .....	15
2.1.2. Budova s téměř nulovou spotřebou energie .....	15
2.1.3. Pasivní domy .....	16
2.1.4. Nulové a plusové domy .....	18
2.2. Stavebně-architektonické řešení .....	20
2.3. Technické systémy budovy .....	23
2.3.1. Vytápění .....	23
2.3.2. Větrání .....	25
2.3.3. Příprava teplé vody .....	26
2.3.4. Chlazení.....	27
2.4. Zdroje tepla a energie.....	28
2.4.1. Centralizované zásobování teplem .....	28
2.4.2. Spalovací zařízení .....	29
2.4.3. Tepelná čerpadla .....	29
2.4.4. Fotovoltaika .....	31
2.4.5. Fototermické solární kolektory .....	33
3. Energetické hodnocení budov.....	35
3.1. Potřeba energie .....	35
3.1.1. Vytápění .....	36
3.1.2. Příprava teplé vody .....	40
3.1.3. Elektrická energie .....	41
3.2. Bilance obnovitelných zdrojů energie .....	43
3.2.1. Solární tepelná soustava.....	43

3.2.2. Fotovoltaický systém.....	45
3.2.3. Tepelné čerpadlo .....	47
4. Analýza .....	52
4.1. Rodinný dům .....	52
4.2. Varianty zdrojů energie v rodinném domě .....	54
4.2.1. Varianta 1 .....	54
4.2.2. Varianta 2 .....	55
4.2.3. Varianta 3 .....	56
4.3. Potřeba energie .....	57
4.3.1. Vytápění .....	57
4.3.2. Příprava teplé vody .....	60
4.3.3. Elektrická energie .....	60
4.4. Bilance zdrojů energie .....	64
4.4.1. Bilance zdrojů varianty 1 .....	64
4.4.2. Bilance zdrojů varianty 2 .....	66
4.4.3. Bilance zdrojů varianty 3 .....	68
4.5. Ekonomické zhodnocení .....	69
5. Závěr .....	72
6. Použitá literatura .....	76
7. Seznam příloh .....	81

**Soupis použitého značení**

$A$	Plocha	[m <sup>2</sup> ]
$A_{FV}$	Činná plocha panelu	[m <sup>2</sup> ]
$A_k$	Plocha apertury kolektoru	[m <sup>2</sup> ]
$COP$	Topný faktor tepelného čerpadla	[-]
$E$	Elektrická energie	[kWh]
$F$	Korekční činitel	[-]
$G$	Sluneční ozáření	[W/m <sup>2</sup> ]
$H$	Měrná tepelná ztráta budovy	[W/K]
$H_s$	Spalné teplo zemního plynu	[kJ/m <sup>3</sup> ]
$H_T$	Měrná tepelná ztráta prostupem	[W/K]
$H_T$	Měsíční dávka slunečního ozáření	[kWh/m <sup>2</sup> ·měs]
$H_{T,ie}$	Měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostoru	[W/K]
$H_{T,ig}$	Měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do přilehlé zeminy	[W/K]
$H_{T,ij}$	Měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do přilehlého prostoru vytápěného na rozdílnou teplotu	[W/K]
$H_{T,iue}$	Měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do přilehlého nevytápěného prostoru	[W/K]
$H_V$	Měrná tepelná ztráta větráním	[W/K]
$I$	Měsíční dávka slunečního ozáření	[kWh/m <sup>2</sup> ·měs]
$NOCT$	Jmenovitá provozní teplota	[°C]
$SPF$	Sezónní topný faktor	[-]
$Q_d$	Teplo dodané dodatkovým zdrojem	[kWh]
$Q_{d,TV}$	Teplo dodané dodatkovým zdrojem na přípravu teplé vody	[kWh]
$Q_{d,VYT}$	Teplo dodané dodatkovým zdrojem na vytápění	[kWh]
$Q_G$	Celkové tepelné zisky	[kWh]
$Q_{TV}$	Potřeba tepla na přípravu teplé vody	[kWh]
$Q_k$	Dostupné teplo z tepelného čerpadla	[kWh]
$Q_{k,TV}$	Dostupné teplo z tepelného čerpadla na přípravu teplé vody	[kWh]



$Q_{k,u}$	Měsíční teoreticky využitelný tepelný zisk ze solární soustavy	[kWh/měs]
$Q_{k,VYT}$	Dostupné teplo z tepelného čerpadla na vytápění	[kWh]
$Q_{SS}$	Využitelné zisky	[kWh]
$Q_L$	Ztráta tepla	[kWh]
$Q_i$	Vnitřní tepelné zisky	[kWh]
$Q_s$	Solární tepelné zisky	[kWh]
$Q_{TC}$	Teplo dodané tepelným čerpadlem	[kWh]
$Q_{TC,TV}$	Teplo dodané tepelným čerpadlem pro přípravu teplé vody	[kWh]
$Q_{TC,VYT}$	Teplo dodané tepelným čerpadlem na vytápění	[kWh]
$Q_{VYT}$	Potřeba tepla na vytápění	[kWh]
$P$	Elektrický příkon zařízení	[kW]
$R$	Tepelný odpor	[m <sup>2</sup> ·K/W]
$U$	Součinitel prostupu tepla	[W/m <sup>2</sup> ·K]
$V$	Objem místnosti	[m <sup>3</sup> ]
$\dot{V}$	Objemový průtok	[m <sup>3</sup> /s]
$a$	Součinitel tepelné ztráty	[-]
$c$	Měrná tepelná kapacita	[J/kg·K]
$d$	Délka otopného období	[den]
$f$	Opravný součinitel	[-]
$g$	Celková propustnost sluneční energie	[-]
$k$	Počet osob	[1]
$n_{50}$	Intenzita větrání při rozdílu tlaků 50 Pa mezi vnitřním a vnějším prostorem	[h <sup>-1</sup> ]
$n_{min}$	Minimální intenzita větrání	[h <sup>-1</sup> ]
$n_{PE}$	Potřeba neobnovitelné primární energie	[kWh]
$p$	Srážka vlivem tepelných ztrát	[%]
$q_{SS}$	Měrné využitelné zisky solární tepelné soustavy	[kWh/m <sup>2</sup> ]
$q_{NPE}$	Měrná potřeba neobnovitelné primární energie	[kWh/m <sup>2</sup> ]
$q_{VYT}$	Měrná potřeba tepla na vytápění	[kWh/m <sup>2</sup> ]
$t_e$	Venkovní výpočtová teplota	[°C]
$t_{es}$	Průměrná venkovní teplota za otopné období	[°C]

$t_{e,s}$	Střední venkovní teplota v době svitu	[°C]
$t_i$	Vnitřní výpočtová teplota	[°C]
$t_{k,m}$	Střední teplota teplotonosné kapaliny v kolektorech v průběhu dne	[°C]
$\Delta U_{tb}$	Korekční činitel na zvýšení součinitele prostupu tepla vlivem tepelných mostů	[W/m <sup>2</sup> ·K]
$\lambda_j$	Součinitel tepelné vodivosti materiálu	[W/m·K]
$\eta$	Účinnost	[-]
$\alpha$	Pohltivost FV modulu	[%]
$\tau$	Čas	[h]
$\rho$	Hustota	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\gamma$	Teplotní součinitel výkonu	[%/K]

## 1. Úvod

Dnešní svět se potýká s mnoha globálními ekologickými problémy. Jedním z nich je nadměrná produkce skleníkových plynů ( $\text{CO}_2$ ) do ovzduší, a tím dochází ke změně klimatu. Z velké části k této produkci přispívají i budovy svojí potřebou energie. Se zvyšujícím se počtem obyvatel a jejich nároky na komfort by při současné výstavbě tato potřeba i nadále prudce narůstala. Proto je snaha tuto potřebu minimalizovat, a tím minimalizovat i emise skleníkových plynů. Další možností, jak minimalizovat změnu klimatu a přispět k energetické udržitelnosti je navýšení podílu obnovitelných zdrojů a navýšení účinnosti zdrojů. Diplomové práce hledá odpověď na otázku, jaké zdroje v rodinném domě, postaveném v kvalitním stavebním standardu mohou významně snížit potřebu neobnovitelné primární energie až na nulu (v ročním hodnocení) a jaké jsou související náklady. [1] [2]

### Podíl odvětví na globálních emisích skleníkových plynů

výroba elektřiny a tepla	25 %
zemědělství a lesnictví	24 %
stavebnictví	6 %
doprava	14 %
průmysl	21 %
další činnosti v energetice (např. těžba)	10 %



Obr. 1.1. Podíl odvětví na globálních emisích skleníkových plynů [3]

V této diplomové práci je uvažován konkrétní rodinný dům, pro který jsou navrženy konstrukce, odpovídající tepelně technickými vlastnostmi pasivnímu standardu. Poté jsou vybrány tři varianty zdrojů pro zásobování energií, které mohou vést k nulové potřebě neobnovitelné primární energie (v ročním hodnocení), která mimo jiné souvisí i s produkcí  $\text{CO}_2$ . Zdroje jsou u jednotlivých variant navrženy tak, aby bylo možné dosáhnout roční nulové bilance neobnovitelné primární energie. Pro dané varianty je provedeno ekonomické hodnocení investičních a provozních nákladů a jsou porovnávány celkové náklady za 15 let.

## 2. Budovy s nízkou potřebou energie

I když se v posledních letech stále více řeší téma úspory energie a šetření zdroji není to vůbec nové téma. Již v antickém Řecku (5 stol. př. n. l.) museli řešit problém s nedostatkem dřeva na topení, vaření a výrobu výrobků. Po vykácení vlastních lesů začali palivo dovážet po moři z blízkého okolí. Což bylo velice nákladné a náročné, proto začali postupně architektonicky měnit svá obydlí, aby lépe využívala solární energii pro vytápění v chladnějších obdobích. [4] [5]

Od té doby každý posun ve snižování potřeby energie vždy odstartovala energetická krize. Co se týká novodobé historie, snahu o výstavbu nízkoenergetických domů odstartovala ropná krize v 70. letech minulého století, kdy se skokově zvýšila cena ropy o 700 %. Nejvíce tato krize postihla Spojené státy americké. Proto se zde začaly stavět nízkoenergetické domy první generace, které dbaly především na využití solárních zisků. Toto provedení na druhé straně vedlo k přehřívání v letních měsících. Vylepšení přichází s druhou generací nízkoenergetických domů, kde je kladen důraz především na tepelné izolace, vzduchotěsnost, řízené větrání a zpětné využití odpadního tepla. [4] [5]

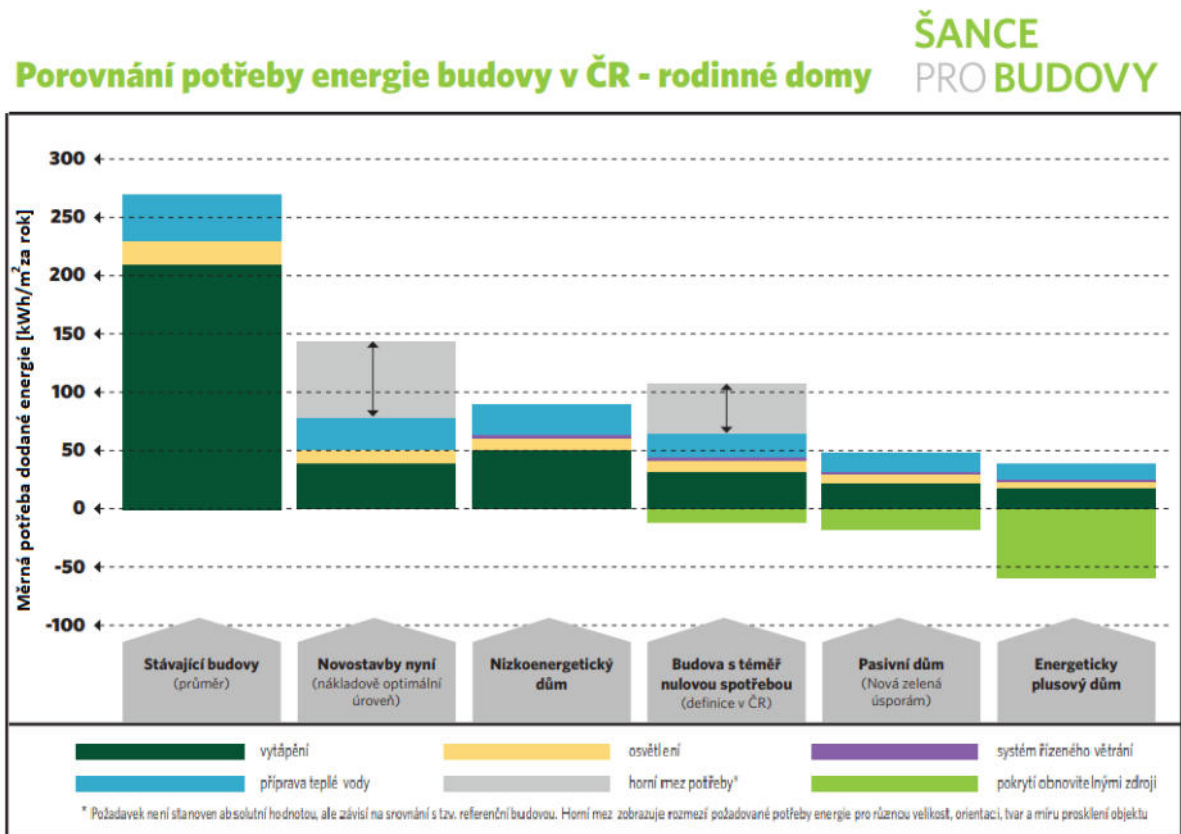
### 2.1. Hodnocení a souvislosti

Problematika sledování a hodnocení energetické náročnosti budov s velmi nízkou potřebou energie je v ČR stále se rozvíjejícím se oborem. V České republice se energetická náročnost budov obecně hodnotí postupem v souladu se zákonem č.406/2000 Sb. o hospodaření s energií, konkrétně vyhláškou č. 78/2013 Sb. a její novelou 230/2015 Sb. o energetické náročnosti budov. Tento postup je v České republice také závazný například pro dotační tituly jako je Operační program životního prostředí nebo program Zelená úsporám. [6] [9]

Pro hodnocení tzv. energeticky pasivních domů v rámci jejich navrhování, posuzování a optimalizace se používá také postup PHPP (Passive House Planning Package) jedná se o celoevropsky nejčastěji používaný postup, který vyvinul německý Passivhaus institut. Slouží především jako základ pro ověření certifikovaného pasivního domu. [7] [8]

Oba postupy využívají pro výpočet potřeby tepla normu ČSN EN ISO 52016-1, nicméně často s odlišnými okrajovými podmínkami. Legislativa využívá normy ČSN 73 0331. Metoda PHPP (Passive House Planning Package) využívá pro okrajové podmínky své standardní hodnoty. [8] [10]

Zákon 406/2000 Sb. a jeho vyhlášky v aktuálně platném znění rozlišují pro novostavby pouze jeden energetický standard, a tím je „budova s téměř nulovou spotřebou energie“. Podrobnější rozlišení budov z hlediska energetické náročnosti je uvedeno v normě ČSN 73 0540-2, která rozlišuje nízkoenergetický dům, energeticky pasivní dům, nulový dům a plusový dům. Graf na obr. 2.1, ukazuje porovnání měrné potřeby energie jednotlivých standardů. [10] [11]



Obr. 2.1. Energetické standardy rodinných domů [12]

Při hodnocení budov s nízkou potřebou energie se zpravidla používají dvě hodnotící kritéria z pohledu potřeby energie. Prvním z nich je **měrná potřeba tepla na vytápění**  $q_{VYT}$  [kWh/m<sup>2</sup>·rok] a udává jaké množství tepla je potřeba dodat do objektu pro požadavky vytápění na jeden metr čtverečný podlahové plochy za rok. Takto

definované kritérium může sloužit pro zhodnocení a optimalizaci budov na základě tepelně-izolačních vlastností, velikosti a kvality oken, vhodnosti orientace a kompaktnosti tvaru budovy. [13]

Druhým hodnoticím kritériem je **měrná neobnovitelná primární energie**  $q_{NPE}$  [kWh/m<sup>2</sup>·rok]. Primární energie je energie, která neprošla žádným procesem přeměny. Je to taková energie, která se vyskytuje volně v přírodě, u obnovitelných zdrojů to je sluneční záření, vodní energie nebo energie větrná. U neobnovitelných zdrojů se jedná o energii obsaženou v energonositeli jako je zemní plyn, ropa, elektrická energie ze sítě nebo uhlí. Ovšem započítává se do této hodnoty i neobnovitelná energie potřebná na vlastní těžbu, zpracování a dopravu. Každý z energonositelů je jinak náročný na potřebu neobnovitelné energie. Pro výpočet neobnovitelné energie z potřeb jednotlivých energonositelů se používají konverzní faktory (viz tabulka 2.1.). [13] [14]

Tab. 2.1. Konverzní faktory neobnovitelné primární energie [15]

Palivo / energie	$F$ [kWh/kWh]
Zemní plyn, černé uhlí, hnědé uhlí	1,1
Propan-butan, LPG, topný olej	1,2
Elektrina	3,0
Dřevěné peletky	0,2
Kusové dřevo, dřevní štěpka	0,1
Energie okolního prostředí (elektrina, teplo)	0,0
Elektrina – dodávka mimo budovu	-3,0
Teplo – dodávka mimo budovu	-1,0
Soustava zásobování tepelnou energií s podílem OZE > 80 %	0,1
Soustava zásobování tepelnou energií s podílem OZE mezi 50 % a 80 %	0,3
Soustava zásobování tepelnou energií s podílem OZE < 50 %	1,0
Ostatní neuvedené energonositele	1,2

### 2.1.1. Nízkoenergetické domy

Nízkoenergetický energetický standard je zpravidla definován roční měrnou potřebou na vytápění, tato hodnota nesmí překročit  $50 \text{ kWh/m}^2$  podlahové plochy. Takto je standard definovaný například v české technické normě ČSN 73 0540-2. Výše uvedený požadavek není a nebyl legislativně závazný, a nezřídka kdy se stává, že i novostavba, která není s tímto cílem navrhována, tomuto parametru vyhovuje. [11]

### 2.1.2. Budova s téměř nulovou spotřebou energie

Tento energetický standard je nejaktuálnější. V České republice platil od roku 2016 pro velké veřejné budovy a od 1.1.2020 je platný pro všechny novostavby včetně rodinných domů. „Budovu s téměř nulovou spotřebou energie“ primárně uvádí směrnice Evropského parlamentu a rady 2018/844/EU. Tato směrnice definuje budovu takovou, jako budovu, jejíž energetická náročnost je velmi nízká a její potřeba energie by měla být ve značném rozsahu pokryta s obnovitelných zdrojů. Tato definice je velice neurčitá a každý stát opatření na snížení potřeby energie mohl definovat dle svých možností. Každý stát má tedy svojí definici budovy s téměř nulovou potřebou energie, která se může značně odlišovat od doporučení evropské komise, která uvádí pro oceánskou oblast  $15\text{-}30 \text{ kWh/m}^2$  neobnovitelné primární energie na  $\text{m}^2$  podlahové plochy. [6]

V České republice je směrnice implementována vyhláškou 78/2013 Sb. a její novelou 230/2015 Sb., která neudává změnu v absolutních hodnotách hodnotících požadavků jako je např. měrná potřeba tepla, ale pouze redukčním činitelem, který udává poměr, o kolik se má snížit hodnota průměrného součinitele prostupu tepla. Absolutní hodnota požadavku je navíc pro každý objekt jiná v závislosti na geometrii konkrétní budovy. Používá se totiž hodnocení pomocí referenční budovy, která má stejnou geometrii a orientaci jako hodnocená budova. Přičemž pro budovu s téměř nulovou spotřebou energie jsou v současné době požadavky na redukční činitel průměrného součinitele tepla  $f_R = 0,7$  a činitel pro neobnovitelnou primární energii  $f_R = 0,75$  (pro rodinné domy). Skok od nízkoenergetických budov k nulovým budovám není z výše uvedeného nastavení až tak velký. Přehledně uvedené jsou činitele v tab. 2.2. [6] [15]

Tab. 2.2. Redukční činitele 78/2013 Sb [15]

Energetický ukazatel	Redukční činitel požadované základní hodnoty [-]
Průměrný součinitel prostupu tepla	0,70
Dodaná energie	1,00
Neobnovitelná primární energie (rodinné domy)	0,75
Neobnovitelná primární energie (bytové domy)	0,80

### 2.1.3. Pasivní domy

Pasivní domy lze hodnotit podle české normy ČSN 73 0540-2 (2011), s možností využití, technické normalizační informace TNI 73 0329 (pro rodinné domy). Jsou zde stanoveny okrajové podmínky pro výpočet. Také jsou zde uvedeny požadované hodnoty sledovaných parametrů. (v tab. 2.3.) [11]

Jedná se o budovy s nízkou měrnou potřebou tepla na vytápění  $q_{VYT}$ , která je omezena hodnotou pro rodinné domy 20 kWh/m<sup>2</sup>·rok. Toto ale není jediný požadavek, který je na budovu kladen. Mezi další požadavky patří požadavek na průměrný součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2 (2011) který je omezen hodnotou  $U_{em} \leq 0,22$  W/m<sup>2</sup>·K. Další omezení se týká tepelné ztráty větráním, jelikož je u přirozeného větrání tepelná ztráta vysoká, je zde kladen požadavek na nucené větrání se zpětným získáváním tepla s účinností vyšší jak 75 %. S tepelnou ztrátou větráním souvisí i infiltrace vzduchu obálkou budovy, zde je kladen požadavek na těsnost budovy a je dán neprůvzdušností obálky  $n_{50}$ . Jedná se o intenzitu větrání při rozdílu 50 Pa, tato hodnota musí být menší než 0,6 objemu vzduchu za hodinu. Poslední požadovaný parametr se týká celkové potřeby neobnovitelné primární energie, musí být méně než 60 kWh/m<sup>2</sup>·rok [11]



Lze tedy obecně říci, že pasivní dům k pokrytí jeho malé tepelné ztráty využívá z větší části tepelné zisky od slunečního záření. Stejně tak i vnitřní tepelné zisky od lidí a spotřebičů napomáhají k pokrytí tepelné ztráty. To způsobí, že i v zimních měsících je tepelná ztráta tak nízká, že jej pokryje teplovzdušné vytápění, nebo otopná soustava s nízkým instalovaným výkonem. [13]

Pasivní dům je díky cílenému využívání tepelných zisků z velké části závislý na pasivních solárních ziscích. Velice záleží i na umístění objektu do krajiny a na klimatických podmínkách, aby objekt měl dostatečný příjem sluneční energie v zimních měsících. S tím souvisí i orientace okenních výplní, která je soustředěna na jižní a západní stranu objektu. Naopak na straně severní, je snaha o minimalizaci okenních a dveřních konstrukcí. [13]

Tab. 2.3. Hodnotící kritéria podle TNI 73 0329 [16]

Jev, veličina	Ozn.	Jednotka	Požadavek	Způsob prokázání
Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí	$U$	$W/m^2 \cdot K$	Splnění požadavku na hodnoty ČSN 73 0540-2	Výpočet v souladu s ČSN 73 0540-4
Průměrný součinitel prostupu tepla	$U_{em}$	$W/m^2 \cdot K$	$U_{em} \leq 0,22$ pro energeticky pasivní domy	Výpočet v souladu s ČSN 73 0540-2
Přívod čerstvého vzduchu	-	-	Zajištěn	Kontrola projektové dokumentace
Účinnost zpětného získávání tepla z odváděného vzduchu	$\eta$	%	$\eta \geq 75$	Podle ověřených podkladů výrobce
Neprůvzdušnost obálky budovy	$n_{50}$	1/h	$n_{50} = 0,6$	Měření metodou tlakového spádu a výpočet $n_{50}$ v souladu s ČSN EN 13829
Nejvyšší teplota vzduchu v pobytové místnosti	$t_{i,max}$	$^{\circ}C$	$\leq 27$	Strojní chlazení Se nepředpokládá
Měrná potřeba tepla na vytápění	$q_{VYT}$	$kWh/m^2 \cdot rok$	$\leq 20$ pro energeticky pasivní dům,	Výpočet podle ČSN EN ISO 13790
Potřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů	$q_{NPE}$	$kWh/m^2 \cdot rok$	$\leq 60$ pro energeticky pasivní dům	Uvažuje pouze energii na vytápění, přípravu teplé vody a pomocnou energii

Druhá možnost hodnocení je dle německého Passive House Planning Package (PHPP) Toto hodnocení je v porovnání s českými kritérii přísnější, klade vyšší nároky na tepelně technické požadavky objektu. Požaduje efektivnější využití energie, jelikož musí plnit přísnější kritéria potřeby tepla na vytápění. U této metody se do bilance neobnovitelné primární energie zahrnuje i uživatelská energie od spotřebičů a osvětlení.

Tab. 2.4. Hodnotící kritéria dle PHPP [17]

Veličina	Označení	Hodnota	Jednotka	Poznámka
Měrná potřeba tepla na vytápění	$q_{NPE}$	<15	kWh/m <sup>2</sup> ·rok	Vztažena na podlahovou plochu
Měrná tepelná ztráta	$H$	<10	W/m <sup>2</sup>	Vztažena na podlahovou plochu
Neprůvzdušnost obálky	$n_{50}$	<0,6	1/h	
Potřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů	$q_{NPE}$	<120	kWh/m <sup>2</sup> ·rok	Zahrnuto vytápění, příp. TV, technické systémy i uživatelská energie
Max teplota vzduchu v letních měsících	$t_{i,max}$	>25	°C	Může být vyšší jen 10% hodin v roce

#### 2.1.4. Nulové a plusové domy

Termíny jako je nulová nebo plusová budova, nejsou v České republice právně definovány. Jsou pouze zmíněny v informativní příloze normy ČSN 73 0540-2. Základní snahou je minimalizovat u budov jejich potřebu neobnovitelné primární energie na nulovou hodnotu, v případě plusových budov má být bilance neobnovitelné primární energie záporná. To znamená, že dům dokáže v roční bilanci díky obnovitelným zdrojům vyprodukovat takové množství energie, které v bilanci neobnovitelné primární energie vyváží nebo převáží její potřebu. To v praxi znamená, že potřebu neobnovitelné energie z různých druhů energonositelů jako je např. zemní plyn, biomasa nebo elektrická energie ze sítě, která je spotřebována v zimních měsících vykompenzuje exportovaná obnovitelná energie, která je produkována v letních měsících. Veškeré tyto energie se bilancují v množství neobnovitelné primární energie, potřebu a produkci je nutné přepočítat pomocí konverzních faktorů. Z hlediska stavebně-energetického je vhodné, aby nulové a plusové budovy odpovídaly, standardu pasivní budovy, čímž se zajistí obecně nízká potřeba energie, kterou je potřeba kompenzovat. [11] [13]

Norma ČSN 73 0540-2 rozlišuje dvě úrovně hodnocení, úroveň A a B v úrovni A, která je přísnější se do bilancování energetických potřeb zahrnuje potřeba tepla na vytápění, teplou vodu, chlazení, pomocná elektrická energie (na chod systémů), energie na osvětlení i elektrická energie na chod spotřebičů. Úroveň B je stejná jako A, pouze se zde nezahrnuje elektrická energie na chod domácích spotřebičů. Přehledné zobrazení potřeb, které se započítávají do jednotlivých bilancí, najdete v tab. 2.5. [11]

Tab. 2.5. Přehled energetických potřeb zahrnutých do hodnocení primární energie energeticky nulové budovy [11]

	Obytné budovy	
	Úroveň A	Úroveň B
Vytápění	+	+
Chlazení a úprava vlhkosti	- <sup>1)</sup>	- <sup>1)</sup>
Příprava teplé vody	+	+
Pomocná energie na provoz energetických systémů budovy	+	+
Umělé osvětlení	+	+
Elektrické spotřebiče	+	-
<sup>1)</sup> Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné. Pokud by bylo výjimečně dodatečně použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie		

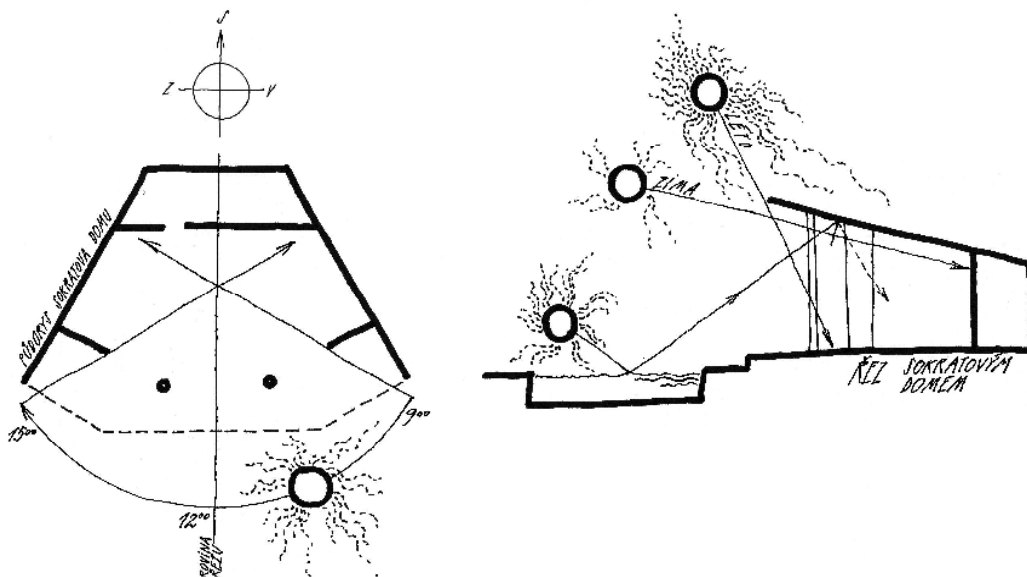
Pro obě úrovně je v tabulce 2.6, uvedeno, co norma ČSN 73 0540-2 (2011) považuje za dosažení úrovně „energeticky nulové budovy“ a „energeticky blízké nulové budovy“

Tab. 2.6. Základní požadavky na energeticky nulové budovy dle ČSN 73 0540-2 [11]

Závaznost kritéria		Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota dle zvolené úrovně	
				Úroveň A	Úroveň B
		Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em}$ $W/(m^2 \cdot K)$	Měrná potřeba tepla na vytápění $q_{VYT}$ [kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)]	Měrná roční bilance potřeby a produkce primární energie $q_{PE}$ kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)	
Obytné budovy	Nulový	Rodinné domy	Rodinné domy	0	0
	Blízky nulovému	≤0,25 Bytové domy ≤0,35	≤20 Bytové domy ≤15	80	30

## 2.2. Stavebně-architektonické řešení

Již z 5. stol. př. n. l. jsou první zmínky o úpravě staveb z hlediska snížení potřeby energie. Jedná se o takzvaný Sokratův dům, je to dům uzpůsoben tomu, aby co nejlépe využíval slunečního záření podle polohy slunce. Dům je orientován na jižní stranu, kde v zimním období, když je slunce nízko na obloze má možnost získat nejvíce tepelné energie. Naopak na severní straně je snaha minimalizovat plochu, protože zde dochází k intenzivnějšímu odvodu tepla. Aby se v létě objekt nepřehříval, je zde velký přesah střechy, který v létě zabraňuje přímému slunečnímu záření a ohřevu objektu. Tyto poznatky se využívají i u dnešních budov. [4] [18] [19]



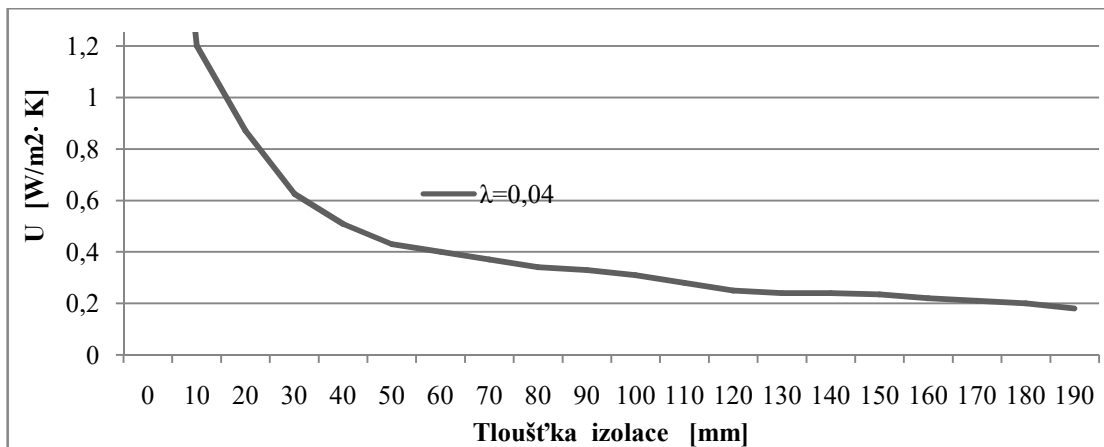
Obr. 2.2. Sokratův dům [18]

Architektonické poznatky, které se využívají díky Sokratovu domu:

- Maximalizovat plochu prosklených konstrukcí na jižní a západní straně objektů. Naopak minimalizovat na straně severní.
- Nejvíce frekventované místnosti, jako je obývací pokoj umísťovat na nejteplejší jižní stranu budovy.
- Navrhnout kompaktní tvar objektu, aby obálka budovy byla co nejmenší.
- Přesah střechy na jižní straně zabraňuje přehřívání v letních měsících.

Neméně důležité je samotné provedení stavebních konstrukcí. Nosná část konstrukce zajistí dostatečnou stabilitu a tepelná izolace zajistí požadovaný tepelný odpor. V praxi se pro posouzení tepelně technických vlastností používá převrácená hodnota tepelného odporu, součinitel prostupu tepla  $U$ . S narůstající tloušťkou izolace klesá hodnota součinitele prostupu tepla. Tato závislost je značně nelineární, tedy první centimetry tloušťky izolace mají daleko větší vliv na snížení součinitele prostupu tepla, než ty, které následují, jak je vyobrazeno na obr. 2.3. [20]

Obr. 2.3. Závislost  $U$  na tloušťce izolace [20]



Z finančního hlediska je vhodné volit optimální tloušťku izolace, poté neúměrně rostou náklady oproti efektivitě izolace. Například sdružení ekowatt uvádí optimální tloušťku izolace pro bytové domy mezi 12 – 20 cm , ale záleží na typu a tloušťce použité konstrukce. [21] Je ale především nutné dodržet zákonné požadavky norem, jako uvádí norma ČSN 73 0540-2 (2011) na maximální hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí (viz tab. 2.7). Požadované hodnoty  $U_{n,20}$  jsou nastaveny poměrně mírně, například při použití kvalitních tepelně izolačních pórobetonových tvárníc Ytong o tloušťce 375mm jako nosného zdiva, není potřeba dodatečná izolace vůbec. Pro dosažení doporučené hodnoty  $U_{rec,20}$  stačí 3 cm tepelné izolace s tepelnou vodivostí 0,04 W/m·K. Pro požadavek na dosažení hodnoty pro pasivní budovu postačí tloušťka 10 cm tepelné izolace se stejnými tepelnými vlastnostmi. [20] [21]

Tab. 2.7. Požadavky na hodnoty součinitele prostupu tepla ČSN 73 0540-2[11]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m <sup>2</sup> ·K)]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30	těžká: 0,25	0,18 až 0,12
		lehká: 0,20	
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	těžká: 0,25	0,18 až 0,12
		lehká: 0,20	
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru.	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině	0,85	0,60	0,45 až 0,30
Stěna mezi sousedními budovami	1,05	0,70	0,5
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,70	
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90	
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,2	1,45	
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,7	1,80	
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5	1,2	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,4	1,1	0,9
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,5	2,3	1,7
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3	1,7
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	2,6	1,7	1,4

Součinitel prostupu tepla se týká jednotlivých konstrukcí, ale problém s intenzivnějším únikem tepla se týká napojení těchto konstrukcí na sebe, takzvaných tepelných mostů. Tyto tepelné mosty v 70. letech tvořily řádově procenta celkové tepelné ztráty. Na dnešních budovách, pokud budou izolované podle doporučení normy  $U_{rec,20}$ , mohou tepelné mosty způsobovat řádově až desítky procent tepelné ztráty. Je proto žádoucí tyto tepelné mosty minimalizovat a pečlivě izolovat napojení konstrukcí. [22]

### 2.3. Technické systémy budovy

Technické systémy budov udržují v budově požadovanou kvalitu prostředí, jako je tepelná pohoda osob, kvalita a čistota vzduchu, ale i vlhkost vzduchu nebo umělé osvětlení. Mezi systémy, které ovlivňují tuto kvalitu prostředí, se řadí vytápění, větrání, příprava teplé vody a chlazení.

#### 2.3.1. Vytápění

Otopné soustavy zajišťují přívod a distribuci tepla od zdroje do místností v jeho požadovaném množství. Soustavy pro rodinné domy lze rozdělit z hlediska několika faktorů.

Dle typu energonositele:

- Teplovodní
- Elektrické

Dle umístění zdroje

- Centrální
- Lokální

Dle typu distribuce

- Otopná tělesa
- Konvektory
- Sálavé plochy

Teplovodní soustavy využívají centrální zdroj tepla, který ohřívá otopnou vodu. Ta je potrubním systémem dopravena do jednotlivých místností a teplo je sdíleno otopnými plochami. Teplovodní otopné soustavy mají zpravidla větší tepelnou setrvačnost oproti elektrickým přímotopným soustavám díky tepelné kapacitě vody a jejímu objemu v otopných plochách [23]

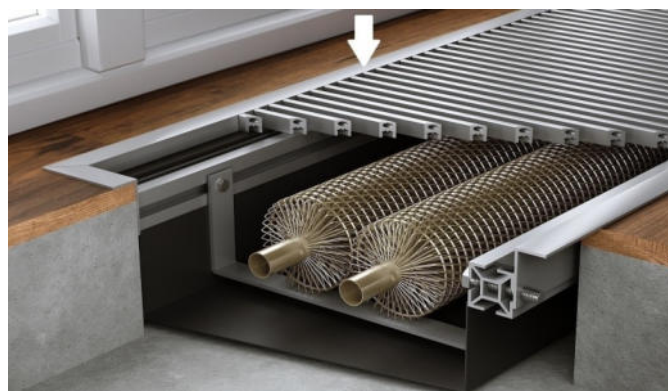
Elektrické přímotopné soustavy využívají jedinou instalaci elektrické sítě. Přímotopné prvky jsou zpravidla řešeny lokálně v jednotlivých místnostech a slouží zároveň i jako distribuční prvky. Mají vyšší účinnost, vlivem menší tepelné setrvačnosti nedochází k tak velkému přetápění. Nízká tepelná setrvačnost neplatí pro velkoplošné sálavé plochy, jelikož zde teplo akumuluje samotná konstrukce [23]

Z prvků, které slouží k distribuci tepla, jsou nejnámější otopná tělesa. Nejvíce používaná jsou s napojením na teplovodní soustavu, ale vyrábí se i jako elektrické přímotopné. Tyto prvky sdílejí teplo jak konvekcí, tak sáláním. Poměr těchto složek závisí na konkrétním typu otopného tělesa, ale podíl sálavé složky ku konvekční se pohybuje v rozmezí 0,15-0,4. [24] Otopná tělesa lze dělit podle typu provedení na:



*Obr. 2.4. Druhy otopných těles [25]*

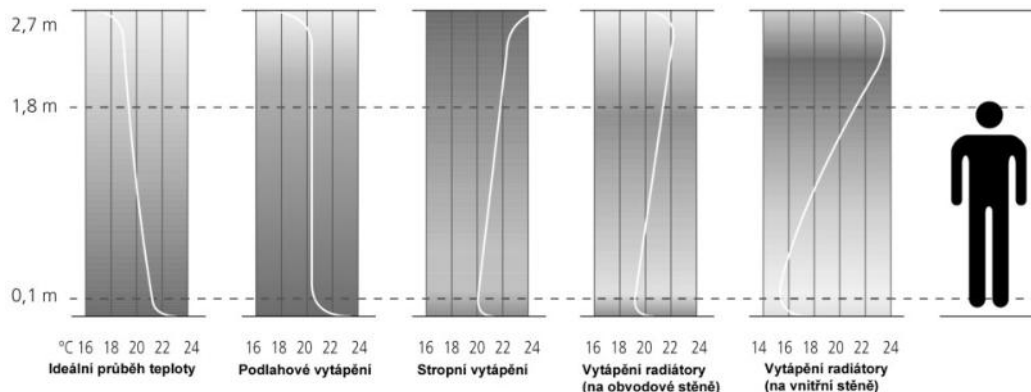
V konvektoru dochází k ohřevu teplosměnné plochy výměníku, který sdílí teplo s vnitřním vzduchem, který přes výměník proudí. Konvektory sdílí téměř všechny svůj výkon konvekční složkou. [24]



*Obr. 2.5. Konvektor [26]*

Ze sálavého vytápění je nejrozšířenější podlahové vytápění. Podlahové vytápění je vytápění, kde teplo zajišťují buď topné kabely, nebo teplovodní potrubí umístěné ve vrchní vrstvě podlahové konstrukce. Dochází zde k natápění konstrukce, která poté sdílí teplo sáláním, proto je zde největší podíl sálavé složky až 55 % a s tím související lepší rozložení teplot. [27]





Obr. 2.6. Výškové rozložení teplot [28]

Pro rodinné domy se v dnešní době používá nejčastěji dvoutrubková nízkoteplotní uzavřená otopná soustava s ocelovými deskovými tělesy, nebo nízkoteplotní uzavřená soustava, kde je použito velkoplošné sálavé vytápění ve formě podlahového vytápění. Některé z dnešních pasivních a nízkoenergetických domů mají tak malou potřebu tepla, že se nevyplatí instalovat otopnou soustavu, a i na úkor ztráty sálavé složky je vytápění řešeno pouze teplovzdušným vytápěním. [29]

### 2.3.2. Větrání

V dřívějších dobách strojní větrání domů nebylo potřeba, protože stará okna byla natolik netěsná, že pro přívod čerstvého vzduchu stačila infiltrace netěsností oken, dveří a jejich spár. Se stále většími nároky na snížení tepelné ztráty, se začaly používat čím dál více okna těsnější. Tato okna účinně snížila tepelnou ztrátu jak prostupem, tak větráním. Téměř dokonale těsná okna nicméně brání přirozenému větrání. V dnešní době je tedy čím dál větší potřeba řešit větrání mechanicky. [30]

Mechanické větrání slouží primárně pro přívod čerstvého vzduchu do pobytové oblasti osob a odvod vzduchu z hygienických zařízení a kuchyně. Přírodní čerstvý vzduch je zpravidla potřeba upravit, aby nedocházelo k narušení tepelné pohody osob. [30]

Pro větrání v energeticky úsporných domech se používají v zásadě dvě technologie využívání zpětného získávání tepla (ZZT). Centrální vzduchotechnické jednotky slouží k větrání více místností. Jednotky proto obsahují řadu komponentů. Nachází se zde odvodní a přívodní ventilátor, filtry vzduchu, výměník ZZT, ohřívač, směšovací kanály a případně chladič vzduchu. Vzduch je od jednotky rozváděn potrubím systémem a distribučními prvky do jednotlivých místností. Díky centrální úpravě vzduchu, je možné docílit lepší účinnosti výměníku zpětného získávání tepla. [13]

Lokální jednotky jsou oproti centrální jednotce značně jednodušší a slouží pro větrání jedné místnosti nebo malého množství místností vzájemně napojených. Mohou se umístit do otvoru v obvodové stěně, nebo mohou být součástí okna jako parapetní jednotka. Jednotky obsahují pouze filtr, malé ventilátory a malý výměník zpětného získávání tepla. Malé ventilátory umožňují minimalizaci hlukových projevů, jelikož se necentrální jednotka nachází zpravidla v obytné místnosti. Tomu odpovídají malé průtoky vzduchu 15 až 70 m<sup>3</sup>/h, se zvyšujícím se průtokem narůstá hlukost. [31]



*Obr. 2.7. Lokální větrací jednotka s rekuperací Air 70 [31]*

### 2.3.3. Příprava teplé vody

Teplá voda slouží pro potřebu uživatelů na mytí, sprchování a úklid. Může se připravovat centrálně, nebo pomocí decentralizovaných individuálních zařízení. Dále se rozlišuje zásobníkový ohřev a průtokový ohřev.

**Centrální příprava** vody má hlavní výhodu, že se jedná o jedno zařízení, tedy se minimalizují náklady na údržbu a také se minimalizují přívodní trasy energonositelů jako je plynovodní potrubí. Nevýhodou tohoto řešení mohou být delší trasy přívodního potrubí rozvádějící teplou vodu od zdroje ke spotřebiteli. Pro dosažení komfortu na vzdálených výtocích, aby teplá voda byla k dispozici po otevření kohoutku, je potřeba cirkulace, která zvýší potřebu energie vlivem ztrát na potrubí. Centrální příprava teplé vody se tedy používá pro domy, které jsou kompaktní a mají krátké potrubí od zdroje k místu spotřeby. [32]

**Decentralizované řešení** má naopak složitější přívod energonositelů ke všem zdrojům teplé vody a jejich údržbu. Naopak voda je připravována přímo na místě spotřeby, tedy se minimalizují ztráty. Používá se pro objekty, které jsou velice členité a k odběru TV dochází jen nárazově. [32]

**Zásobníkový ohřev** zajišťuje dostatečnou zásobu teplé vody pro nárazový odběr při nízkém příkonu zdroje. Voda se průběžně nahřívá a udržuje teplá, k tomu stačí malý instalovaný příkon. Z akumulace teplé vody ale vyplývají i tepelné ztráty, které navyšují potřebu tepla. [32]

U **Průtokového ohřevu** jsou minimalizované tepelné ztráty na úkor potřeby velkého nárazového příkonu, který musí ohřát vodu při jejím protečení přes teplosměnnou plochu na požadovanou teplotu. [32]

Pro rodinné domy, jako řeší diplomová práce je nejvhodnější řešení centralizovaná příprava TV se zásobníkovým ohřevem. Do tohoto zásobníku je totiž možné akumulovat teplo i z alternativních zdrojů, jako jsou solární fototermitické kolektory.

#### **2.3.4. Chlazení**

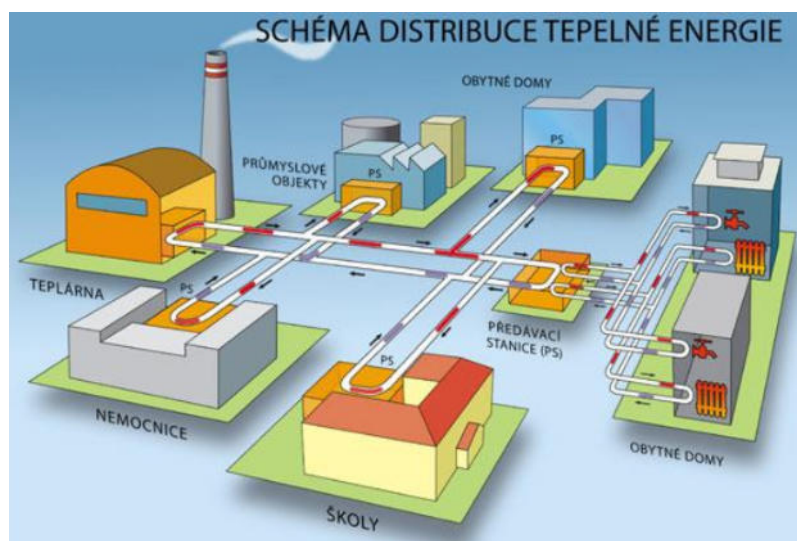
Strojní chlazení je energeticky velice náročné proto je u nízkoenergetických staveb snaha strojní chlazení nevyužívat. Proto se u takových budov uvažuje přirozené chlazení, kde se využívá poklesu teploty venkovního vzduchu v nočních hodinách pro „akumulaci“ chladu do stavebních konstrukcí. [33]

## 2.4. Zdroje tepla a energie

Vhodná volba zdrojů tepla a energie v sobě zahrnuje spoustu proměnných, jako například dostupnost zdrojů tepla v dané lokalitě, umístění a účel budovy, a také optimální poměr investičních a provozních nákladů s ohledem na energetické a ekologické hodnocení budovy, dle možností investora. Každý zdroj má své výhody a nevýhody, které jsou níže specifikovány.

### 2.4.1. Centralizované zásobování teplem

Centralizované zásobování teplem je tepelná síť mezi budovami nebo městy, kde je otopná voda připravována centrálně v teplárně nebo výtopně. Takto řešené vytápění má minimalizovat emise v zastavěné oblasti vlivem centralizovaného spalování s kvalitnějším spalováním a nižšími emisemi. Síť CZT může být na otopnou soustavu napojena přímo (tlakově závislé připojení), nebo se častěji využívají domovní předávací stanice, kde se nachází výměník tepla a otopná voda z CZT ohřívá otopnou vodu objektu bez jejich vzájemného mísení (tlakově nezávislé připojení). Pokud je CZT v lokalitě dostupné, je třeba ho zpravidla využít jako zdroje tepla, pokud není k dispozici analýza, že vysoká cena odběratele tepla je oproti jiným řešením zcela neekonomická. Centralizované zásobování teplem je zatíženo významnými tepelnými ztrátami v závislosti na předávaném výkonu soustavy, teplovodní úrovni, rozloze, topografii, apod. Poměrné tepelné ztráty se zpravidla pohybují mezi 5 a 15 %, u starších sítí CZT to může být i více. [34]



Obr. 2.8. Centralizované zásobování teplem [34]

### 2.4.2. Spalovací zařízení

Kotle a kamna slouží k přeměně energie, obsažené v palivu, spálením na energii tepelnou, vhodnou pro vytápění nebo přípravu TV. Dělí se podle typu paliva na tuhá paliva a zemní plyn.

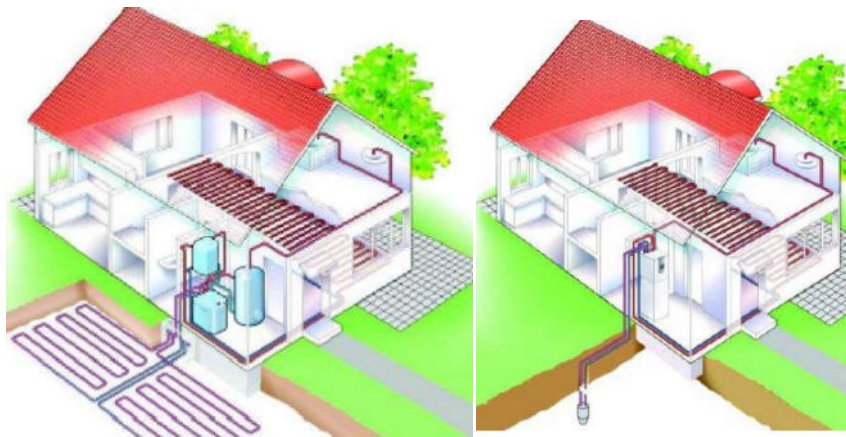
Mezi tyto kotle na **tuhá paliva** patří kotle na uhlí, kusové dřevo a pelety. V dnešní době se upouští od kotlů na uhlí, jelikož mají nižší účinnost a při spalování vznikají vyšší emise než u plynových kondenzačních kotlů. Jsou nahrazovány automatickými kotli na biomasu, jako například kotle a kamna na pelety. Pelety jsou ekologické obnovitelné palivo tvořené především dřevní a rostlinou biomasou. Nevýhodou těchto zdrojů je potřeba řešit přísun paliva, prašnost a vynášení popela. Sezónní účinnost kotlů na tuhá paliva s automatickým přikládáním se v TNI 73 0331 pohybuje okolo 71 % s akumulací až okolo 79 %. [35]

Kotle na **zemní plyn** jsou v dnešní době nejvíce využívané pro jejich jednoduchost, vysokou účinnost v kondenzačním režimu a také jejich bezúdržbovost. Zemní plyn je přiveden do hořáku, kde se smísí se vzduchem, zapálí se a spaliny ohřívají přes výměník otopnou vodu. U kondenzačních kotlů jsou spaliny vratnou vodou ochlazovány až pod rosný bod spalin, tedy zkondenzují a využije se i latentní teplo spalin. Sezónní stupeň využití kondenzačních kotlů se pohybuje okolo 93 %. [35]

### 2.4.3. Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla převádí teplo pomocí kompresorového oběhu z nižší nevyužitelné teplotní hladiny (nizkopotenciální teplo) na vyšší teplotní hladinu využitelnou pro vytápění a přípravu teplé vody. Fungují na stejném principu, jako kompresorové chlazení, pouze zde se využívá jako zdroj tepla kondenzátor, který teplo produkuje. Pro pohon kompresoru se nejčastěji využívá elektrická energie. Účinnost tepelného čerpadla vyjadřuje hodnota topného faktoru *COP*. Jedná se o podíl využitelného tepla vyprodukovaného tepelným čerpadlem, ke spotřebě elektrické energie na jeho provoz. Tepelná čerpadla získávají teplo z okolí objektu a mohou využívat různé zdroje nizkopotenciálního tepla.

Při použití **energie zemského masivu** se využívá chlazení masivu zemními výměníky tepla napojenými na výparník tepelného čerpadla. Existují dvě varianty provedení: plošný kolektor a zemní sondy. U plošného kolektoru je potrubí meandrově položeno do hloubky asi 1,5 m pod zem, kdežto zemní sondy jsou tvořeny svislými hlubokými vrty, do kterých je vloženo potrubí a zalito bentonitovou směsí. (viz obr. 2.9). [36]



*Obr. 2.9. Plošný kolektor a zemní sonda [36]*

Energie **vody** je málo používaná protože vyžaduje velice specifické podmínky a protože je potřeba velké množství vody. Lze využít spodní vody, tehdy se vykopou dvě studny, jedna slouží jako čerpací a druhá jako vsakovací. Zde je potřeba dostatečná vydatnost studny. Dále lze využít geotermální vody, ale ta je velice ojedinělá. Poslední možností je povrchová voda, kdy se trubkový kolektor připevní na dno jezera, rybníka nebo řeky. [36]

V České republice se velice využívá **energie okolního vzduchu**. Venkovní vzduch je ventilátorem dopraven do výměníku s výparníkem, kde se ochlazuje. Oproti zemi a vodě je zde problém, že teplota vzduchu je během roku značně nestálá a při největší potřebě tepla má tepelné čerpadlo nejnižší topný výkon a účinnost (topný faktor). V určité části roku pak dochází namrzání výparníku. Odmrazování pak snižuje celkovou efektivitu provozu. Tepelná čerpadla se používají jako bivalentní zdroj s druhým špičkovým zdrojem, který je zpravidla tvořen elektrickým topným tělesem (integrovaná součást tepelného čerpadla). [36]

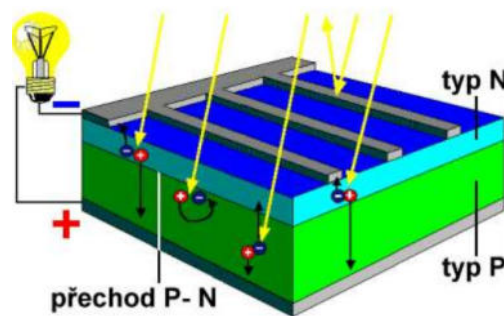
U hodnoty  $COP$ , která udává efektivitu tepelného čerpadla, záleží na teplotě nízkopotencionálního zdroje tepla (teplotě teplotonosné látky vstupující do výparníku) a teplotní úrovni systému ohřevu (teplotě otopné vody na výstupu z kondenzátoru). Obecně platí, čím vyšší teplota nízkoteplotního zdroje a čím nižší teplota ohřívání vody, tím lepší hodnota  $COP$ . Teplotu nízkopotenciálního zdroje tepla lze ovlivnit pouze volbou zdroje, ale požadovanou teplotu můžeme ovlivnit použitým typem otopné soustavy nebo teplotním nastavením přípravy TV. Typické hodnoty jmenovitého topného faktoru při jmenovitých podmínkách dle ČSN EN 14511-2 jsou uvedeny v tabulce 2.8. Zde jsou uvedeny hodnoty pro požadovanou teplotu 35 °C, v praxi se používají hodnoty vyšší, s tím souvisí nižší hodnota  $COP$ .

Tab. 2.8. Typické jmenovité hodnoty  $COP_H$  tepelných čerpadel [35]

Druh tepelného čerpadla	Podmínky Zdroj energie / Odvod energie (°C/°C)	$COP_H$ [-]
Zemina / voda	0 / 35	4,3
Spodní voda / voda	10 / 35	5,1
Venkovní vzduch / voda	2 / 35	3,1

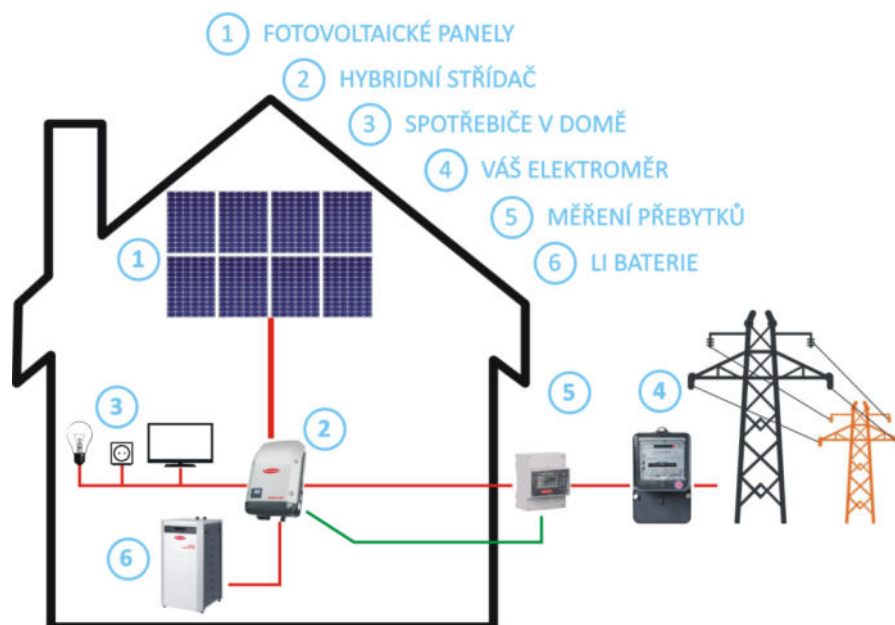
#### 2.4.4. Fotovoltaika

Fotovoltaika je technologie, která umožňuje svým uživatelům produkovat svoji vlastní elektrickou energii, využívající obnovitelného zdroje energie - slunečního záření. Ve fotovoltaických panelech dochází k přímé přeměně slunečního záření na stejnosměrný proud pomocí fotoelektrického jevu. Tento jev vzniká na přechodu polovodičů P-N. Polovodič typu N má nadbytek volných elektronů, polovodič P jejich nedostatek. Rozhraní mezi polovodiči zamezuje přirozený tok elektronů. Dopadem slunečního záření na článek dochází k uvolňování elektronů, které se díky P-N přechodu hromadí ve vrstvě N, tím na článku vzniká napětí. Připojením spotřebiče se elektrony rozpo pohybují a vznikne elektrický proud. [37] [38]



Obr. 2.10. Fotovoltaický článek [37]

Takto vyrobený elektrický proud je sveden elektrodami a vodiči do střídače, kde je stejnosměrný proud převeden na střídavý proud s frekvencí shodnou s distribuční sítí. Elektrická energie z fotovoltaického systému může napájet spotřebiče v domě. Pokud fotovoltaická elektrárna produkuje více energie, než je aktuální spotřeba, lze tuto energii akumulovat do baterií, nebo jí využít pro zásobníkovou přípravu teplé vody. Pokud daná instalace neobsahuje akumulaci, nebo akumulace má již plnou kapacitu, jsou přebytky el. energie prodávány do sítě. Schéma zapojení domácí fotovoltaické elektrárny je na obrázku 2.11. [37] [38]



Obr. 2.11. Schéma zapojení FV elektrárny [39]

Existují dva hlavní typy fotovoltaických panelů:

**Krystalické** panely jsou komerčně nejrozšířenější (až 84 % trhu). Jsou sestaveny z více napojených článků vyrobených z krystalického křemíku. Jejich účinnost se pohybuje od 13 % do 20 % v závislosti na typu a teplotě. Krystalické panely se rozlišují podle typu výroby. U monokrystalických panelů je každý článek odříznut z velkého ingotu, který je tvořen monokrystalem. Tyto panely mají vyšší účinnost okolo 16-18 %. U polykrystalických panelů je článek odříznut z odlitku, který je tvořen velkým počtem homogenních krystalů. Zde je účinnost na úrovni 13-16 % [38]

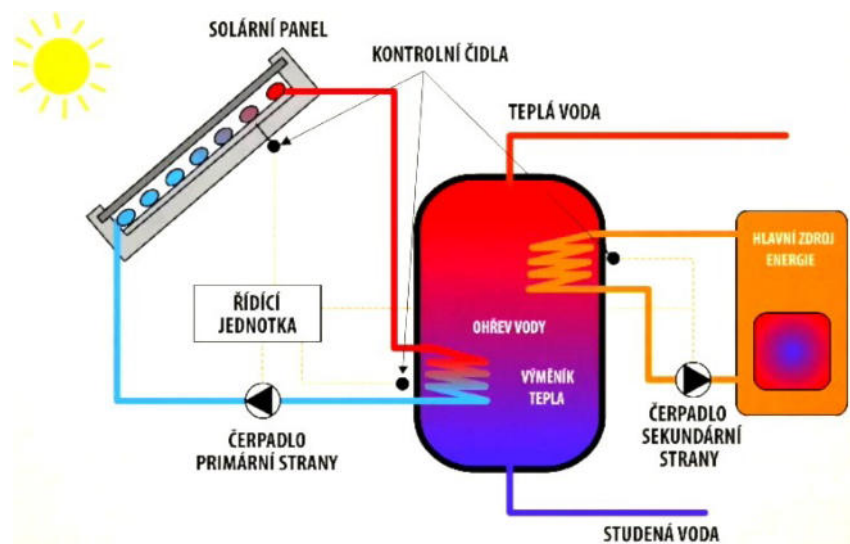


**Tenkovrstvé** panely nejsou tolik rozšířené jako krystalické. Nejvíce zastoupený je panel z amorfního křemíku, ten má na trhu podíl 12 %. Oproti panelům krystalickým je hlavní rozdíl v jejich výrobě. Články nejsou řezány jako u krystalických panelů, ale jsou vyráběny nanesením tenké vrstvy amorfního křemíku na podkladový materiál. Což má výhodu menší tloušťky vrstvy  $< 1 \mu\text{m}$ , a s tím související menší spotřebu materiálu. Další výhodou je, že účinnost s rostoucí teplotou klesá podstatně pomaleji. Ovšem účinnost těchto článků se pohybuje okolo 5-7 %. [38]

Existují i další varianty panelů s vyšší účinností na bázi tandemu prvků nebo nanotechnologie, ty jsou ale drahé, proto se téměř nepoužívají. [38]

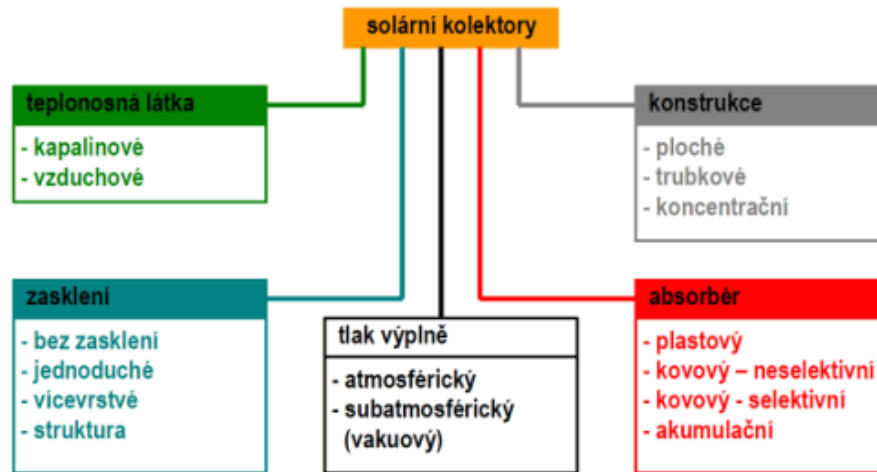
#### 2.4.5. Fototermické solární kolektory

Solární kolektory využívají přímé přeměny slunečního záření na teplo. Sluneční záření dopadne na teplosměnnou plochu, kde se absorbuje a přemění se na teplo. Teplo je odváděno kapalinou (nemrznoucí směsí) do výměníku, který sdílí teplo zpravidla do vody v zásobníku tepla pro akumulaci pro pozdější využití, jak je znázorněno na schématu na obrázku 2.12.



Obr. 2.12. Schéma zapojení termických kolektorů [41]

Nejpoužívanější solární kolektory jsou kapalínové (ploché a trubkové), méně používané jsou vzduchové kolektory nebo kolektory koncentrační. Jejich celkové rozdělení je na obrázku 2.13. [40]

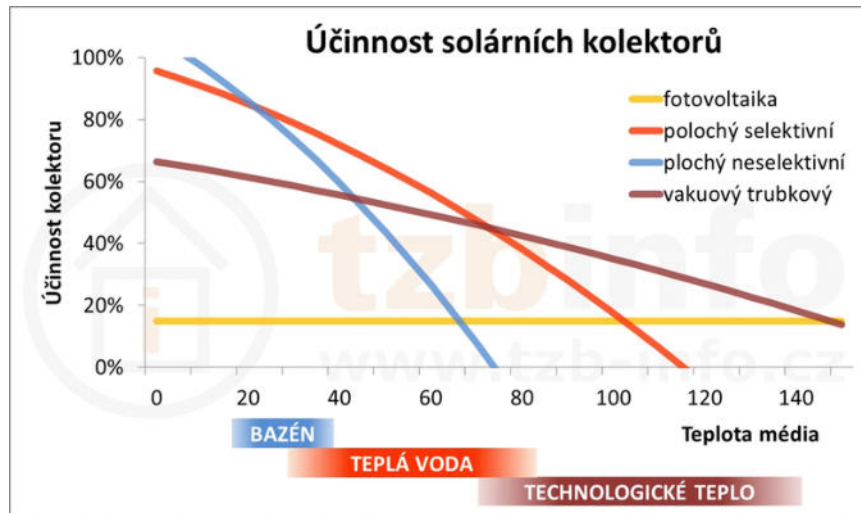


Obr. 2.13. Rozdělení termických kolektorů [40]

**Ploché kolektory bez zasklení** mají vysokou tepelnou ztrátu, tudíž výkon je značně závislý na okolních podmínkách. Používají se pro instalace, kde stačí ohřev do 20 K nad teplotu okolí, jako je ohřev bazénové vody, nebo primární okruh tepelného čerpadla. [40]

**Ploché kolektory se zasklením** se dělí podle typu povlaku na selektivní a neselektivní. Pokud je použita selektivní vrstva, zmenší se tepelné ztráty sáláním. U plochých kolektorů se pro zasklení používá solární sklo, které minimalizuje odraz, pohltivost a zvýší propustnost záření. Aby se minimalizovaly tepelné ztráty vedením, je absorbér umístěn do rámu, který je ze spodní strany izolován tepelnou izolací. Ploché kolektory mají vysokou účinnost při nízkých teplotách výstupní vody, s rostoucí teplotou ale rostou také tepelné ztráty, a klesá účinnost, viz obrázek 2.14. [40]

**Trubkové kolektory** mají absorbér umístěn ve skleněné vakuové trubici, která minimalizuje tepelné ztráty. Proto jsou trubkové kolektory vhodnější při požadavku vyšší teploty požadované teplonosné látky, a pro využití v zimním období. Účinnost při požadavku nižší teploty teplonosné látky mají nižší, než ploché kolektory, ale pro vyšší požadované teploty mají účinnost vyšší, jak je znázorněno na obrázku 2.14. [40]



Obr. 2.14. Účinnost solárních kolektorů [42]

Solární tepelné kolektory mají podobné nevýhody jako fotovoltaické panely, jako je nestálost záření a zmenšení výkonu v zimních měsících. Oproti fotovoltaice však produkovaná tepelná energie není tolik univerzální jako elektrická. [42]

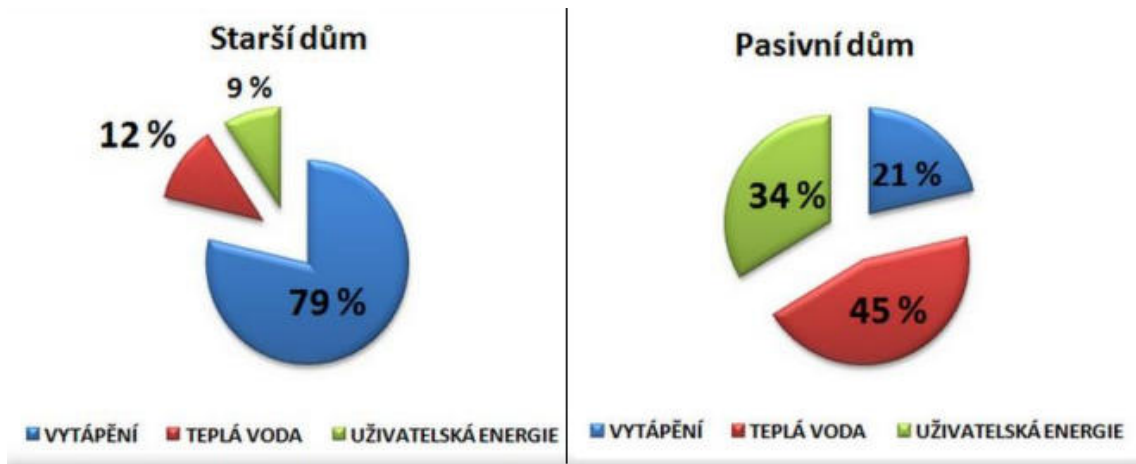
### 3. Energetické hodnocení budov

V této kapitole jsou popsány výpočtové metody pro stanovení potřeby tepla na vytápění, přípravu teplé vody a potřebu elektrické energie, včetně domácích spotřebičů. Výpočtové metody nevycházejí přesně z normových metod, nicméně respektují fyzikální zákonitosti a okrajové podmínky užívání budovy pro správné určení potřeby. Snahou je získat údaje o reálné potřebě energie. V druhé části kapitoly jsou uvedeny výpočtové metody pro bilancování obnovitelných zdrojů energie (solární tepelná soustava, fotovoltaický systém, tepelné čerpadlo).

#### 3.1. Potřeba energie

Potřeba energie rodinného domu je tvořena potřebou tepla na vytápění, na přípravu teplé vody a potřebou elektrické energie na osvětlení, provoz spotřebičů, případně prvků pro zajištění vnitřního komfortu. Staré rodinné domy měly velkou tepelnou ztrátu, tudíž největší část potřeby energie byla potřeba tepla na vytápění. Díky snižování potřeby na vytápění vlivem zateplování a účinnějších zdrojů tento poměr

razantně klesl. V nízkoenergetických a pasivních domech je nyní procentuálně větší potřeba energie na teplou vodu a potřeby elektrické energie než na vytápění. Důvod tohoto procentuálního navýšení je takový, že v těchto odvětvích již nelze tak markantně snížit potřebu energie bez vlivu na komfort uživatele. (viz graf na obrázku 3.1.)



Obr. 3.1. Rozložení potřeby energie [43]

### 3.1.1. Vytápění

Potřeba energie na vytápění se obecně stanovuje v souladu s normou ČSN EN ISO 52016-1. V diplomové práci je použito zjednodušeného postupu, který je však v základních principech výpočtu v souladu s touto normou (a předchozími ČSN EN 832, ČSN EN ISO 13790). Potřeba tepla na vytápění se stanovuje měsíční metodou, pro každý měsíc se stanoví tepelná ztráta, tepelný zisk a jeho možnost využití pro krytí potřeby tepla.

Roční potřeba tepla na vytápění je dána součtem potřeb tepla v jednotlivých měsících. Měsíční **potřeba tepla na vytápění**  $Q_{VYT}$  je dána vztahem

$$Q_{VYT} = Q_L - \eta \cdot Q_G ; \quad (3.1.)$$

kde je

- $Q_L$  – tepelná ztráta [Wh];
- $\eta$  – stupeň využití solárních zisků [-];
- $Q_G$  – tepelné zisky [Wh].

Nejprve se stanoví **tepelná ztráta**  $Q_L$  [Wh];

$$Q_L = H(t_i - t_e) \cdot \tau ; \quad (3.2.)$$

kde je

- $H$  – měrná tepelná ztráta budovy [W/K];
- $t_i$  – požadovaná teplota interiéru [°C];
- $t_e$  – průměrná venkovní teplota během čas. úseku (měsíce) [°C];
- $\tau$  – čas [h].

Měrná tepelná ztráta budovy je dána vztahem (3.3.)

$$H = H_T + H_V ; \quad (3.3.)$$

kde je

- $H_T$  – měrná tepelná ztráta prostupem [W/K];
- $H_V$  – měrná tepelná ztráta větráním [W/K];

Výpočet  $H_T$  je převzatý z normy ČSN EN 12831 zjednodušeně lze tento výpočet shrnout do vztahů

$$H_T = H_{T,e} + H_{T,g} = \sum(A_i \cdot U_i) + (0,5 \cdot A_p \cdot U_{ekv}); \quad (3.4.)$$

kde je

- $H_{T,g}$  – měrná tepelná ztráta prostupem zeminou [W/K];
- $H_{T,e}$  – měrná tepelná ztráta prostupem obálkou budovy [W/K];
- $A_i$  – plocha i-tého prvku [m<sup>2</sup>];
- $A_p$  – plocha podlahy na terénu [m<sup>2</sup>];
- $U_{ekv}$  – ekvivalenční součinitel prostupu tepla podlahou [W/m<sup>2</sup>·K];
- $U_i$  – součinitel prostupu tepla i-té konstrukce [W/m<sup>2</sup>·K];  
dán:  $U_i = U_{k,i} + \Delta U_{tb,i}$  ;
- $U_{k,i}$  – deklarovaný součinitel prostupu tepla i-té konstrukce [W/m<sup>2</sup>·K];
- $\Delta U_{tb,i}$  – přírážka zohledňující tepelné vazby ( $\Delta U_{tb,i} = 0,05$ ) [W/m<sup>2</sup>·K].

Měrná tepelná ztráta větráním  $H_V$  se nepočítá stejně jako v ČSN EN 12831, neboť pro reálné provozní podmínky je nutné uvažovat s jinými průtoky (než návrhovými) a zároveň větrná expozice během otopného období je jiná než v extrémní část roku. Měrná tepelná ztráta se stanoví jako

$$H_V = \dot{V} \cdot \rho \cdot c = (\dot{V}_f \cdot (1 - \eta_{ZZT}) + \dot{V}_x) \cdot \rho \cdot c ; \quad (3.5.)$$

kde je

- $\dot{V}$  – průtok vzduchu v budově [ $\text{m}^3/\text{h}$ ];
- $\rho \cdot c$  – tepelná kapacita vzduchu ( $\rho \cdot c = 0,34 \text{ Wh}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$ );
- $\dot{V}_f$  – průtok vzduchu nuceným větráním [ $\text{m}^3/\text{h}$ ];
- $\eta_{ZZT}$  – účinnost zpětného získávání tepla [-];
- $\dot{V}_x$  – průtok vzduchu infiltrací [ $\text{m}^3/\text{h}$ ].

Provozní průtok nuceným větráním  $\dot{V}_f$  je dán

$$\dot{V}_f = 0,7 \cdot k \cdot i \quad (3.6.)$$

kde je

- $k$  – počet osob [os];
- $i$  – provozní dávka čerstvého vzduchu na osobu ( $i=25 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

Průtok infiltrací  $\dot{V}_x$  dán

$$\dot{V}_x = V_i \cdot n_{50} \cdot e ; \quad (3.7.)$$

kde je

- $V_i$  – vnitřní objem budovy [ $\text{m}^3$ ];
- $n_{50}$  – intenzita větrání budovy při rozdílu tlaku 50Pa ( $n_{50}=0,6 \text{ l/h}$ );
- $e$  – součinitel větrné expozice ( $e=0,01$ ) [-].

Po výpočtu tepelných ztrát se určí **tepelné zisky**  $Q_G$  [Wh], jsou dány vztahem

$$Q_G = Q_i + Q_s ; \quad (3.8.)$$

kde je

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

Vnitřní zisky  $Q_i$  [Wh] zohledňují tepelný zisk od lidí a spotřebičů. Počítá s přítomností lidí 70 % času a jedna osoba vyprodukuje metabolickým teplem, využíváním spotřebičů a svícením 100 W/os k tomu se připočte 100W na trvalý zisk bytové jednotky [16]

$$Q_i = (0,7 \cdot k \cdot 100 + 100) \cdot \tau ; \quad (3.9.)$$

kde je

$k$  – počet osob [os];

$\tau$  – časový úsek, pro který je zisk počítán (měsíc) [h].

Solární zisky  $Q_s$  [Wh] se stanovují z množství slunečního záření dopadajícího na plochu. Touto plochou se rozumí ekvivalentní účinná plocha, kterou záření proniká do objektu.

$$Q_s = \sum I_{s,j} \cdot \sum A_s ; \quad (3.10.)$$

kde je

$I_{s,j}$  – dávka měsíčního slunečního ozáření [kWh/m<sup>2</sup>·měsíc];

$A_s$  – účinná plocha zaskleného prvku [m<sup>2</sup>].

Účinnou sběrnou plochu  $A_s$  [m<sup>2</sup>] zaskleného prvku udává vztah.

$$A_s = A \cdot F_S \cdot F_C \cdot (1 - F_F) \cdot g ; \quad (3.11.)$$

kde je

$A$  – pohledová plocha otvoru [m<sup>2</sup>];

$F_S$  – korekční činitel trvalého stínění

(v průměru uvažována pro obě podlaží hodnota 0,8) [-];

$F_C$  – korekční činitel clonění ( $F_c=1$  pokud se nejedná o trvale cloněné prvky) [-];

$F_F$  – korekční činitel rámu (podíl rámu a zasklení byl vypočten z geometrie oken s uvažováním tloušťky rámu 10cm) [-];

$g$  – celková propustnost sluneční energie [-].

**Stupeň využití** solárních zisků udává procentuální možnost využití solárních zisků na krytí potřeby tepla. Počítá se dle vztahů:

$$\eta = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}} \quad (\text{pro } \gamma \neq 1); \quad (3.12.)$$

$$\eta = \frac{a}{a+1} \quad (\text{pro } \gamma = 1); \quad (3.13.)$$

kde je

- $\gamma$  – poměr tepelných zisků a ztrát ( $\gamma = Q_G/Q_L$ ) [-];
- $a$  – numerický parametr závislý na časové konstantě [-].

$$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0}; \quad (3.14.)$$

kde je

- $a_0$  – numerický parametr pro měsíční metodu  $a_0 = 1$  [-];
- $\tau$  – časová konstanta budovy závislá na její tepelné kapacitě [h];
- $\tau_0$  – referenční časová konstanta  $\tau_0=16$  [h].

Výsledná vypočtená měsíční a roční potřeba tepla na vytápění, je navýšena o **5 %**, kvůli zohlednění účinnosti otopné soustavy a účinnosti sdílení tepla. Je označena jako  $Q_{VYT+5\%}$ .

### 3.1.2. Příprava teplé vody

Výpočet potřeby tepla na přípravu teplé vody vychází z normy ČSN 06 0320 a upraveného výpočtu potřeby tepla na přípravu teplé vody na tzb-info.cz Výpočet vychází z určení potřeby tepla za periodu 24 h. Následně je tato denní potřeba použita pro výpočet měsíčních a ročních hodnot.

Nejprve se spočítá denní potřeba tepla na přípravu teplé vody  $Q_{TV,d}$  podle vztahu

$$Q_{TV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \text{ [kWh]}; \quad (3.15.)$$

Kde je

- $z$  – koeficient tepelných ztrát  $z=0,3$  [-];
- $\rho$  – hustota vody,  $\rho=1000$  kg/m<sup>3</sup>;
- $c$  – měrná tepelná kapacita vody  $c=4186$  J/kg·K;
- $t_1$  – teplota studené vody  $t_1= 10$  °C;
- $t_2$  – teplota teplé vody  $t_2= 55$  °C;
- $V_{2p}$  – denní potřeba teplé vody [m<sup>3</sup>].



Poté se spočte potřeba tepla v jednotlivých měsících  $Q_{TV,m}$  s ohledem na teplejší vodu v letních měsících podle vzorce 3.16.

$$Q_{TV,m} = Q_{TV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d) \text{ [kWh]}; \quad (3.16.)$$

kde je

$Q_{TV,d}$  – denní potřeba tepla na přípravu teplé vody [kWh];

$d$  – počet dnů v měsíci, které patří do otopného období [den];

$t_{svz}$  – teplota studené vody v zimě,  $t_1 = 10$  °C;

$t_{svl}$  – teplota studené vody v létě,  $t_1 = 15$  °C;

$N$  – počet dní v měsíci [den].

Celková roční potřeba tepla na teplou vodu  $Q_{TV}$  je poté součet potřeb v jednotlivých měsících.

$$Q_{TV} = \sum Q_{TV,m} \quad (3.17.)$$

### 3.1.3. Elektrická energie

#### Umělé osvětlení

Potřeba elektrické energie na umělé osvětlení vychází z roční měrné spotřeby elektrické energie na osvětlení, uvedené v TNI 73 0331 viz tab. 3.1. Měrná roční spotřeba je vztažena k podlahové ploše.

Tab. 3.1. Měrné roční potřeby el. energie na umělé osvětlení [35]

Typ zóny	Měrná roční spotřeba na osvětlení [kWh/m <sup>2</sup> ·rok]
Rodinné domy – obytná část (pro plochu 71,5-150 m <sup>2</sup> )	4,5
Rodinné domy - společné prostory	0,6

V letních měsících je vlivem delší doby slunečního svitu potřeba umělého osvětlení nižší, v zimních je tomu naopak. Proto se vypočte průměrná měsíční potřeba, která se následně roznásobí činitelem podílu spotřeby el. energie na osvětlení pro daný měsíc. Činitele podílu se získají z normy TNI 73 0331 a jsou uvedeny v tab. 3.2.

Tab. 3.2. Měsíční činitelé podílu el. en. na osvětlení [35]

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$f_{L,j} (-)$	1,52	1,25	1,04	0,85	0,70	0,65	0,65	0,70	0,87	1,03	1,24	1,50

### Potřeba na provoz spotřebičů

Při výpočtu byl použit zdroj kalkulačka energie [55] a technické listy spotřebičů. Potřeba elektrické energie jednotlivých spotřebičů  $E$  se stanoví vztahem

$$E = P \cdot t \text{ [Wh]}; \quad (3.18.)$$

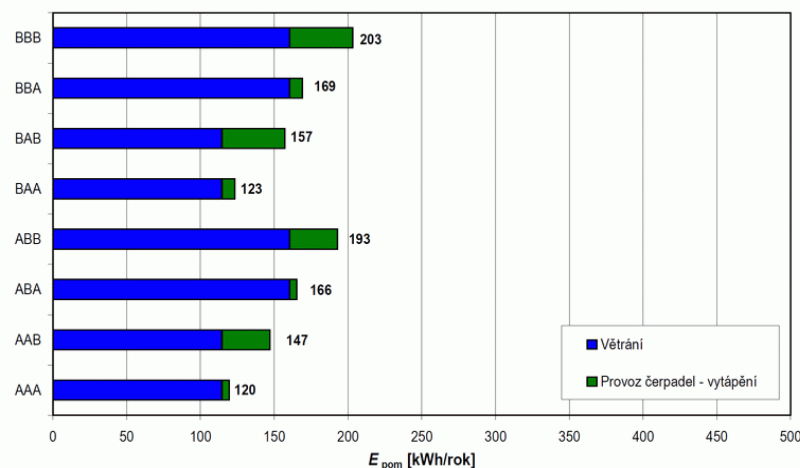
kde je

- $P$  – příkon spotřebiče [W];
- $t$  – čas používání spotřebiče [h].

Dle odhadu využití spotřebičů byla vypočtena týdenní spotřeba každého spotřebiče, která se následně vynásobením počtem týdnů v roce použila k získání roční potřeby jednotlivých spotřebičů. Součtem těchto hodnot vyšla celková roční potřeba elektrické energie na provoz spotřebičů, ta byla následně poměrově rozpočítána do jednotlivých měsíců.

### Potřeba pomocné energie na chod systémů

Zde byly použity hodnoty z analýzy potřeby pomocné energie v pasivním domě, kterou v roce 2012 vypracoval doc. Ing. Tomáš Matuska, Ph.D. a Ing. Martin Zajíc. [44] Výsledné potřeby pomocné energie pro jednotlivé hodnocené varianty jsou uvedeny na obr. 3.15., kde označení variant je řešeno písmeny A (více úsporné), B (méně úsporné), a pořadí písmen značí daný systém. První písmeno značí průtok vytápění, druhý průtok větráním a třetí druh čerpadla. [44]



Obr. 3.2. Výsledek analýzy [44]

## 3.2. Bilance obnovitelných zdrojů energie

### 3.2.1. Solární tepelná soustava

Pro bilancování solární tepelné soustavy byla použita norma TNI 73 0302, která používá zjednodušený výpočtový postup, který je vhodný pro výpočet v běžném tabulkovém procesoru, při využití minimalizovaného počtu vstupních údajů. V bilančním výpočtu se uvažuje s využitím solárního systému pro pokrývání potřeby tepla na teplou vodu. Výpočet je dán následujícím postupem.

Měsíční teoreticky využitelný tepelný zisk ze solární soustavy  $Q_{k,u}$  [kWh/měs], je dán vztahem

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_T \cdot A_k \cdot (1 - p); \quad (3.19.)$$

kde je

- $\eta_k$  – střední měsíční účinnost solárního kolektoru [-];
- $H_T$  – měsíční dávka slunečního ozáření z normy,  
TNI 73 0331[kWh/m<sup>2</sup>·měs];
- $A_k$  – plocha apertury všech solárních kolektorů [m<sup>2</sup>];
- $p$  – hodnota srážky z tepelných zisků solárních kolektorů [-];

Hodnota srážky  $p$  se pro případ přípravy teplé vody vypočítá podle následující rovnice:

$$p = \frac{0,26}{A_k} + 100 \cdot \frac{A_k}{Q_{p,TV}}; \quad (3.20.)$$

kde je

- $Q_{p,TV}$  – celková roční potřeba tepla pro danou aplikaci [kWh/rok].

Střední měsíční účinnost  $\eta_k$  [-] solárního kolektoru se stanoví z rovnice křivky účinnosti

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}}; \quad (3.21.)$$

kde je

- $G_{T,m}$  – střední denní sluneční ozáření uvažované plochy solárního kolektoru,  
uvedené v normě TNI 73 0302 [W/m<sup>2</sup>];
- $t_{k,m}$  – střední teplota teplotonosné kapaliny v solár. kol. v průběhu dne [°C];

- $t_{e,s}$  – střední venkovní teplota v době slunečního svitu, uvedené v normě  
 TNI 73 0302 [ $^{\circ}\text{C}$ ];  
 $\eta_0$  – účinnost solárního kolektoru při nulových tepelných ztrátách [-];  
 $a_1$  – lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru [ $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ];  
 $a_2$  – kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru [ $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}^2$ ].

Hodnota střední teploty teplonosné kapaliny  $t_{k,m}$  se uvažuje celoročně konstantní a stanoví se pro přípravu teplé vody dle následující rovnice

$$t_{k,m} = 25 + 11\,000 \cdot \frac{A_k}{Q_{p,TV}}; \quad (3.22.)$$

kde je

- $A_k$  – plocha apertury všech solárních kolektorů [ $\text{m}^2$ ];  
 $Q_{p,TV}$  – celková roční potřeba tepla pro danou aplikaci [ $\text{kWh}/\text{rok}$ ].

Využitelné zisky solární soustavy  $Q_{ss,u}$  [ $\text{kWh}/\text{měs}$ ] pokrývající měsíční potřebu tepla pro přípravu teplé vody se vyjádří jako průnik potřeby tepla na přípravu teplé vody a teoreticky využitelných zisků solární soustavy

$$Q_{ss,u} = \min(Q_{k,u}; Q_{p,TV}). \quad (3.23.)$$

Celkové roční využitelné tepelné zisky solární soustavy  $Q_{ss}$  [ $\text{kWh}/\text{rok}$ ] se stanoví jako součet měsíčních hodnot. Ze stanovených ročních využitelných zisků je možné určit měrné roční využití tepelné zisky  $q_{ss}$  [ $\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{rok}$ ] jako

$$q_{ss} = \frac{\sum Q_{ss,u}}{A_k}. \quad (3.24.)$$

Solární podíl  $f$  vyjádřený v procentech uvádí procentní pokrytí potřeby tepla na přípravu teplé vody tepelnými zisky solární soustavy. Stanoví se z ročních hodnot využitých tepelných zisků  $Q_{ss}$  a celkové potřeby tepla pro přípravu teplé vody  $Q_{p,TV}$  podle vztahu

$$f = 100 \cdot \frac{Q_{ss,u}}{Q_{p,c}}. \quad (3.25.)$$

### 3.2.2. Fotovoltaický systém

Fotovoltaický systém byl bilancován pomocí zjednodušené bilanční metody, která byla zpracována v roce 2015 doc.Ing. Tomášem Matuškou Ph.D. publikovanou v časopise VVI 5/2015. Tento postup výpočtu produkce elektrické energie je metodicky podobný zavedenému zjednodušenému výpočtovému postupu pro bilancování solární tepelné soustavy uvedeném v normě TNI 73 0331, je však přizpůsobený specifickým vlastnostem FV systémů. Postup umožňuje zohlednit vliv teploty FV článků a vliv úrovně slunečního ozáření během roku na účinnost modulů. Postup uvažuje i elektrické ztráty na DC a AC vedení a ztráty měniče. [45]

Měsíční produkce elektrické energie FV systémem  $E_{FV,sys}$  [kWh/měs] lze stanovit na základě měsíčních klimatických podmínek a předpokládaných elektrických ztrát z celkové měsíční účinnosti FV modulu podle vztahu

$$E_{FV,sys} = 0,9 \cdot \frac{\eta_{FV}}{100} \cdot H_T \cdot A_{FV} \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right); \quad (3.26.)$$

kde je

$H_T$  – měsíční dávka slunečního ozáření [kWh/m<sup>2</sup>·měs];

$A_{FV}$  – činná plocha instalovaných FV modulů [m<sup>2</sup>];

$\eta_{FV}$  – měsíční účinnost modulů [%];

$p$  – srážka vlivem elektrických ztrát [%].

Měsíční účinnost  $\eta_{FV}$  [%] se počítá na základě středních měsíčních hodnot klimatických údajů a parametrů modulu z technické specifikace vztahem

$$\eta_{FV} = \eta_{ref} \cdot \left\{ 1 + \frac{\gamma}{100} \left[ t_{e,s} + \left( 1 - \frac{\eta_{ref}/100}{0,95} \right) \right] \cdot \frac{G_m}{800} \cdot (NOCT - 20) - 25 \right\} \cdot \left( 1 + k \cdot \ln \frac{G_m}{1000} \right); \quad (3.27.)$$

kde je

$\eta_{ref}$  – referenční účinnost při normových zkušebních podmínkách [%];

$t_{e,s}$  – střední denní teplota venkovního vzduchu v době slunečního svitu [°C];

$G_m$  – střední sluneční ozáření [W/m<sup>2</sup>];

$NOCT$  – jmenovitá provozní teplota článku při normových zkušeb. podm. [°C];

$k$  – součinitel pro daný modul [-].

Součinitel modulu  $k$  [-] se spočítá podle vztahu

$$k = \frac{\Delta\eta_G}{\ln \frac{G}{G_{ref}}}; \quad (3.28.)$$

kde je

- $G$  – sluneční ozáření pro stanovení poklesu účinnosti ( $G = 200 \text{ W/m}^2$ );
- $G_{ref}$  – referenční ozáření ( $G_{ref} = 1000 \text{ W/m}^2$ );
- $\Delta\eta_G$  – relativní snížení účinnosti (při  $G = 1000 \text{ W/m}^2$  na  $200 \text{ W/m}^2$ ) [%].

Teplota fotovoltaického článku  $t_{FV}$  [°C] následně se vypočte pomocí vztahu

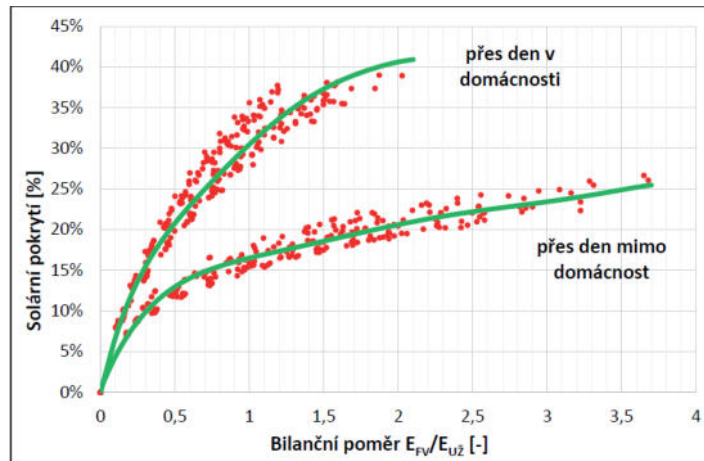
$$t_{FV} = t_{e,s} + \frac{G_m}{800} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{FV}/100}{\alpha}\right) \cdot (NOCT - 20) \quad (3.29.)$$

Roční produkce FV systému se stanoví součtem produkcí v jednotlivých měsících.

Průměrná účinnost systému  $\eta_{sys}$  [%] je poté vypočtena podle vztahu

$$\eta_{sys} = \frac{\sum E_{FV,sys}}{(\sum H_T \cdot A_{FV})}. \quad (3.30.)$$

Celková roční elektrická energie vyprodukovaná fotovoltaickými systémem je součtem měsíčních produkcí elektrické energie. Tato energie se využívá pro potřebu elektrické energie v rodinném domě a přebytky se prodávají do elektrické sítě. Jelikož roční i denní profil potřeby elektrické energie pro daný rodinný dům neznámý, bylo pro získání množství energie využitelné pro krytí potřeby v rodinném domě použito procenta solárního pokrytí. Procento solárního pokrytí uvádí, kolik procent produkované elektrické energie FV systémem, je možno využít na pokrytí potřeby elektrické energie rodinného domu. Toto procento vychází z analýzy, kterou v roce 2019 vytvořil Ing. Jiří Novotný a doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D. [48] Jedná se o analýzu, kde bylo použito generátoru pravděpodobného odběru pro 1 až 5 osob a profil obsazenosti „přes den převážně mimo domácnost“ a „přes den převážně v domácnosti. Výsledkem je graf na obrázku 3.3. kde je závislost solárního pokrytí na bilančním poměru produkované a potřebné energie. [48]



Obr. 3.3. Výsledek analýzy bilance FV [48]

Tento graf uvažuje pouze potřebu elektrické energie pro umělé osvětlení, provoz spotřebičů a pomocnou energii. Pro variantu, kde je použit, jako zdroj tepla tepelné čerpadlo je třeba využít grafu z analýzy, kde je do potřeby elektrické energie započtena potřeba elektrické energie i na provoz tepelného čerpadla. [49]

### 3.2.3. Tepelné čerpadlo

Bilance tepelného čerpadla je provedena zjednodušeným postupem podle normy TNI 73 0351. Jedná se o výpočtový postup, který je fyzikálně podložený a vychází z tzv. intervalové metody přejaté normou ČSN EN 15316-4-2. Metoda využívá údajů o teplotě venkovního vzduchu pro danou lokalitu v podobě výpočtových teplotních intervalů v rozlišení (1 K) charakterizovaných střední teplotou vzduchu a dobou trvání. Nicméně je postup do značné míry zjednodušený. Postup nerespektuje denní ani roční profil odběru teplé vody, vliv doby blokace tarifu elektrické energie, tepelné ztráty zásobníku tepla a teplé vody jsou zanedbány. Dále předpokládá konstantní provoz tepelného čerpadla a nezohledňuje vliv návrhu nízkopotenciálního zdroje tepla na skutečně dosahované teploty zdroje tepla. [46]

Výsledkem výpočtu jsou roční provozní parametry soustavy s tepelným čerpadlem, tzn. teplo dodané do tepelné soustavy vytápění a přípravy teplé vody tepelným čerpadlem a doplňkovým ohřivačem, potřeba elektrické energie pro pohon tepelného čerpadla a celková efektivita provozu soustavy s tepelným čerpadlem, včetně zahrnutí pomocné energie, je vyjádřena sezónním topným faktorem  $SPF$ . Bilancování TČ probíhá ve dvou režimech, v režimu přípravy teplé vody a režimu vytápění. Ve výpočtu je uvažována přednost přípravy teplé vody. [46]

Dostupné teplo z tepelného čerpadla  $Q_{k,TV,j}$  [kWh] pro přednostní **přípravu teplé vody** v daném teplotním intervalu  $j$  je dáno vztahem

$$Q_{k,TV,j} = \Phi_{k,TV,j} \cdot \tau_j \quad (3.31.)$$

kde je

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

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

Teplo dodané tepelným čerpadlem  $Q_{TC,TV,j}$  [kWh] pro krytí potřeby tepla na přípravu teplé vody je minimální hodnotou z dostupného tepla  $Q_{k,TV,j}$ , a potřeby tepla  $Q_{p,TV,j}$  v teplotním intervalu  $j$

$$Q_{TC,TV,j} = \min(Q_{k,TV,j}; Q_{p,TV,j}). \quad (3.32.)$$

Doba provozu tepelného čerpadla  $\tau_{TC,TV,j}$  [h] v teplotním intervalu  $j$  v režimu přípravy teplé vody se stanoví ze vztahu

$$\tau_{TC,TV,j} = \frac{Q_{TC,TV,j}}{\Phi_{k,TV,j}}. \quad (3.33.)$$

Potřeba elektrické energie  $E_{TC,TV,j}$  [kWh] pro pohon tepelného čerpadla v režimu přípravy teplé vody v teplotním intervalu  $j$  se určí ze vztahu

$$E_{TC,TV,j} = \frac{Q_{TC,TV,j}}{COP_{TV,j}}. \quad (3.34.)$$

kde je

$COP_{TV,j}$  – topný faktor pro přípravu teplé v teplotním intervalu  $j$  [-].

Potřeba pomocné elektrické energie  $E_{pom,TV,j}$  [kWh] soustavy s tepelným čerpadlem v režimu přípravy teplé vody se určí ze vztahu

$$E_{pom,TV,j} = P_{pom,TV,j} \cdot \tau_{TC,TV,j}; \quad (3.35.)$$

kde je

$P_{pom,TV}$  – elektrický příkon pomocných zařízení, pracujících v režimu přípravy teplé vody [kW].



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

$$Q_{d,TV,j} = Q_{p,TV,j} - Q_{TC,TV,j} . \quad (3.36.)$$

V **režimu vytápění** se pro každý výpočtový teplotní interval  $j$  stanoví teplota otopné vody na výstupu z tepelného čerpadla  $t_{k2,j}$  dle vztahu (3.37.). Poté se z charakteristik tepelného čerpadla určí jeho výkon  $\Phi_{k,VYT,j}$  a topný faktor  $COP_{k,VYT,j}$  v režimu vytápění pro daný interval  $j$ .

$$t_{k2,j} = t_{w1,j} + \Delta t_w = t_i + \frac{t_{w1,N} - t_{w2,N}}{2} \cdot \frac{t_i - t_{em,j}}{t_i - t_{e,N}} + \left( \frac{t_{w1,N} + t_{w2,N}}{2} - t_i \right) \cdot \left( \frac{t_i + t_{em,j}}{t_i + t_{e,N}} \right)^{\frac{1}{m}} + \Delta t_w ; \quad (3.37.)$$

kde je

- $t_i$  – vnitřní teplota vzduchu [°C];
- $t_{e,N}$  – venkovní výpočtová teplota [°C];
- $t_{w1,N}$  – návrhová teplota přívodní otopné vody [°C];
- $t_{w2,N}$  – návrhová teplota vratné otopné vody [°C];
- $t_{em,j}$  – střední teplota venkovního vzduchu ve výpočtovém intervalu [°C];
- $m$  – teplotní exponent otopných ploch [-];
- $\Delta t_w$  – zvýšení teploty pro omezení cyklování TČ ( $\Delta t_w = 2$  K).

V případě kombinované přípravy teplé vody a vytápění, je přednostně část doby provozu a dostupného tepla z tepelného čerpadla vyhrazena režimu přípravy teplé vody. Proto je nutné pro stanovení dostupného tepla z tepelného čerpadla pro vytápění nejdříve určit pro výpočtový teplotní interval  $j$  zbývající dobu provozu tepelného čerpadla  $\tau_{k,VYT,j}$  [h] dostupnou pro režim vytápění, ze vztahu

$$\tau_{k,VYT,j} = \tau_j - \tau_{TC,TV,j} \quad (3.38.)$$

kde je

- $\tau_j$  – doba trvání výpočtového intervalu  $j$  [h];
- $\tau_{TC,TV,j}$  – doba provozu TČ pro přípravu teplé vody ve výpoč. intervalu  $j$  [h].

Následně se dostupné teplo z tepelného čerpadla pro vytápění  $Q_{k,VYT,j}$  [kWh] za dobu trvání teplotního intervalu  $j$  se stanoví vztahem

$$Q_{k,VYT,j} = \Phi_{k,VYT,j} - \tau_{k,VYT,j} \cdot \quad (3.39.)$$

kde je

$\Phi_{k,VYT,j}$  – výkon TČ pro vytápění v podmínkách teplotního intervalu  $j$  [kW];

Teplo dodané tepelným čerpadlem  $Q_{TC,VYT,j}$  [kWh] pro krytí potřeby tepla na vytápění je minimální hodnotou z dostupného tepla  $Q_{k,VYT,j}$  a potřeby tepla na vytápění  $Q_{p,VYT,j}$  v teplotním intervalu  $j$

$$Q_{TC,VYT,j} = \min(Q_{k,VYT,j}; Q_{p,VYT,j}) \cdot \quad (3.40.)$$

Doba provozu tepelného čerpadla  $\tau_{TC,VYT,j}$  [h] v teplotním intervalu  $j$  v režimu vytápění se stanoví ze vztahu

$$\tau_{TC,VYT,j} = \frac{Q_{TC,VYT,j}}{\Phi_{TC,VYT,j}} \cdot \quad (3.41.)$$

Potřeba elektrické energie  $E_{TC,VYT,j}$  [kWh] pro pohon tepelného čerpadla v režimu vytápění v teplotním intervalu  $j$  se určí ze vztahu

$$E_{TC,VYT,j} = \frac{Q_{TC,VYT,j}}{COP_{VYT,j}} \cdot \quad (3.42.)$$

Potřeba pomocné elektrické energie  $E_{pom,VYT,j}$  [kWh] soustavy s tepelným čerpadlem v režimu vytápění se určí ze vztahu

$$E_{pom,VYT,j} = P_{pom,VYT} \cdot \tau_{TC,VYT,j} \cdot \quad (3.43.)$$

kde je

$P_{pom,VYT,j}$  – elektrický příkon pomocných zařízení, pracujících v režimu vytápění [kW].

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

$$Q_{d,VYT,j} = Q_{p,VYT,j} - Q_{TC,VYT,j} . \quad (3.44.)$$

Sečtením hodnot jednotlivých veličin ze všech intervalů se stanoví roční, resp. měsíční výsledky. Roční nebo měsíční dodávka tepla  $Q_{TC}$  [kWh] tepelným čerpadlem pro přípravu teplé vody a vytápění je

$$Q_{TC} = \sum Q_{TC,TV,j} + \sum Q_{TC,VYT,j} . \quad (3.45.)$$

Roční nebo měsíční potřeba elektrické energie  $E_{TC}$  [kWh] pro pohon tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody a vytápění je

$$E_{TC} = \sum E_{TC,TV,j} + \sum E_{TC,VYT,j} . \quad (3.46.)$$

Roční nebo měsíční potřeba pomocné elektrické energie  $E_{pom}$  [kWh] pro provoz tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody a vytápění je

$$E_{pom} = \sum E_{pom,TV,j} + \sum E_{pom,VYT,j} . \quad (3.47.)$$

Roční nebo měsíční dodávka tepla  $Q_d$  [kWh] doplňkovým tepelným zdrojem je

$$Q_d = \sum Q_{d,TV,j} + \sum Q_{d,VYT,j} . \quad (3.48.)$$

Roční nebo měsíční doba provozu  $\tau_{TC}$  [h] tepelného čerpadla je

$$\tau_{TC} = \sum \tau_{TC,TV,j} + \sum \tau_{TC,VYT,j} . \quad (3.49.)$$

Výsledný sezónní topný faktor tepelného čerpadla vychází ze vztahu

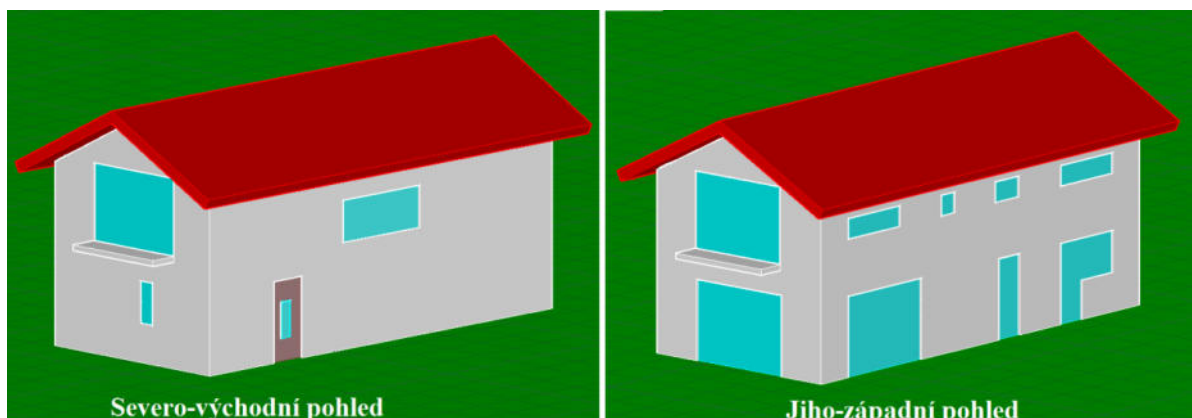
$$SPF_{TC} = \frac{Q_{TC}}{E_{TC}} . \quad [46] \quad (3.50.)$$

## 4. Analýza

### 4.1. Rodinný dům

V diplomové práci je bilancován konkrétní rodinný dům z hlediska neobnovitelné primární energie. Jedná se o objekt obdélníkového půdorysu o rozměrech 13,3 x 6,0 m se dvěma nadzemními podlažími a sedlovou střechou, který je umístěn v Hradci Králové. Objekt je kompaktní a velké prosklené plochy do obytných místností jsou umístěny na jižní a západní fasádě. Pro výpočet je uvažována obsazenost objektu čtyřmi osobami. Celková vnitřní podlahová plocha činí 118,9 m<sup>2</sup> a zastavěná plocha je 78,8 m<sup>2</sup>. Hlavní vchod je umístěn v 1.NP na severní straně budovy. V tomto podlaží se nachází zádveří, technické místnosti, prádelna, koupelna a největší místností je zde obývací pokoj s velkými prosklenými dveřmi, spojený s kuchyní a schodištěm do 2.NP. Ve 2.NP je ve střední části chodba, která spojuje dva protilehlé pokoje, koupelnu a šatnu. Každý z pokojů má vlastní velké prosklené dveře a balkón.

Vytápění je zajištěno otopnou soustavou s podlahovým vytápěním, kde je účinnost soustavy a sdílení tepla uvažována 95 %. Vnitřní průměrná návrhová teplota objektu je 20 °C. Větrání je zajištěno centrální vzduchotechnickou jednotkou s výměníkem zpětného získávání tepla s provozní účinností 75 %. Pro provozní větrání bylo uvažováno s dávkou čerstvého vzduchu na osobu 25 m<sup>3</sup>/h.



Obr. 4.1. Pohledy na objekt

Tepelně technické vlastnosti konstrukcí jsou navrženy dle doporučených hodnot součinitelů prostupu tepla pro pasivní budovy. Ve výpočtech byl zanedbán tepelný odpor vrstev s nízkým tepelným odporem, jako je např. hydroizolace nebo parozábrana.

Součinitel prostupu tepla **obvodové stěny** byl stanoven na  $U = 0,12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  což odpovídá skladbě stěny z tab. 4.1.

Tab. 4.1. Skladba obvodové stěny

Materiál	Tloušťka [m]	Tepelný odpor [ $\text{W/m} \cdot \text{K}$ ]
Vápenná omítka	0,01	0,88
Tvárnice Ytong	0,3	0,116
Pěnový polystyrén	0,18	0,034
Perinková omítka	0,01	0,1

Pro **výplň otvorů** byl použit jednotný systém Vekra premium EVO osazený trojsklem s celkovým průměrným součinitelem prostupu tepla  $U = 0,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .



Obr. 4.2. Výplň otvorů Vekra premium EVO [47]

**Střecha** je pokryta keramickými střešními taškami. Jako nosná konstrukce je použitý dřevný trámový krov, který je izolován minerální vlnou. Celkový součinitel prostupu tepla střechy činí  $U = 0,18 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

Konstrukce **podlahy** je tvořena šterkopískovým podsypem, na kterém je umístěna železobetonová deska izolovaná extrudovaným polystyrénem, který je zakryt podlahovou konstrukcí. O celkovém součiniteli prostupu tepla  $U = 0,22 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , který byl následně použit pro určení ekvivalentního součinitele prostupu tepla  $U_{ekv} = 0,16 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Celková návrhová tepelná ztráta objektu  $\Phi$  [W] s těmito parametry byla stanovena výpočtem pomocí obálkové metody vztahem 4.1 na **3468 W**.

$$\Phi = (H_T + H_{V,p}) \cdot (t_i - t_e) \quad (4.1.)$$

kde je

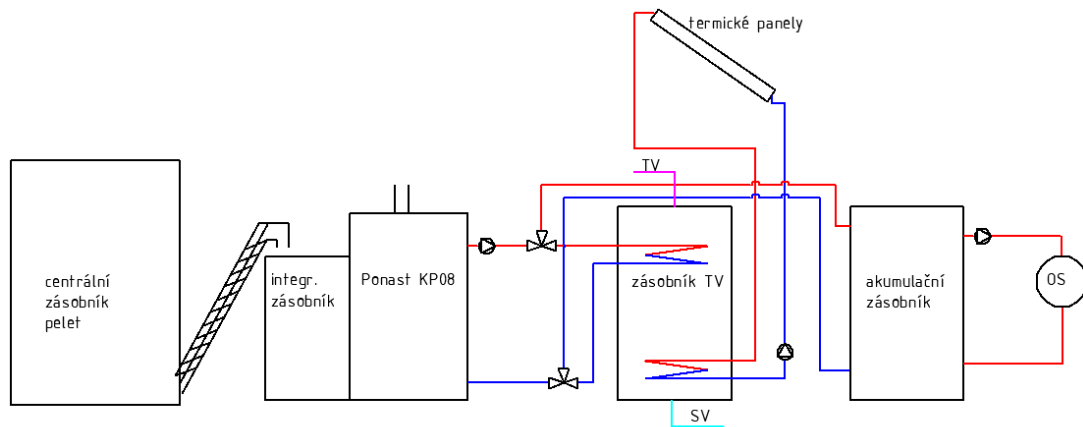
- $H_{V,p}$  – měrná návrhová tepelná ztráta větráním (pro průtok vzduchu 190 m<sup>3</sup>/h a infiltrací 16,2 m<sup>3</sup>/h) [W/K];  
 $t_e$  – venkovní výpočtová teplota ( $t_e = -12$  °C).

## 4.2. Varianty zdrojů energie v rodinném domě

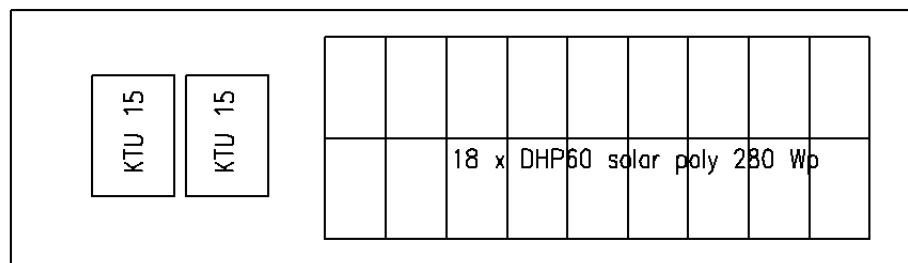
Pro výše popsány rodinný dům byly uvažovány tři varianty zdrojů energie, které mají předpoklad dosáhnout nulové roční bilance neobnovitelné primární energie. Odlišnost systémů a jednotlivé varianty jsou popsány níže v kapitolách 4.2.1. až 4.2.3.

### 4.2.1. Varianta 1

Varianta 1 má jako hlavní zdroj tepla automatický **kotel na pelety** Ponast KP 08 o jmenovitém výkonu 2,4 - 8 kW. Jedná se o kotel s automatickým podáváním paliva z integrovaného kotlového zásobníku, do kterého je palivo přiváděno z centrálního zásobníku elektrickým podavačem. V Režimu přednostní přípravy teplé vody ohřívá zásobník teplé vody. Při režimu vytápění ohřívá akumulaci nádobu, která je napojena na otopnou soustavu. Pro částečné pokrytí potřeby tepla na přípravu teplé vody je využita solární tepelná soustava se dvěma **fototermickými solárními kolektory** KTU 15. Jedná se o trubicový solární kolektor o celkových rozměrech 1970 x 1350 x 141 mm s plochou apertury 1,49 m<sup>2</sup> s účinností kolektoru při nulových ztrátách 73,3 %. Panel má lineární součinitel tepelné ztráty  $a_1 = 2,237$  W/m<sup>2</sup>·K a kvadratický součinitel tepelné ztráty má hodnotu  $a_2 = 0,0025$  W/m<sup>2</sup>·K<sup>2</sup>. Maximální výkon kolektoru při osvětlení 1000 W/m<sup>2</sup> je  $Q_{max} = 1090$  W. Pro vyvážení neobnovitelné primární energie je na střeše vedle termických kolektorů umístěna **fotovoltaická elektrárna** s 18 polykrystalickými fotovoltaickými panely DHP60 Solar Poly 280 Wp. Jedná se o panel s rozměry 1650 x 991 x 35 mm s maximálním výkonem 280 W (při STC 1000 W/m<sup>2</sup>, teplotě panelu 25 °C), s účinností  $\eta_{ref} = 17,12$  % a teplotním součinitelem panelu  $\gamma = -0,41$  %/K. Fotovoltaická elektrárna je napojena na střídač GoodWe DT 5000 s jmenovitým výkonem stejnosměrného proudu 5000 W a maximální účinností 98 %, který zajistí převod stejnosměrného proudu na střídavý proud.



Obr. 4.3. Schéma zapojení VTP a TV VI

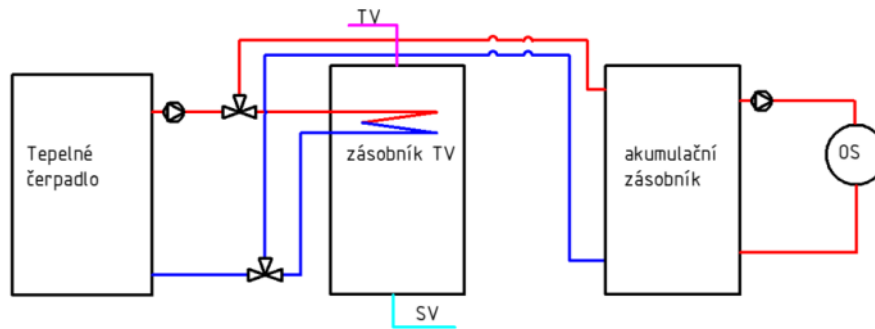


Obr. 4.4. Plocha střechy na jih a rozmístění kolektorů VI

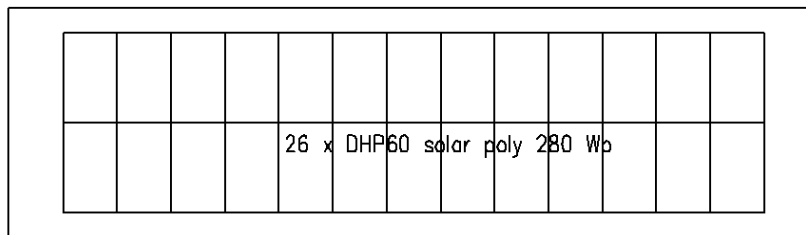
Potřeba elektrická energie je v době svitu hrazena fotovoltaickými panely, v době nedostatku svitu je potřeba hrazena pomocí veřejné elektrické sítě. V době svitu, kdy je potřeba elektriny nižší, než produkce fotovoltaických panelů je přebytečná energie prodávána do sítě.

#### 4.2.2. Varianta 2

Varianta 2 používá jako zdroj tepla pro vytápění a přípravu vody **tepelné čerpadlo** vzduch-voda Stiebel eltron WPL 10 AC které hradí 100% potřeby tepla. Jedná se o tepelné čerpadlo v energetické třídě A+ které má topný výkon při A2/W35 (EN 14511) 6,74 kW. Tepelné čerpadlo je napojeno na akumuláční nádobu a zásobník teplé vody stejně jako varianta 1. Pro vyvážení nulové bilance je na střeše instalována **fotovoltaická elektrárna**, která má 26 fotovoltaických panelů typu DHP60 Solar Poly 280 Wp. Jedná se o stejné panely jako ve variantě 1 pouze instalovaný výkon je vyšší, proto je nutné použít střídač dimenzovaný na vyšší výkon. Zde je instalován střídač GoodWe DT 8000 jedná se o měnič o výkonu 8 kW s maximální účinností 98,3 %.



Obr. 4.5. Schéma zapojení V1



Obr. 4.6. Plocha střechy na jih a rozmístění FV panelu V2

Hrazení potřeby elektrické energie je řešeno stejně jako v první variantě. S rozdílem, že díky tepelnému čerpadlu je zde možnost mít pro elektrickou energii ze sítě sazbu D 57d, která zajistí levnější dvoutarifovou sazbu.

### 4.2.3. Varianta 3

V této variantě je zdroj tepla **plynový kondenzační kotel** Geminox ZEM 2-17C, který dodává teplo jak pro vytápění, tak pro přípravu teplé vody. Jedná se o kotel s výkonovým rozsahem 2,3 až 17,3kW s modulací výkonu 13 až 100 %. Kotel je v třídě energetické účinnosti A jeho sezónní energetická účinnost je 93%. Pro dosažení nulové energetické bilance je jako zdroj obnovitelné energie instalována **fotovoltaická elektrárna** s 28 panely typu DHP60 Solar Poly 280 Wp. Jedná se o stejné panely jako ve variantě 1 a 2 jen s vyšším instalovaným výkonem. Proto je stejně jako ve variantě 2 potřeba větší dimenze střídače. Varianta 3 je tedy osazena stejným střídačem jako varianta 2 tedy střídačem GoodWe DT 8000. Schéma zapojení soustavy je na obrázku 4.7, a rozložení fotovoltaických panelů na střeše na obr 4.8.



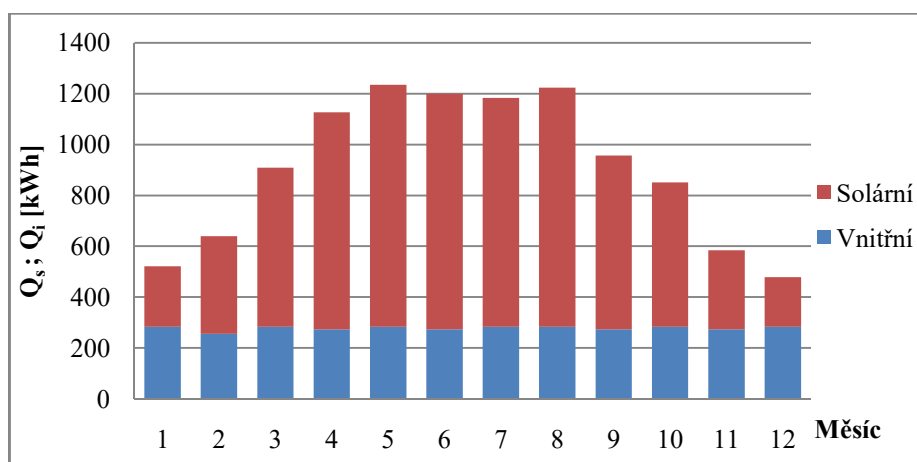


Po výpočtu tepelných ztrát byly stanoveny tepelné zisky. Vnitřní tepelné zisky jsou závislé na počtu osob. Při uvažování obsazenosti čtyřmi osobami byly určeny měsíční vnitřní zisky, viz hodnoty v tabulce 4.3. Solární zisky okny byly stanoveny jednotlivě pro každou světovou stranu pro příslušnou celkovou plochu oken. Při použití oken s výplní z trojskla je celková propustnost záření 0,52. Při použití hodnot měsíčního slunečního ozáření z TNI 73 0331, vyšly hodnoty solárních a celkových zisků následovně, viz tab 4.3.

Tab. 4.3. Měsíční tepelné zisky

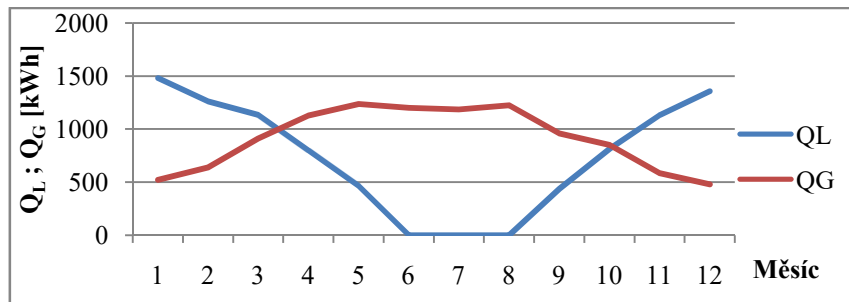
Měsíc	Vnitřní	Solární	Celkem
	[kWh]	[kWh]	[kWh]
leden	283	238	521
únor	255	384	640
březen	283	626	909
duben	274	853	1126
květen	283	953	1235
červen	274	927	1200
červenec	283	901	1184
srpen	283	941	1224
září	274	684	957
říjen	283	568	851
listopad	274	310	584
prosinec	283	196	479
SUMA	3329	7582	10910

Zobrazení tepelných zisků v grafu má následující charakteristiku, kde je vidět velký podíl solárních zisků v letních měsících.



Obr. 4.9. Grafické rozložení tepelných zisků

Pro výpočet potřeby tepla na vytápění bylo zohledněno využití tepelných zisků na pokrytí tepelné ztráty. Tepelné ztráty mají odlišné rozložení hodnot oproti tepelným ziskům, jak je patrné z následujícího grafu.

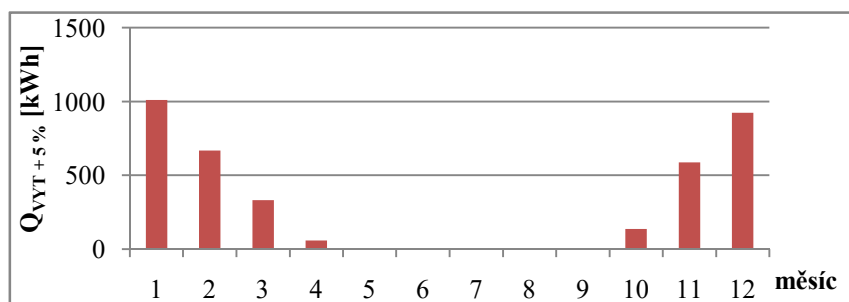


Obr. 4.10. Grafické rozložení tepelných zisků a ztrát

Součinitel využití tepelných zisků  $\eta$  udává, z kolika procent je možné zisky využít v jednotlivých měsících. Roční vypočtená potřeba tepla na vytápění činí  $Q_{VYT} = 3550$  kWh. S uvažováním účinnosti soustavy a sdílení tepla 95 % se tato potřeba navýší na  $Q_{VYT+5\%} = 3727$  kWh. Poté měrná roční potřeba vyjde **31 kWh/m<sup>2</sup>rok**. Potřeba pro jednotlivé měsíce je uvedena v tabulce 4.4. a na obrázku 4.11.

Tab. 4.4. Výpočet potřeba tepla na vytápění

Měsíc	$Q_L$	$Q_G$	$\eta$	$Q_{VYT}$	$Q_{VYT+5\%}$
	[kWh]	[kWh]	[-]	[kWh]	[kWh]
leden	1481	521	0,99	963	1011
únor	1263	640	0,98	637	668
březen	1134	909	0,90	315	331
duben	801	1126	0,66	56	58
květen	466	1235	0,37	3	3
červen	0	1200	0,00	0	0
červenec	0	1184	0,00	0	0
srpen	0	1224	0,00	0	0
září	437	957	0,45	6	7
říjen	814	851	0,80	130	136
listopad	1131	584	0,98	560	588
prosinec	1356	479	0,99	880	924
SUMA	8883	10910		3550	3727



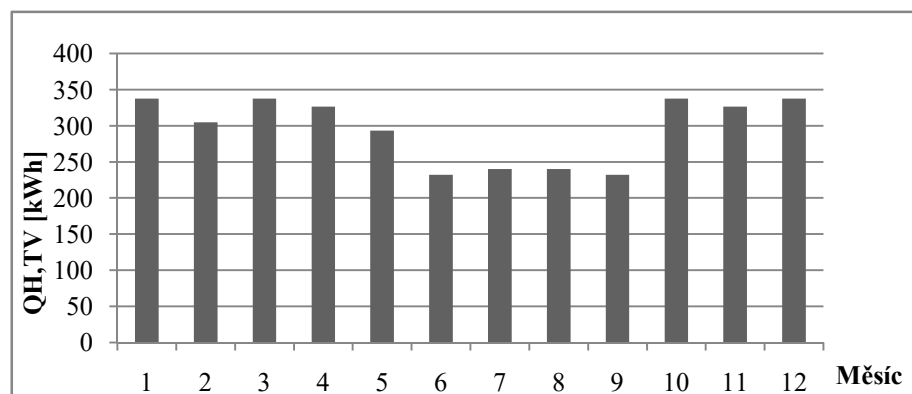
Obr. 4.11. Grafické rozložení potřeby tepla na VTP

### 4.3.2. Příprava teplé vody

Při výpočtu potřeby tepla na přípravu teplé vody byly uvažovány 4 osoby s potřebou teplé vody 40 l/os.den. Teplota studené vody v zimě byla uvažována 10 °C a pro léto 15 °C. Voda byla ohřívána na teplotu 55 °C. Poměrná ztráta tepla v zásobníku a rozvodech byla stanovena na 30 % (systém s časově řízenou cirkulací). Měsíční potřeba tepla na přípravu teplé vody je uvedena v tabulce 4.5. a na obr. 4.12.

Tab. 4.5. Potřeba tepla na přípravu teplé vody

Potřeba tepla TV [kWh]	
leden	337
únor	305
březen	337
duben	327
květen	293
červen	232
červenec	240
srpen	240
září	232
říjen	337
listopad	327
prosinec	337
Σ	3545



Obr. 4.12. Grafické rozložení potřeby tepla pro přípravu teplé vody

### 4.3.3. Elektrická energie

Potřeba elektrické energie byla určena podle výpočtů v kapitole 3.1.3. Potřebná energie na **umělé osvětlení** vychází z hodnoty měrné spotřeby el. energie 4,6 kWh/m<sup>2</sup>rok pro obytné části a 0,6 kWh/m<sup>2</sup>rok pro společné části budovy. Při ploše 104 m<sup>2</sup> obytných částí a 15 m<sup>2</sup> společných prostorů vychází roční potřeba elektrické energie **484 kWh/rok**.

Tato hodnota byla rozpočítána do jednotlivých měsíců se zohledněním činitele podílu. Výsledné měsíční potřeby elektrické energie pro umělé osvětlení jsou uvedeny v tab. 4.6.

Tab. 4.6. Potřeba elektrické energie pro umělé osvětlení

Měsíc	Činitel podílu osv.	Potřeba
		[kWh]
leden	1,52	61
únor	1,25	50
březen	1,04	42
duben	0,85	34
květen	0,7	28
červen	0,65	26
červenec	0,65	26
srpen	0,7	28
září	0,87	35
říjen	1,03	42
listopad	1,24	50
prosinec	1,5	60
SUMA		484

Do rodinného domu byly zvoleny úsporné **spotřebiče**. Potřeba elektrické energie byla stanovena z jejich příkonů a doby využití. Ve výpočtu bylo uvažováno s následujícími spotřebiči a jejich vytížením (dobou provozu). Zároveň je v tab. 4.7. uvedena týdenní a roční potřeba elektrické energie jednotlivých spotřebičů.

Tab. 4.7. Výpočet elektrické energie pro provoz spotřebičů

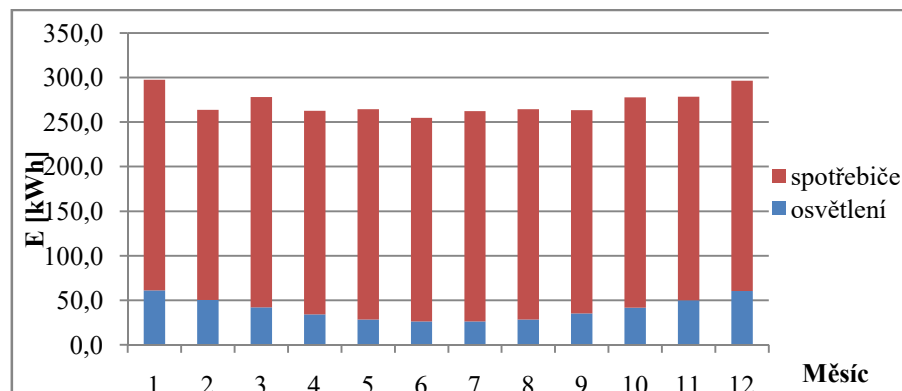
Spotřebič	příkon	Doba provozu spotřebiče (na 1 kW)	Odhad kWh	
	[W]		za týden	za rok
Chladnička +mrazák	140	43,4 h	3,87	201
Pračka	1750	2 cykly	2	104
El. Trouba	3500	17 min	16	832
Varná konvice	2200	27 min	1,6	83
Mikrovlonná trouba	1500	40 min	3,6	187
Myčka	2100	29 min	3	156
Toastovač	800	1,25 h	1	52
Žehlička	1800	33 min	6	312
Televize	112	8,5 h	6	312
Počítač	120	7 h	9,2	478
Nabíječka mobil	4	250 x nab	0,03	1,6
Router	7	6 dní	1,17	60,8
SUMA za rok				2780

Roční potřeba všech spotřebičů byla vypočtena na **2780 kWh/rok**. Tato hodnota byla následně rozpočítána do jednotlivých měsíců. viz tab. 4.8.

Tab. 4.8. Měsíční potřeba elektrické energie pro provoz spotřebičů

Potřeba spotřebičů [kWh]	
leden	236
únor	213
březen	236
duben	229
květen	236
červen	229
červenec	236
srpen	236
září	229
říjen	236
listopad	229
prosinec	236
celkem	2780

Při vložení hodnot potřeb elektrické energie na osvětlení a provoz spotřebičů do grafu vyjde následující graf 4.13.



Obr. 4.13. Grafické rozložení potřeby tepla pro přípravu teplé vody

Roční potřeba **pomocné elektrické energie** na provoz systémů vychází dle analýzy z kapitoly 3.1.3. Výsledkem analýzy byla průměrná hodnota **160 kWh/rok** pro teplovodní soustavu se samostatným větracím systémem. Tato hodnota je použita pro variantu 2 (tepelného čerpadla a fotovoltaiky) a 3 (plynový kotel a fotovoltaika).

U varianty 1 (kotle na peletky, termických panelů a fotovoltaiky) je potřeba zvýšit potřebu energie o energii pro podávací mechanismus paliva a další pomocné čerpadlo v systému. Zde byl použit vzorec 3.18. s uvažovanou dobou provozu systému 1000 h ročně, to při příkonu kotle na pelety 90 W a čerpadla 50 W vychází na 140 kWh/rok, tato hodnota se připočte k hodnotě 160 kWh/rok. Výsledná potřeba pomocné energie pro první variantu je **300 kWh/rok**.

Celková roční potřeba pro všechny spotřebiče, osvětlení a provoz systémů činí. (hodnoty pro variantu 1 jsou uvedeny v závorce, a není zde započtena elektrická energie na provoz tepelného čerpadla – je součástí bilance TČ, viz varianta 2)

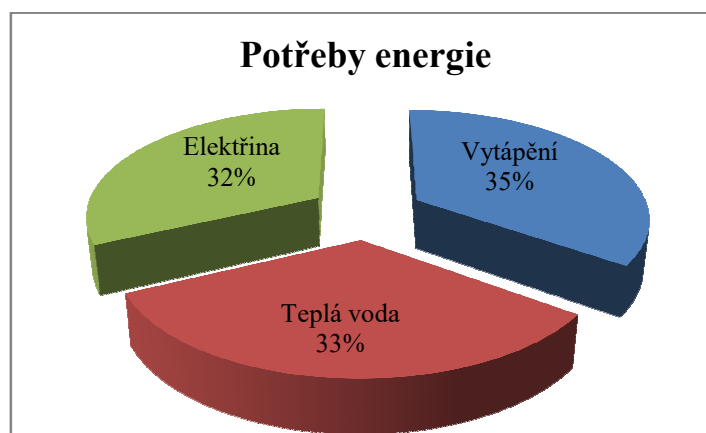
Tab. 4.9. Celková roční potřeba elektrické energie

Typ potřeby	Potřeba	Jednotka
Umělé osvětlení	484	kWh/rok
Spotřebiče	2780	kWh/rok
Pomocná energie	160 (300)	kWh/rok
Suma	3424 (3564)	kWh/rok

**Celkové roční potřeby byly stanoveny následovně:**

Tab. 4.10. Celkové roční potřeby energií

Potřeba	Hodnota	Jednotka	Typ energie
Vytápění	3727	kWh/rok	Tepelná
Teplá voda	3545	kWh/rok	Tepelná
Elektrina	3424 (3564)	kWh/rok	Elektrická



Obr. 4.14. Rozložení potřeb energie podle typu využití

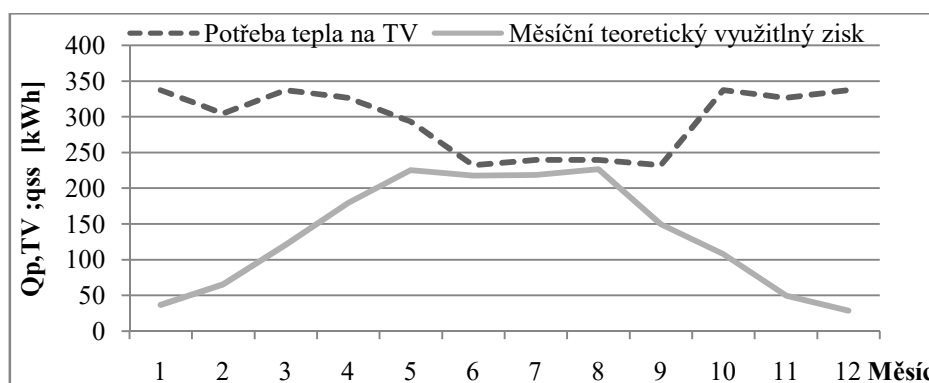
#### 4.4. Bilance zdrojů energie

V energetické bilanci bylo uvažováno rozpětí neobnovitelné primární energie pro nulovou budovu 0 až -550 kWh/rok. Toto rozpětí je mírně přísnější, tedy se jedná o budovy spíše mírně plusové. Všechny tři zvolené varianty při bilancování primární neobnovitelné energie  $nPE$  tuto podmínku splňují a rodinný dům s uvedenými variantami lze považovat za energeticky nulový. Jednotlivé bilance jsou popsány v kapitolách 4.4.1. až 4.4.3

##### 4.4.1. Bilance zdrojů varianty 1

V první variantě je využitý automatický **kotel na pelety** Ponast KP 08 výrobce udává účinnost 91,5 %. Této účinnosti je ale dosaženo pouze při ideálním spalování při konstantní potřebě tepla. Při výpočtu roční potřeby tepla je třeba zohlednit, že kotel zdaleka nepracuje celou dobu při těchto ideálních podmínkách. Proto pro výpočet byla použita sezónní účinnost kotlů pro tuhá paliva **79 %** udávaná v TNI 73 0331. A roční potřeba pelet vyšla 1559 kg.

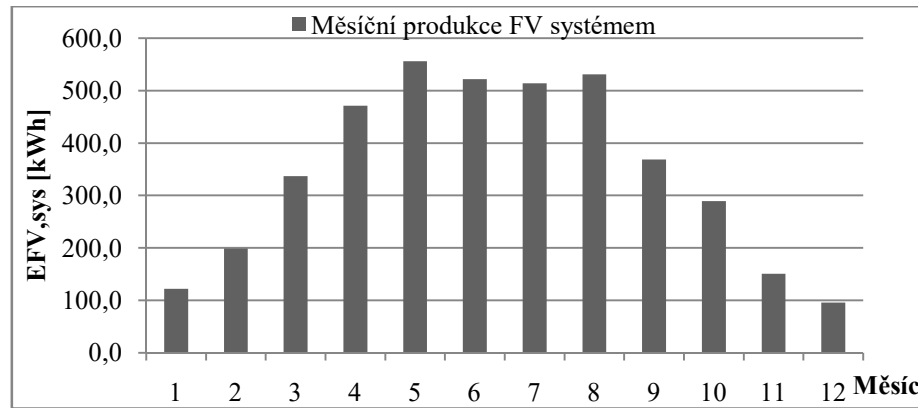
První varianta obsahuje dále dva **fototermické solární trubkové kolektory** KTU 15. Tyto kolektory pomáhají převážně v letních měsících hradit potřebu tepla na přípravu teplé vody, pomáhají pokrytím **45,9 %** potřeby tepla na teplou vodu. Jejich roční produkce činí **1628 kWh** tepla se střední účinností **47,6 %**.



Obr. 4.15. Pokrytí potřeby TV termickými kolektory

**Fotovoltaická elektrárna** má v první variantě 18 polykrystalických panelů DHP60 Solar Poly 280 Wp. Roční produkce elektrické energie činí **4157 kWh** s průměrnou účinností celého systému **13,6 %**. Měsíční produkce energie uvedeny v grafu 4.16.

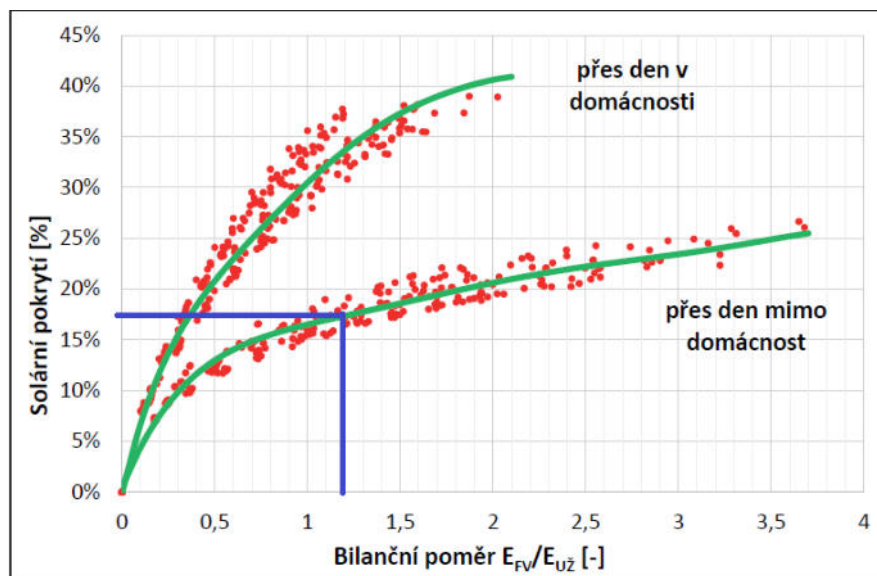




Obr. 4.16. Měsíční produkce fotovoltaickou elektrárnou VI

### Výsledek bilancování varianty 1

V bilancování byly použity roční hodnoty potřeby a produkce jednotlivých zdrojů. Následně tyto hodnoty byly násobeny příslušnými konverzními faktory z tabulky 2.1. Pro určení procenta solárního pokrytí byl použit zjednodušující graf z analýzy [48] uvedené v kapitole 3.2.2. Při roční produkci FV systémem 4157 kWh a roční potřebě elektrické energie 3564 kWh vyšel bilanční poměr na 1,2. Tomu při obsazenosti „přes den mimo domácnost“ odpovídá Solární pokrytí 17 %.



Obr. 4.17. Solární pokrytí FV VI [48]

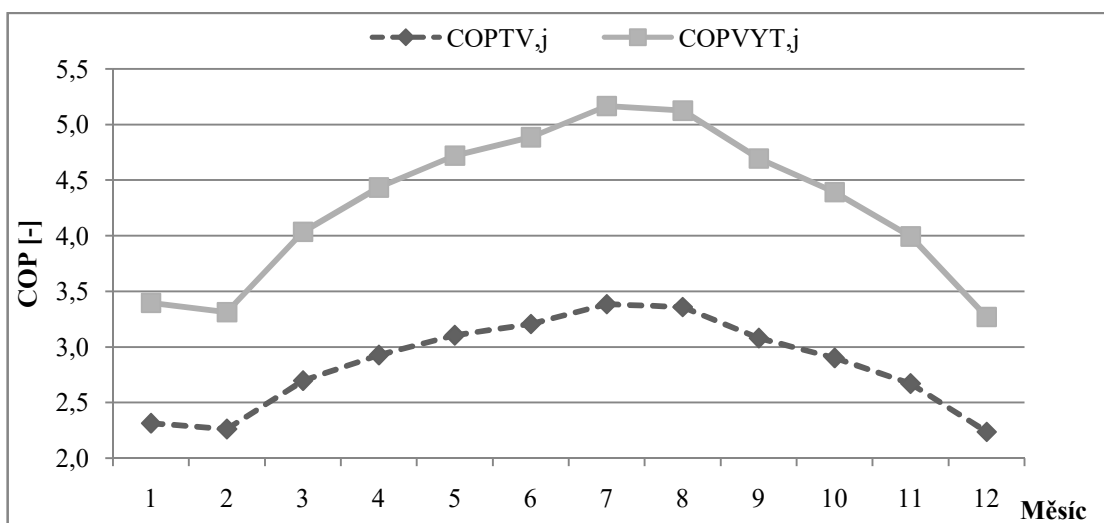
Tab. 4.11. Bilancování varianty 1

Zdroj	Množství	Jednotka	F [-]	Neobnovitel. primární energie $nPE$	Jednotka
Fototermika 2 panely	1628	[kWh]	0	0	[kWh]
Energie dodaná v peletách	7146	[kWh]	0,2	1429	[kWh]
Fotovoltaika 18 panelů vyrobí	4157	[kWh]	-		[kWh]
z toho využití v RD 17%	707	[kWh]	0	0	[kWh]
z toho prodej do sítě	3450	[kWh]	-3	-10351	[kWh]
EL. EN (nákup ze sítě)	2857	[kWh]	3	8571	[kWh]
			$\Sigma$	<b>-350</b>	[kWh] <b>OK</b>

Roční množství neobnovitelné primární energie  $nPE$  pro variantu jedna činí **-350 kWh/rok**, při podlahové ploše 118,9 m<sup>2</sup> činí měrná neobnovitelná primární energie  $q_{NPE} = -2,95 \text{ kWh/m}^2 \text{ rok}$ .

#### 4.4.2. Bilance zdrojů varianty 2

Ve druhé variantě je zdroj tepla **tepelné čerpadlo WPL 10 AC**. Obvykle se tepelné čerpadlo navrhuje jako bivalentní, ale tento rodinný dům má malou potřebu tepla, proto i nejmenší tepelné čerpadlo pokryje potřebu samostatně. Topné faktory pro vytápění mají vyšší hodnoty, než pro přípravu teplé vody, je to díky nižší teplotě topné vody. Jednotlivé měsíční hodnoty COP jsou zaneseny do grafu 4.18. Celková hodnota sezónního topného faktoru **SPF** pro teplou vodu a vytápění je **3**.

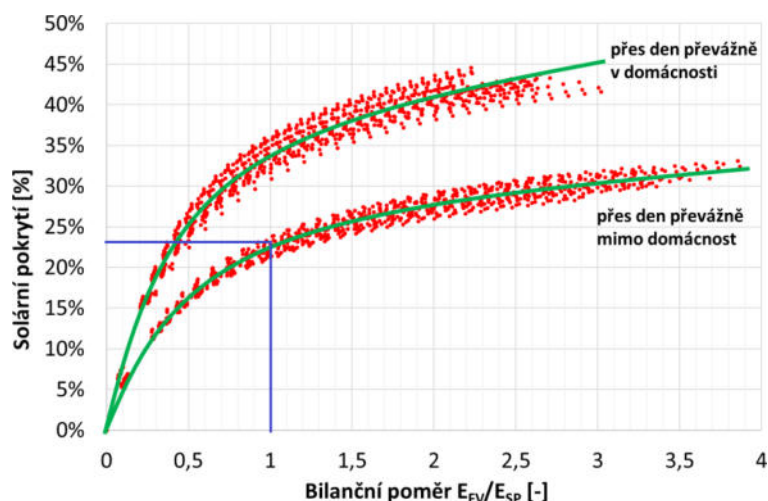


Obr. 4.18. Hodnoty COP TČ

**Fotovoltaická elektrárna** obsahuje ve druhé variantě 26 fotovoltaických panelů DHP60 Solar Poly 280 Wp. Jejichž roční produkce činí **6005 kWh** elektrické energie a průměrná účinnost výroby je **13,6 %**. Měsíční produkce FV systému má podobný charakter jako ve variantě 1 viz obr. 4.16.

### Výsledek bilancování varianty 2

Zde byla uvazována hodnota pro potřeby přípravu teplé vody a vytápění hodnota potřebné elektrické energie pro provoz tepelného čerpadla, z výpočtu bilancování tepelného čerpadla. Pro zjištění solárního pokrytí fotovoltaického systému bylo využito také analýzy jako ve variantě 1 s rozdílem, že byl použit graf pro domácnost s tepelným čerpadlem. [49] Při roční produkci FV systému 6005 kWh a roční potřebě elektrické energie pro TČ 2458 kWh a roční potřebě pomocné energie, osvětlení a spotřebičů 3424 kWh, vyšel bilanční poměr 1,0. Tomu odpovídá solární pokrytí 23 %.



Obr. 4.19. Solární pokrytí FV s V2 [49]

Tab. 4.12. Bilancování varianty 2

Zdroj	Množství	Jednotka	F [-]	Neobnovitelná primární energie <i>nPE</i>	Jednotka
fotovoltaika(26 panelů) vyrobí	6005	[kWh]	–		[kWh]
z toho využití v RD 23%	1381	[kWh]	0	0	[kWh]
z toho prodej do sítě	4623	[kWh]	-3	-13870	[kWh]
EL. EN. ze sítě (TČ zahrnuto)	4501	[kWh]	3	13502	[kWh]
			Σ	-368	[kWh] <b>OK</b>

Množství neobnovitelné primární energie  $nPE$  bylo stanoveno pro variantu dvě **-368 kWh/rok** a měrná neobnovitelná primární energie činí v závislosti na podlahové ploše  $q_{NPE} = - 3,1 \text{ kWh/m}^2 \text{ rok}$ .

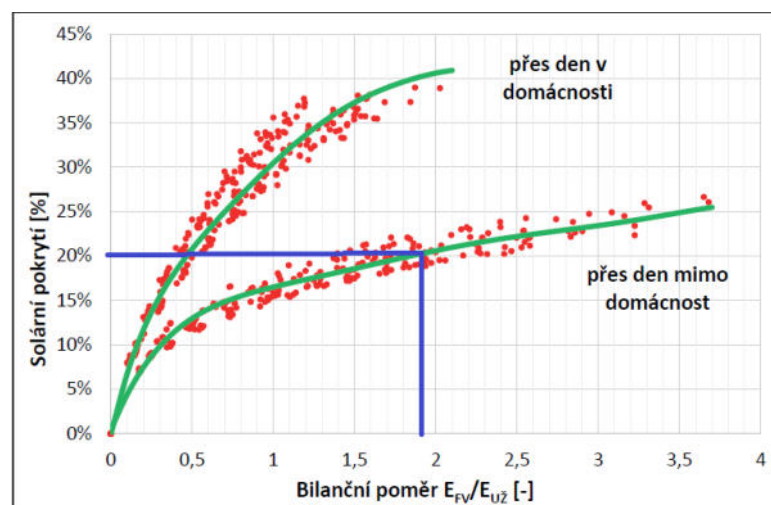
#### 4.4.3. Bilance zdrojů varianty 3

Zdroj tepla ve třetí variantě je **plynový kondenzační kotel** Geminox 2-17C, který dodává teplo, jak pro vytápění, tak pro přípravu teplé vody. Teoretická účinnost, která je vztažena k výhřevnosti činní 107 %, toto je pouze teoretická hodnota. Pro výpočty byla použita sezónní energetická účinnost **93 %**, která je vztažena ke spalnému teplu a která byla převzata z TNI 73 0331.

**Fotovoltaická elektrárna** třetí varianty obsahuje 28 fotovoltaických panelů DHP60 Solar Poly 280 Wp. Produkce těchto panelů činí **6466 kWh** elektrické energie za rok s průměrnou účinností výroby **13,6 %**. Měsíční produkce FV systému má podobný charakter jako ve variantě 1 viz obr. 4.16.

#### Výsledek bilancování varianty 3

Zde byl použit stejný postup s využitím konverzních faktorů jako u předchozích variant a pro procento využití fotovoltaické elektrárny byla použita stejná analýza a graf jako ve variantě 1. Při roční produkci FV systémem 6466 kWh a roční potřebě pomocné energie, energie na osvětlení a provoz spotřebičů 3424 kWh, vyšel bilanční poměr 1,9. Tomu odpovídá solární pokrytí 20 %.



Obr. 4.20. Solární pokrytí FV V3[48]

Tab. 4.13. Bilancování varianty 3

Zdroj	Množství	Jednotka	F [-]	Neobnovitelná primární energie $nPE$	Jednotka
Energie dodaná v zemním plynu	7820	[kWh]	1,1	8602	[kWh]
Fotovoltaika 28 panelů vyrobí	6466	[kWh]	-		[kWh]
z toho využití v RD 20%	1293	[kWh]	0	0	[kWh]
z toho prodej do sítě	5173	[kWh]	-3	-15519	[kWh]
EL. EN (nákup ze sítě)	2131	[kWh]	3	6392	[kWh]
			$\Sigma$	<b>-525</b>	[kWh] <b>OK</b>

Z hlediska neobnovitelné primární energie vyšla roční bilance na **-525 kWh/rok** a měrná neobnovitelná primární energie  $q_{NPE} = -4,42 \text{ kWh/m}^2 \text{ rok}$ .

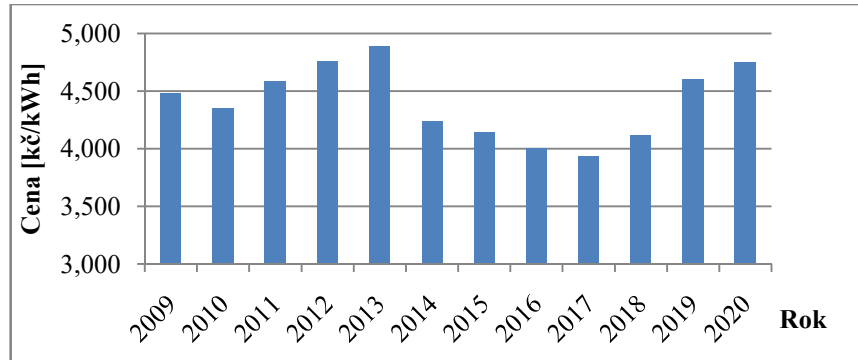
#### 4.5. Ekonomické zhodnocení

Součástí ekonomického hodnocení je hodnocení tří hlavních variant, které vedou k nulové bilanci neobnovitelné primární energii a jsou hlavním předmětem diplomové práce. Dále je zde pro porovnání zavedena **varianta PK**, tato varianta není řešena jako nulová. Jedná se o variantu pro porovnání, kde je zdroj tepla plynový kondenzační kotel, který obstarává v objektu potřebu tepla na vytápění a teplou vodu. Veškerá potřeba elektrické energie je hrazena z veřejné sítě.

V ekonomickém hodnocení jsou uvažovány investiční a provozní náklady včetně DPH. Do investičních nákladů jsou zahrnuty ceny jednotlivých komponentů, jejich příslušenství, spojovacího materiálu a jejich instalace. Aby se jednalo pouze o porovnání jednotlivých variant mezi sebou, nejsou v investičních nákladech zohledněny případné státní dotace.

V provozních nákladech jsou zahrnuty ceny všech energií a paliv a poplatků na provoz všech systémů, včetně umělého osvětlení a spotřebitelské energie. Doba bilancování je volena podle životnosti zdrojů, kterou by měly všechny zdroje vydržet. Udávaná životnost tepelného čerpadla je 15 až 25 let (v závislosti na typu a provozu), plynového kondenzačního kotle 15 až 20 let, kotle na pelety 15 až 30 let a u fototermitických a fotovoltaických kolektorů 25 let a více. Proto jsou celkové náklady porovnávány za 15 let provozu, po kterou by měly být schopné pracovat všechny zdroje. [51] [52] [53] [54]

Pro predikci budoucích cen paliv elektrické energie byla provedena analýza lednových cen z roků 2009 až 2020 pro elektrickou energii a zemní plyn. Zde se došlo k závěru, že díky kolísání cen není možné jednoznačně predikovat budoucí vývoj cen. Proto je v diplomové práci uvažována s konstantní cena paliv a elektrické energie.



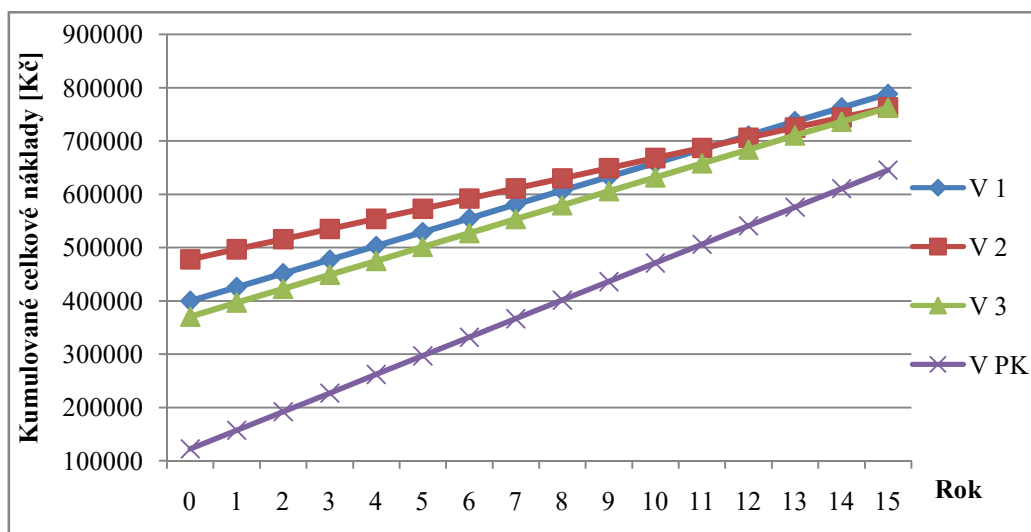
Obr. 4.21. Vývoj lednových cen elektrické energie 2009-2020 [50]

Součet všech pořizovacích nákladů a průměrných ročních nákladů jednotlivých variant je uvedený v následující tabulce 4.14.

Tab. 4.14. Pořizovací a provozní náklady jednotlivých variant

Varianta	Pořizovací náklady	Průměrné roční náklady
Varianta 1 (pelety, termika, FV)	373 478 Kč	25 936 Kč
Varianta 2 (TČ, FV)	458 725 Kč	19 036 Kč
Varianta 3 (PK, FV)	344 285 Kč	26 147 Kč
Varianta PK (PK)	87 463 Kč	34 875 Kč

Při vynesení kumulovaných nákladů za dobu 15 let vyjde následující graf 4.22.

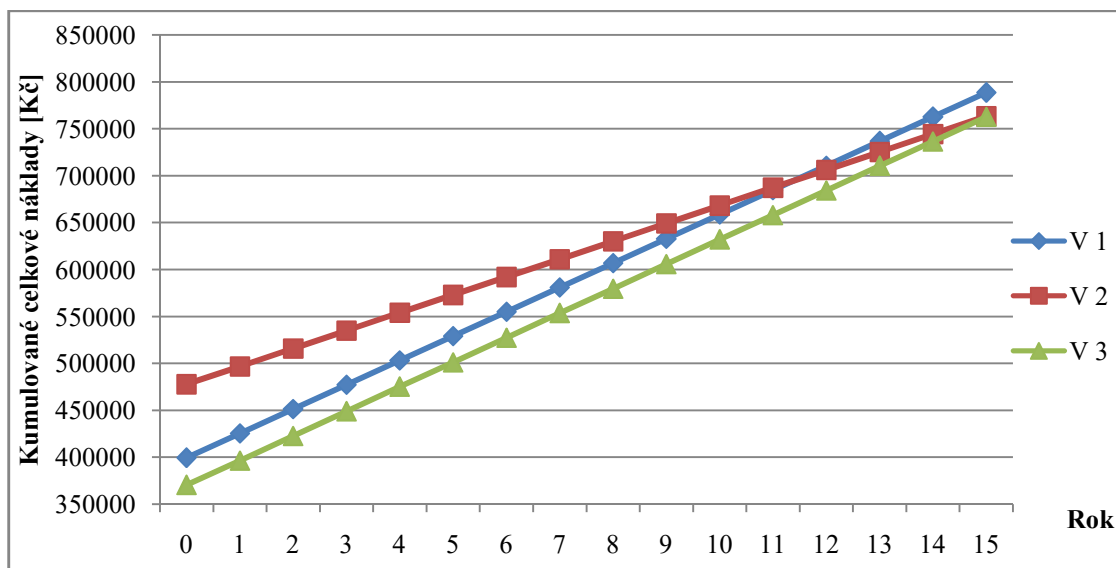


Obr. 4.22. Kumulované náklady porovnání varianty PK

Z grafu 4.22. je patrné, že po celou dobu 15 let je varianta PK finančně výhodnější, než zbylé nulové varianty. V investičních nákladech je v průměru o 293 tis Kč levnější. Lze tedy říci, že dosažení nulové bilance primární neobnovitelné energie stojí v investičních nákladech o necelých 300 tis Kč více, než nenulová varianta PK. A i přes vyšší provozní náklady varianty PK má kumulované náklady po 15 letech stále o 126 tis Kč nižší, než je průměr nulových variant. Rozdíl investičních nákladů by mohly v reálu snížit případné státní dotace, které jsou pro novostavby k dispozici pro fototermické kolektory i pro fotovoltaiku. Diplomová práce však tyto dotace neuvažuje.

Pokud se přejde k porovnání jednotlivých nulových variant, není výsledek tak jednoznačný jako u varianty PK, proto je vhodné si daný graf přiblížit. Z těchto tří variant má nejnižší investiční náklady varianta 3, je to zejména nízkou cenou plynového kondenzačního kotle. Naopak varianta 2 s tepelným čerpadlem má nejvyšší investiční náklady díky drahému tepelnému čerpadlu. Varianta 1 má náklady o 29 tis Kč vyšší než nejlevnější varianta 3. Co se týče provozních nákladů varianty 1 a 3 mají provozní náklady téměř stejné, pouze varianta 3 je ročně o cca 200 Kč dražší. To způsobí, že křivky celkových kumulovaných nákladů jsou téměř rovnoběžné s rozdílem vyšších investičních nákladů varianty 1.

Varianta 2 má vlivem topného faktoru 3 a nižší sazby elektrické energie téměř o 27 % nižší provozní náklady, to způsobí, že i přes vyšší investiční náklady má varianta 2 po 15 letech téměř stejné náklady jako varianta 3. Rozdíl po hodnocení za 15 let je mezi variantou 2 a 3 pouhých 600 Kč, což je zanedbatelná částka.



Obr. 4.23. Kumulované náklady nulových variant

## 5. Závěr

V diplomové práci byla provedena energetická bilance tří variant zásobování energií z hlediska potřeby neobnovitelné primární energie. Cílem práce bylo zjistit, zda je pro jednotlivé varianty možné dosažení nulové bilance neobnovitelné primární energie. Následně, pokud se prokázala proveditelnost nulové bilance, byly varianty porovnány z ekonomického hlediska.

Nejprve byly navrženy tepelně technické vlastnosti konstrukcí odpovídající energetické úrovni pasivního standardu. Byly navrženy konstrukce obvodové stěny se součinitelem prostupu tepla  $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ , střechy  $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$  a okenních výplní  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Zjednodušeným výpočtovým postupem, který principiálně vychází z normy ČSN EN 12831, byla stanovena návrhová tepelná ztráta objektu na necelých **3,5 kW**.

Dále byl proveden měsíční výpočet potřeby tepla na vytápění zjednodušeným výpočtovým postupem, který je však v základních principech v souladu s normou ČSN EN ISO 52016-1. Celková roční potřeba tepla na vytápění byla stanovena se zohledněním účinnosti otopné soustavy na **3727 kWh/rok**. Jednotlivé měsíční potřeby jsou uvedeny v tabulce 5.1.

Potřeba tepla pro přípravu teplé vody byla vypočtena pomocí upraveného postupu, který vychází normy ČSN 06 0320 a výpočtu potřeby tepla na přípravu teplé vody z portálu tzb-info.cz. Celková roční potřeba tepla na přípravu teplé vody byla stanovena na hodnotu **3545 kWh/rok**. Jednotlivé měsíční potřeby jsou uvedeny v tabulce 5.1.

Tab. 5.1. Potřeby tepla souhrn

Měsíc	$Q_{\text{VYT} + 5\%}$	$Q_{\text{TV}}$	$Q_{\text{Celk.}}$
	[kWh]	[kWh]	[kWh]
leden	1011	337	1349
únor	668	305	973
březen	331	337	668
duben	58	327	385
květen	3	293	297
červen	0	232	232
červenec	0	240	240
srpen	0	240	240
září	7	232	239
říjen	136	337	474
listopad	588	327	915
prosinec	924	337	1261
SUMA	3727	3545	7272



Potřeby elektrické energie byly stanoveny pro osvětlení pomocí normy TNI 73 0331, potřeba elektrické energie pro provoz spotřebičů byla vypočtena pomocí příkonu spotřebičů a předpokladu doby jejich využití. Jejich měsíční a roční hodnoty jsou shrnuty v tabulce 5.2. Potřeby pomocné energie na provoz systémů byly stanoveny na základě analýzy na 160 kWh/rok pro variantu 2 a 3 a pro variantu 1 byla stanovena na 300 kWh/rok.

Tab. 5.2. Potřeby elektrické energie

Měsíc	Spotřebiče	Osvětlení	Celkem
	[kWh]	[kWh]	[kWh]
leden	236	61	297
únor	213	50	264
březen	236	42	278
duben	229	34	263
květen	236	28	264
červen	229	26	255
červenec	236	26	262
srpen	236	28	264
září	229	35	264
říjen	236	42	278
listopad	229	50	278
prosinec	236	60	297
SUMA	2780	484	3264

Hodnocené varianty se liší využitými zdroji tepla a zdroji obnovitelné energie.

**První varianta (V1)** má primární zdroj tepla automatický kotel na pelety Ponast KP 08. Ze 46% pomáhají hradit potřebu tepla na přípravu teplé vody dva solární fototermické kolektory KTU 15. Pro dosažení nulové bilance neobnovitelné primární energie je instalováno 18 fotovoltaických panelů typu DHP60 Solar Poly 280 Wp.

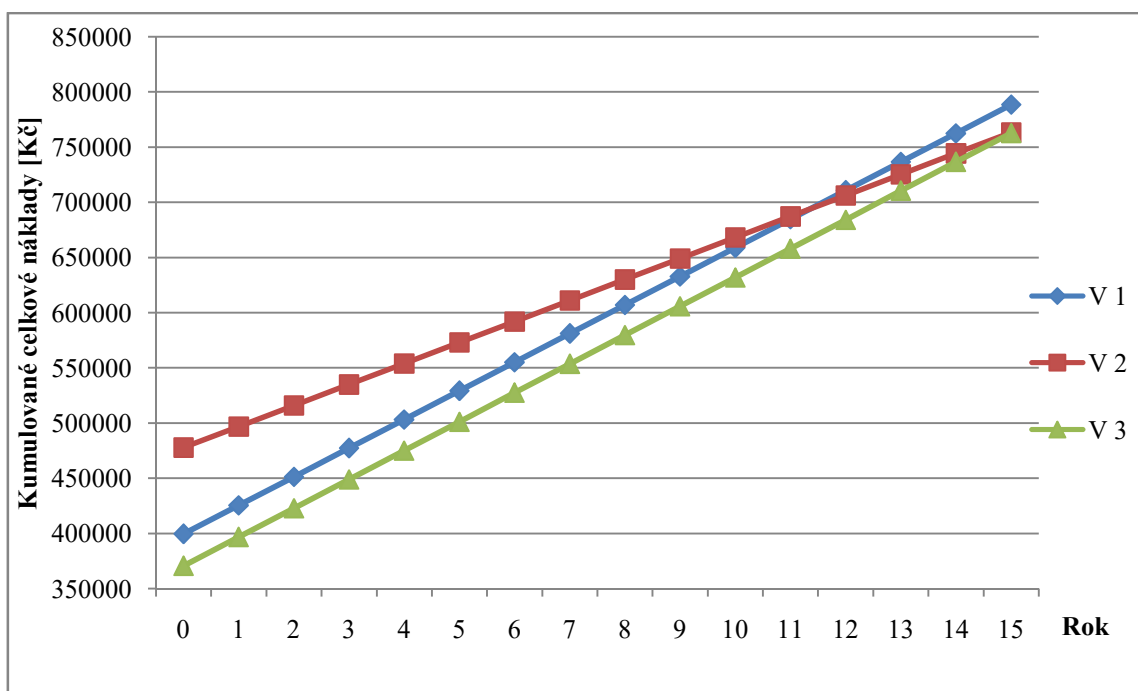
**Druhá varianta (V2)** má jako zdroj tepla pro vytápění i přípravu TV tepelné čerpadlo vzduch-voda WPL 10AC. Pro dosažení nulové bilance neobnovitelné primární energie je potřeba 26 fotovoltaických panelů DHP60 Solar Poly 280 Wp.

**Třetí varianta (V3)** využívá jako zdroj tepla plynový kondenzační kotel Geminox ZEM 2-17C. Pro dosažení nulové bilance neobnovitelné primární energie je zde instalováno 28 fotovoltaických panelů DHP60 Solar Poly 280 Wp

Výsledkem bilancování primární neobnovitelné energie je, že **nulové bilance mohou dosáhnout varianty 1, 2 i 3**. Nejvíce omezující parametr, který by mohl znemožnit dosažení nulové bilance, byla velikost střechy orientované na jižní stranu, která slouží pro umístění solárních panelů. Ve všech variantách však tato plocha byla dostačující, jak je patrné z obrázků 4.4, 4.6 a 4.8.

V ekonomickém porovnání byla použita ještě nenulová varianta PK, která využívá jako zdroj tepla pouze plynový kondenzační kotel a slouží pouze pro porovnání nákladů. Tato varianta měla investiční výdaje o 293 tis Kč nižší, než je průměr nulových variant. I při vyšších provozních nákladech měla varianta PK po patnácti letech stále v průměru o 126 tis Kč nižší celkové kumulované náklady. Při uvažování státních dotací, by se rozdíl investičních nákladů mohl snížit. Diplomová práce však státní dotace neuvažuje.

Při porovnání nulových variant z ekonomického hlediska vyšly po bilancování za 15 let nejlépe dvě varianty, jednou variantou je V 3 (s plynovým kondenzačním kotlem a fotovoltaikou) a druhou je V 2 (s tepelným čerpadlem a fotovoltaikou). Přičemž V 3 má vyšší provozní náklady než V 2. Varianta 2 má nižší provozní náklady díky možnosti využití výhodnější sazby za elektřinu, a díky sezonnímu topnému faktoru 3 tepelného čerpadla.



Obr. 5.1. Kumulované náklady souhrn nulových variant

Při rozhodování mezi variantou 2 a 3, je třeba zvážit následující skutečnosti. Při předpokladu, že reálná životnost zdrojů bude vyšší, než je zvolená hodnota 15 let, by bylo výhodné volit variantu 2 s tepelným čerpadlem a fotovoltaickým systémem. Tato varianta má nižší provozní náklady díky možnosti využití přebytků FV systému, pro pohon tepelného čerpadla a také díky možnosti využití výhodnějšího tarifu elektrické energie ze sítě. Je zde však vlivem složitějšího provedení větší riziko poruchy. Životnost tepelného čerpadla je dána především počtem sepnutí kompresoru. Ve variantě použité v diplomové práci je uvažováno s akumulací otopné vody i se zásobníkovou přípravou teplé vody. Toto provedení by mělo zajistit menší cyklování a z toho vyplývající delší životnost tepelného čerpadla, a proto by se mělo dosáhnout předpokládané životnosti 20-25let. [51]

Varianta 2 má velkou výhodu nižších pořizovacích nákladů. Zároveň použitý plynový kondenzační kotel má vlivem menšího množství mechanických částí vyšší spolehlivost. Nevýhodou této varianty jsou vyšší provozní náklady, nutnost provedení plynové přípojky a odkouření.

Obě varianty mají tedy své výhody i nevýhody a je pouze na investorovi, zda zvolí mírně riskantnější variantu 3 s předpokladem, že díky delší životnosti zdroje než uvažovaných 15 let uspoří. Druhá varianta je vhodná pro konzervativnější investory s preferencí nižší počáteční investice.

## 6. Použitá literatura

- [1] Emise CO<sub>2</sub> a jejich dopad na hodnocení zdrojů v budovách [online]. 2018 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vytapani/17112-emise-co2-a-jejich-dopad-na-hodnoceni-zdroju-v-budovach>
- [2] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR* [online]. In: . 2015, s. 130 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zmena\\_klimatu\\_adaptacni\\_strategie/\\$FILE/OEOK-Adaptacni\\_strategie-20151029.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zmena_klimatu_adaptacni_strategie/$FILE/OEOK-Adaptacni_strategie-20151029.pdf)
- [3] *Hrozbou je vymírání biologických druhů je..* [online]. In: . [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/svet/1628774-hrozbou-je-vymirani-biologickych-druhu-rika-k-dopadum-zmeny-klimatu-bedrich-moldan>.
- [4] D. HLAVÁČEK, *Architektura a ekologie*, Praha: ČVUT v Praze, Fakulta architektury, 2013.
- [5] Z HISTORIE PASIVNÍCH DOMŮ. Centrum pasivního domu [online]. 2013 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://www.pasivnidomy.cz/z-historie-pasivnich-domu/t1083>.
- [6] MATUŠKA, T. Nulové, téměř nulové a plusové budovy v českém právním kontextu, *Stavebnictví č. 1–2*, 2018.
- [7] Program pro navrhování pasivních domů PHPP. Verze 8 (2013). Passive House Institute
- [8] PHPP (Passive House Planning Package) [online]. [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://www.optimalizacebudov.cz/attachments/files/PageFileScheme/PHPP.pdf?v3>
- [9] HUMM, O. *Nízkoenergetické domy*, Grada Publishing, spol. s r. o., 1999, ISBN 80-7169-657-9. [2] TYWONIAK, J. A KOLEKTIV,
- [10] Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů. Parlament České republiky. 2000.
- [11] ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky*, ÚNMZ, 2011.
- [12] Budovy s téměř nulovou spotřebou – porovnání energetických standardů [online]. 2017 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://stavba.tzb->

info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15181-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-porovnani-energetickych-standardu

- [13] TYWONIAK, J. A KOLEKTIV, Nízkoenergetické domy 3. Nulové, pasivní a další. Grada Publishing, a.s., 2012, ISBN 978-80-247-3832-1.
- [14] Neobnovitelná primární energie [online]. [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vytapeni/16491-neobnovitelna-primarni-energie>
- [15] Vyhláška 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov. Ministerstvo průmyslu a obchodu. 2013.
- [16] TNI 73 0329 Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Rodinné domy. ÚNMZ, srpen 2010.
- [17] T. MATUŠKA, „Hodnocení budov - Přístupy,“ [Online]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/30569968-Hodnoceni-budov-pristupy.html>
- [18] DURDIS, Tomáš. STÍNĚNÍ JAKO ARCHITEKTONICKÝ PRVEK [online]. Praha, 2018 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/81884/F5-D-2018-Durdis-Tomas-priloha-TEZE%20Durdis%20finalni%20vydani.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Disertační práce.
- [19] D. R. HOLLOWAY, „A Simple Design Methodology For Passive Solar Houses,“ 2011. [Online]. Dostupné z: <http://www.dennisrhollowayarchitect.com/SimpleDesignMethodology.html>
- [20] NÍZKOENERGETICKÝ DŮM (NED) [online]. 2016 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/aktuality/20873-nizkoenergeticky-dum-ned-a.html#.XyBuJyj7Tct>
- [21] Jaká je nejvýhodnější tloušťka izolace pro zateplení? [online]. 2013 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/stavba/izolace/jaka-je-nejvyhodnejsi-tloustka-izolace-pro-zatepleni.aspx>
- [22] Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích [online]. 2012 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/2526-tepelne-mosty-ve-stavebnich-konstrukcich>
- [23] VAVČIČKA, Roman. Teplovodní otopné soustavy [online]. , 41 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Kurz%20Vytapeni/Otopne%20soustavy%20tepelvodni%20-%20Kurz%20vytapeni.pdf>

- [24] BAŠTA, Jiří. *Otopné plochy*. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2001, 328 s. ISBN 80-01-02365-6.
- [25] PRYČEK, Radovan. Otopná tělesa [online]. 2013, 41 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/12563504/>
- [26] Podlahový konvektor "na míru" [online]. In: . [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://www.energitech.cz/fox-silent-podlahove-konvektory-idc24>
- [27] Bašta, Jiří. *Velkoplošné sálavé vytápění*. Grada Publishing, a.s., Praha 2010, 128s., ISBN 978-80-247-3524-5.
- [28] Dimenzování a realizace teplovodního podlahového vytápění [online]. In: . [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/7443-dimenzovani-a-realizace-teplovodniho-podlahoveho-vytapeni>
- [29] BAŠTA, Jiří: *Podklady k přednáškám ze základů vytápění 2*. [Přednáška]. Praha: ČVUT, říjen 2017
- [30] DRKAL, F., ZMRHAL, V. Větrání. 2. vydání. Vysokoškolské skriptum. Česká technika – nakladatelství ČVUT. 2018.
- [31] Air 70 – lokální rekuperační jednotka [online]. In: . 2015 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/13348-air-70-lokalni-rekuperacni-jednotka>
- [32] VAVŘIČKA, Roman: *Příprava teplé vody* [Přednáška]. Praha: ČVUT, 2017 Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Kurz%20Vytapeni/Priprava%20teple%20vody.pdf>
- [33] Domy a chlazení [online]. In: . 2018 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/18176-domy-a-chlazení>
- [34] MATUŠKA, Tomáš: *Úvod do zásobování teplem*, [Přednáška, online]. Praha: ČVUT, 2017. Dostupné z: <https://docplayer.cz/21382912-1-97-uvod-do-zasobovani-teplem.html>
- [35] TNI 73 0331 *Energetická náročnost budov* – Typické hodnoty pro výpočet. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2013
- [36] MATUŠKA, Tomáš: *Nízkopotenciální zdroje tepla*, [Přednáška, online]. Praha: ČVUT, 2017. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P7-tepelna\\_cerpadla\\_NPT.pdf](http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P7-tepelna_cerpadla_NPT.pdf)
- [37] Solární (fotovoltaické) články [online]. [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>

- [38] MATUŠKA, Tomáš: *Fotovoltaika – základy*, [Přednáška, online]. Praha: ČVUT, 2020. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2020/04/AZE2-P6\\_FV\\_technologie.pdf](http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2020/04/AZE2-P6_FV_technologie.pdf)
- [39] FOTOVOLTAIKA S AKUMULACÍ DO BATERÍÍ. In: Terms [online]. [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <http://www.termsenergy.cz/fve-c36>
- [40] *Typy solárních kolektorů* [online]. [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/154-typy-solarnich-kolektoru>
- [41] Solární soustavy pro přípravu teplé vody [online]. [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/91/09.html>
- [42] Příprava teplé vody – fotovoltaika nebo solární tepelné kolektory? [online]. 2013 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/10453-priprava-teple-vody-fotovoltaika-nebo-solarni-tepelne-kolektory>
- [43] *Návrh energeticky nulového bytového domu* [online]. Praha, 2016 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66309/F2-DP-2016-Topek-Vilem-\\_\\_Prefinalni%20navrh%20DP.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66309/F2-DP-2016-Topek-Vilem-__Prefinalni%20navrh%20DP.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Diplomová práce. ČVUT.
- [44] *Analýza potřeby pomocné elektrické energie v pasivním domě* [online]. 2012 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/8176-analyza-potreby-pomocne-elektricke-energie-v-pasivnim-dome>
- [45] Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací. *Vytápění, větrání, instalace* [online]. Praha, 2015, [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseny-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>
- [46] TNI 73 0351 *Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly – Zjednodušený výpočtový postup*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2014
- [47] VEKRA Komfort EVO. *Vekra* [online]. [cit. 2018-06-14]. Dostupné z: <https://www.vekra.cz/produkt/vekra-premium-evo/>
- [48] Problematika hodnocení solárního pokrytí FV systémem v domácnosti. *Vytápění, větrání, instalace*. Praha: ČVUT, 2019, 1/2019.

- [49] NOVOTNÝ, Jiří a Tomáš MATUŠKA. *Bilance fotovoltaického systému v rodinném domě vytápěném tepelným čerpadlem* [online]. 2019 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/19703-bilance-ckeho-systemu-v-rodinnem-dome-vytapenem-tepelnym-cerpadlem>
- [50] Vývoj celkových cen elektřiny. *Kalkulátor cen energií* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://kalkulator.tzb-info.cz/cz/vyvoj-celkovych-cen-elektriny>
- [51] Tepelné čerpadlo: Jakou má životnost a jaké jsou záruky. *Estav* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/3476.tepelne-cerpadlo-jakou-ma-zivotnost-a-jake-jsou-zaruky>
- [52] Vyznejte se v plynových kotlích: Účinnost vás u těch nejnovějších překvapí. *Plyn.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.plyn.cz/vyznejte-se-v-plynovych-kotlich>
- [53] Vyberáme kotel na pelety: Kdy topíme bez práce a který typ šetří energii? *Nazeleno.cz* [online]. 2012 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/vytapani/vybirame-kotel-na-pelety-kdy-topime-bez-prace-a-ktery-typ-setri-energie.aspx>
- [54] FOTOVOLTAIKA A FOTOTERMIKA - POROVNÁNÍ. *Československá společnost pro sluneční energii* [online]. 2012 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <http://www.solarnispolecnost.cz/cz/fotovoltaika-a-fototermika-porovnaní>
- [55] Jak na výpočet spotřeby elektřiny. *Kalkulačka energie* [online]. [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://kalkulackaenergie.com/jak-na-vypocet-spotreby-elektriny/>



## 7. Seznam příloh

Půdorys 1.NP 1:50

Půdorys 2.NP 1:50

ŘEZ A-Á 1:50

Bilance FV V 1 a V 2

Bilance FV V 3 a termických kolektorů V1

Bilance tepelného čerpadla V2

Celkové kumulované náklady