



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

NÁVRH SYSTÉMU OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE PRO REKREAČNÍ ZAŘÍZENÍ

RENEWABLE ENERGY SYSTEM DESIGN FOR A RECREATIONAL FACILITY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Králíček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jakub

Linda

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Jakub Králíček**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Energetika, procesy a životní prostředí
Vedoucí práce: **Ing. Jakub Linda**
Akademický rok: 2022/23

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh systému obnovitelných zdrojů energie pro rekreační zařízení

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Přijetím evropské zelené dohody v roce 2019 a akčního plánu EU pro oběhové hospodářství v roce 2020 se Evropská unie zavázala dosáhnout klimatické neutrality do roku 2050. Využívání obnovitelných zdrojů energie je jedním z klíčových aspektů těchto cílů. Instalace těchto zdrojů v bytových jednotkách s sebou přináší pozitiva i negativa. Tato práce se zaměřuje na návrh různých zdrojů energie pro rekreační zařízení v konkrétní lokalitě. Po návrhu bude následovat ekonomické hodnocení, které poukáže na slabé či silné stránky daných zdrojů. Na základě návrhu bude také vybrána a optimalizována varianta energetického systému pro danou budovu.

Cíle bakalářské práce:

1. Určení energetické náročnosti konkrétní budovy v konkrétní lokalitě.
2. Zjednodušený návrh různých energetických systémů založených na OZE.
3. Výběr a optimalizace nejvhodnějšího energetického systému pro danou lokalitu.

Seznam doporučené literatury:

KADRNOŽKA, Jaroslav. Energie a globální oteplování – Země v proměnách při opatřování energie, 2006. 1. vydání. Brno: VUTIUM, ISBN 80-214-2919-4.

ŠKORPÍK, Jiří. Sluneční záření jako zdroj energie, Transformační technologie, 2006-09, [last updated 2020-10-22]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/02.html>.

ŠKORPÍK, Jiří. Využití energie větru, Transformační technologie, 2006-10, [last updated 2020-10-23]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/04.html>.

ŠKORPÍK, Jiří. Využití energie vodního spádu, Transformační technologie, 2006-10, [last updated 2020-10-27]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/05.html>.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá zjednodušeným návrhem obnovitelných zdrojů energie pro konkrétní budovu. Nejdříve je popsána daná budova, následně je určena potřeba tepla na vytápění stavby za pomoci normy ČSN EN 12831-1 pro měsíční průměrné teploty v dané lokalitě. Pro vypočtenou potřebu tepla na vytápění, energie pro ohřev teplé užitkové vody a předpokládanou spotřebu elektrické energie jsou navrženy obnovitelné zdroje. Postupně je navržen fotovoltaický systém, systém s větrnou turbínou, fototermický systém a tepelné čerpadlo. Výsledné hodnoty příspěvků jednotlivých obnovitelných zdrojů jsou porovnány a následně jsou navrženy dva nejvhodnější systémy.

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with a simplified design of renewable energy sources for a specific building. Firstly, the building is described, then the heat demand for heating the building is determined using the standard ČSN EN 12831-1 for monthly average temperatures in the area. Renewable energy sources are proposed for the calculated heating demand, the energy for hot water heating and the expected electricity consumption. A photovoltaic system, a wind turbine system, a photothermal system and a heat pump are proposed in turn. The resulting contributions of each renewable source are compared and then the two most suitable systems are proposed.

Klíčová slova

Fotovoltaický systém, systém s větrnou turbínou, fototermický systém, tepelné čerpadlo, obnovitelné zdroje energie

Key words

Photovoltaic system, wind turbine system, photothermal system, heat pump, renewable energy sources

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KRÁLÍČEK, Jakub. *Návrh systému obnovitelných zdrojů energie pro rekreační zařízení* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/145721>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jakub Linda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem *bakalářskou* práci na téma **Návrh systému obnovitelných zdrojů energie pro rekreační zařízení** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 24.05.2023

.....
Datum

.....
Jakub Králíček

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Jakubu Lindovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce. Dále bych rád poděkoval rodině, která za mnou po celou dobu studia stála a podporovala mě.

OBSAH

Motivace	11
Úvod	12
1 Rodinný dům	13
1.1 Předmět zájmu	13
1.2 Umístění	13
1.3 Typ domu	14
1.4 Izolace domu	15
1.5 Napojení na síť	15
1.6 Shrnutí	15
2 Určení energetické náročnosti budovy	16
2.1 Systém vytápění	16
2.2 Systém přípravy teplé užitkové vody	16
2.3 Hodnoty klimatických poměrů	16
2.4 Výpočet tepelných ztrát budovy	18
2.4.1 Návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru	19
2.4.2 Návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru	19
2.4.3 Příklad výpočtu na konkrétní stěně/místnosti při výpočtové hodnotě klimatu	19
2.4.4 Celková tepelná ztráta budovy	20
2.5 Potřeba energie domu	20
2.5.1 Roční rozložení potřeby energie	21
2.6 Shrnutí energetické náročnosti budovy	24
3 Zjednodušený návrh obnovitelných zdrojů energie	25
3.1 Fotovoltaický systém	25
3.1.1 Výhody a nevýhody fotovoltaického systému	25
3.1.2 Připojení fotovoltaického systému do distribuční soustavy	26
3.1.3 Situování stavby vzhledem ke slunci	26
3.1.4 Výroba a akumulace elektrické energie vytvořené fotovoltaickým systémem	26
3.1.5 Výpočet plochy a účinnosti panelů během roku	27
3.1.6 Dopadající sluneční energie	29
3.1.7 Porovnání vypočtených hodnot z kapitoly 3.1.6 s evropským simulačním programem PVGIS pro výpočet FV soustavy	33
3.1.8 Porovnání celkových nároků na elektrickou energii s hodnotami výkonu FV systému dle programu PVGIS	34
3.1.9 Shrnutí FV systému	35
3.2 Systém s větrnou turbínou	35
3.2.1 Výhody a nevýhody větrné turbíny	35
3.2.2 Požadavky na instalaci větrné turbíny	36
3.2.3 Větrné podmínky naší lokality	36
3.2.4 Měsíční příspěvek od větrné turbíny	39
3.2.5 Shrnutí větrné turbíny	40

3.3	Fototermický systém	40
3.3.1	Výhody a nevýhody fototermického systému	41
3.3.2	Výkon fototermického systému	41
3.3.3	Shrnutí fototermického systému	44
3.4	Tepelné čerpadlo	44
3.4.1	Výhody a nevýhody konkrétních druhů tepelných čerpadel	44
3.4.2	Popis zjednodušeného výpočtu	44
3.4.3	Určení potřeby tepla v jednotlivých měsících	45
3.4.4	Postup výpočtu.....	46
3.4.5	Shrnutí tepelného čerpadla	49
4	Výběr a optimalizace nejvhodnějšího energetického systému pro danou lokalitu	50
4.1	Shrnutí jednotlivých obnovitelných zdrojů	50
4.1.1	Fotovoltaický systém	50
4.1.2	Systém s větrnou turbínou	50
4.1.3	Fototermický systém.....	50
4.1.4	Systém s tepelným čerpadlem	51
4.1.5	Shrnutí – pokrytí potřeb od jednotlivých zdrojů.....	52
4.2	Potřebné množství paliva pro kotel a snížení množství paliva při aplikaci OZE	52
	Závěr	56
	Seznam použitých zdrojů	57
	Seznam použitých zkratk	61
	Seznam obrázků	62
	Seznam tabulek	63

Motivace

Motivace k sepsání této bakalářské práce má osobní charakter. Naše rodina tráví v Jeseníkách spoustu času a rozhodla se zde svépomocí postavit roubenou stavbu.

Součástí návrhu této stavby je i otázka vytápění, která je v této oblasti problematická. Jedná se o místo v horách na konci údolí, které obklopují vysoké stromy.

V projektu je navržen jako hlavní zdroj tepla kotel na tuhá paliva (dřevo) a jako přídavný zdroj byl zvolen elektrokotel na ohřev teplé užitkové vody.

Vzhledem k čistému okolnímu prostředí, které chceme zachovat pro budoucí generace, přemýšlíme o využití obnovitelných zdrojů.

Jelikož je stavba ještě ve výstavbě, je zde prostor a čas pro drobné úpravy, které by obnovitelné zdroje pro své použití vyžadovaly.

Úvod

Vzhledem k potřebě snižovat závislost na fosilních palivech a tím redukovat uhlíkovou stopu, hrají obnovitelné zdroje v posledních letech velmi významnou roli.

Využitím obnovitelných zdrojů dochází i k zvyšování samostatnosti států bez nalezišť neobnovitelných zdrojů a rovněž k redukci rizika vzniku ekologických havárií. V ideálním případě, při využití plného potenciálu obnovitelných zdrojů (především slunce), by bylo možno dosáhnout úplné nezávislosti na fosilních palivech.

Dnes ještě nevíme, kterým směrem se bude lidstvo ubírat, jestli půjde o zvýšení produkce H₂, rozvoj malých modulárních reaktorů, elektro mobilita, záchyt CO₂, využití CO₂, výroba syntetických paliv...

Protože v současné době neumíme plně využít potenciál slunce, větru a tepla prostředí, tak se alespoň snažíme o maximální podporu všech obnovitelných zdrojů energie.

V této bakalářské práci je hledán způsob, jak co nejefektivněji navrhnout a optimalizovat konkrétní systém využívající obnovitelnou energii nebo kombinaci těchto systémů pro konkrétní budovu.

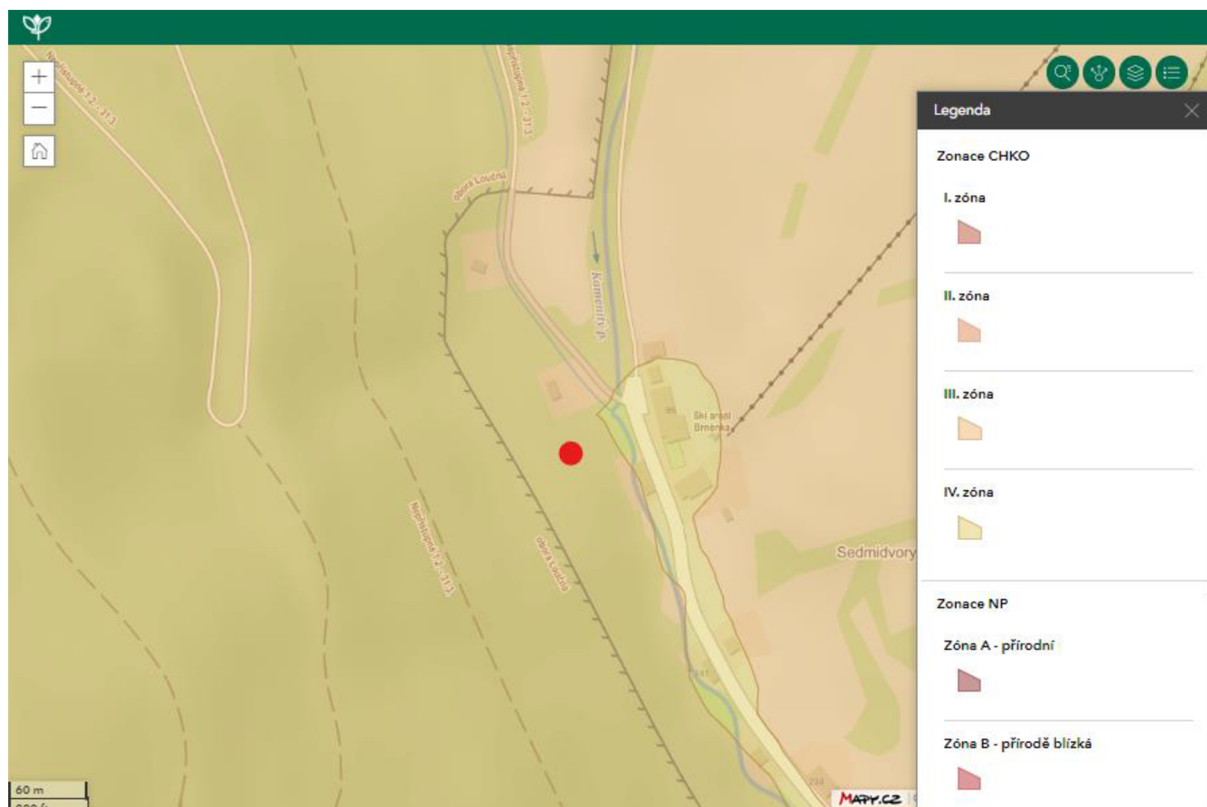
1 Rodinný dům

1.1 Předmět zájmu

Předmětem zájmu je novostavba rodinného domu o třech bytových jednotkách.

1.2 Umístění

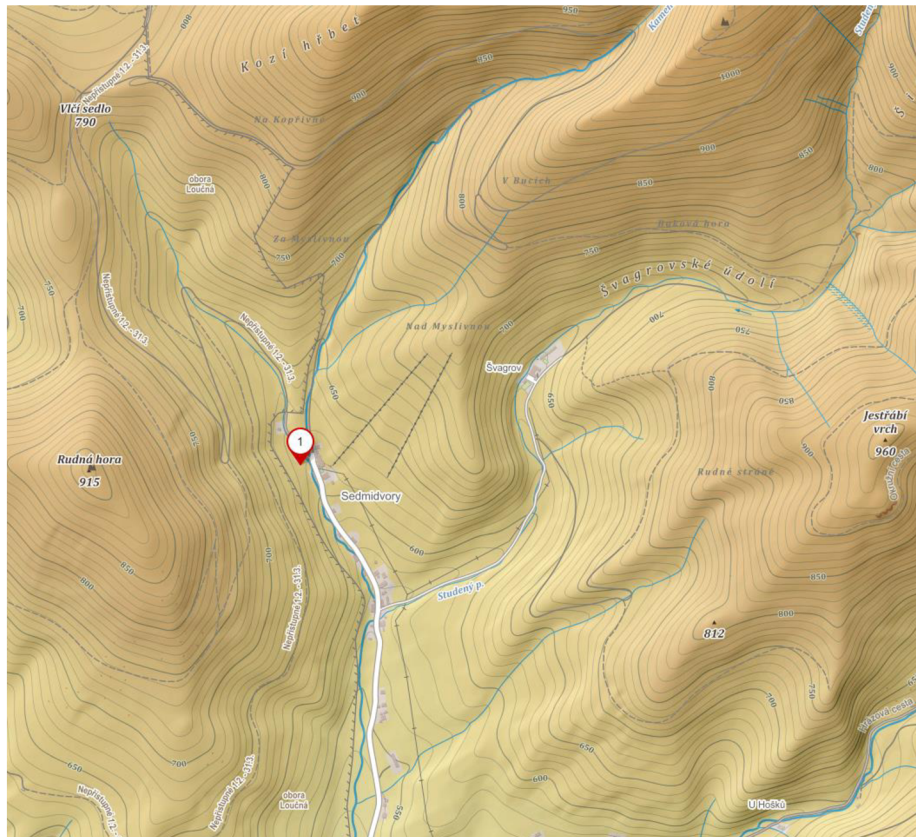
Rodinný dům (označen na Obr. 1 červenou tečkou) je situován ve Vernířovicích u Sobotína (615,3 m n.m). Lokalita je v chráněné krajinné oblasti Jeseníky, třetím ochranném pásmu CHKO.



Obr. 1 Třetí zóna CHKO Jeseníky [2]

Stavba se nachází ve vzdálenosti do 50 m od okraje lesního pozemku, jehož vlastníkem je ČR s právem hospodařit pro Lesy ČR, s.p. [1].

Stavební místo je zasazeno v údolí, jak je zobrazeno na Obr. 2.



Obr. 2 Geomorfologie dané lokality [3]

1.3 Typ domu

Jedná se o dům umístěný na úpatí hory Rudná (915 m n.m.), který je zabudován do svahu viz Obr. 3.



Obr. 3 Zabudování stavby do svahu [4]

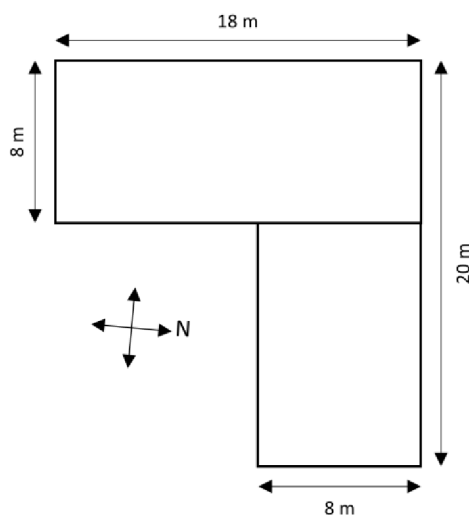
Podzemní část neboli první podzemní patro (1PP) se skládá z nebytových prostor. Vzhledem k deštivé oblasti a podkladu, který je složen z velkých kamenů, bylo rozhodnuto, že se nepoužijí pasy ze ztraceného bednění, ale bude vybudována monolitická základová deska. V této desce budou již umístěny rozvody teplovodního vytápění, teplé užitkové vody (TUV), kanalizace, elektrické rozvody a podlahové topení.

Zdi 1PP budou monolitické, včetně všech příslušných instalovaných rozvodů. Strop nad 1PP bude proveden ze střešních panelů od firmy *Goldbeck*.

Stavba nad 1PP (první nadzemní patro (1NP), druhé nadzemní patro (2NP)) bude provedena jako roubená stavba z borových trámů. Dodavatelem bude Litevská firma.

Střecha bude realizována jako sedlová, břidlicová (či imitace břidlice). Skladba krovu je hambálková.

Budova má půdorys tvaru L, který je možné vidět na Obr. 4 a má rozměry 18 x 8 m a 12 x 8 m.



Obr. 4 Situace [5]

1.4 Izolace domu

První podzemní patro je izolováno od vody pomocí hydroizolační fólie, která nesmí přijít do styku s extrudovaným polystyrenem (XPS), což je řešeno přidáním další vrstvy geotextílie.

Jako tepelná izolace 1PP bude použit na stěny XPS o tloušťce 120 mm, podkladový polystyren pod celou plochou o tloušťce 50 mm a přídatné vrstvy pod místnostmi o tloušťce 150 mm, pod místnostmi je tedy izolace o celkové tloušťce 200 mm.

Patra 1NP a 2NP budou izolována minerální vatou tloušťky 120 mm.

1.5 Napojení na síť

Novostavba bude napojena na elektrické rozvody nízkého napětí, domovní čističku odpadních vod a vrtanou studnu. Připojení k plynu není k dispozici. V budoucnu je v obci plán na vybudování kanalizačního systému a vodovodního řádu.

1.6 Shrnutí

Jedná se o novostavbu rodinného domu ve Vernířovicích jejíž nadzemní patra budou realizována jako roubená. Stavba je v údolí zabudována do hory Rudná. V blízkosti se nachází vzrostlý les.

Objekt je napojen pouze na nízké napětí (plyn není k dispozici), voda bude získávána z vrtané studny a odpad neutralizován v domovní čističce odpadu.

2 Určení energetické náročnosti budovy

2.1 Systém vytápění

Vytápění bude řešeno teplovodním systémem, s využitím kotle *Atmos DC 25 S* na tuhá paliva viz Tab. 1 jako hlavního zdroje tepla. Pro zajištění minimální teploty vratné vody, bude ke kotli zapojen Laddomat 22 [6], který zajistí rychlé dosažení provozní teploty po zátopu a požadované nahřátí vody v akumulární nádrži [7]. *Atmos DC 25 S* je vybaven i chladicí smyčkou proti přetopení [6].

Tab. 1 Hodnoty kotle *Atmos DC 25 S* [6]

Název	Atmos DC 25 S
Emisní třída	5 a Ekodesign
Maximální topný výkon	25 kW
Teplota vratné vody do kotle	65 °C
Výstupní teplota	80-90 °C
Účinnost	89,9 %

Kotel bude napojený na dvě akumulární nádrže o objemu 2x750 l. Jako záložní zdroj bude v každé akumulární nádrži instalováno elektrické topné těleso o výkonu 12 kW. Akumulární nádrže jsou navrženy i na zásobování teplem ze solárních kolektorů.

V prvním podzemním patře bude vytápění realizováno podlahovým topením s teplotním spádem 32/23 °C. V místě trvalé instalace nábytku bude výkon podlahového vytápění snížen o 40 %.

Nadzemní patra budou vytápěna deskovými otopnými tělesy se spádem 65/50 °C. V koupelnách bude distribuce tepla realizována trubkovými tělesy.

Návrh zapojení otopné soustavy navrhla firma *windMax s.r.o.*

2.2 Systém přípravy teplé užitkové vody

Přípravu teplé užitkové vody (TUV) bude v zimě zajišťovat kotel *Atmos*, v létě (během měsíců červen, červenec a srpen) elektrokotel *Protherm ray 12KE* o výkonu 12 kW s účinností 99,5 %.

TUV bude uložena v zásobníku o objemu 500 l.

2.3 Hodnoty klimatických poměrů

Pro návrh obnovitelných zdrojů energie (OZE) je nutné si nejdříve zjistit hodnoty klimatických poměrů, které ovlivňují celý návrh a potřeby energií v jednotlivých měsících. S těmito hodnotami můžeme navrhnout ideální zdroj či kombinace zdrojů.

Dle ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin z listopadu 2005 [8] je za pomoci Tab. 2 vypočtena teplota vzduchu v zimním období pomocí vztahu:

$$\theta_e = \theta_{e,100} + \Delta\theta_e \quad (1)$$

Kde: θ_e je navrhovaná teplota venkovního vzduchu v zimním období [°C]
 $\theta_{e,100}$ je základní návrhová teplota venkovního vzduchu určená pro nadmořskou výšku 100 m n.m. [°C]

$\Delta\theta_e$ výškový teplotní gradient v K pro danou teplotní oblast podle Tab. 2, který se pro místo budovy s nadmořskou výškou h určí ze vztahu:

$$\Delta\theta_e = \Delta\theta_{e,0} \cdot \frac{\Delta h}{100} \quad (2)$$

Kde: $\Delta\theta_{e,0}$ je základní gradient pro danou teplotní oblast podle Tab. 2;
 $\Delta h = h - 100$ rozdíl nadmořské výšky místa budovy h , v m n.m., a základní nadmořské výšky 100 m n.m.

Tab. 2 Hodnoty z normy pro určení zimní výpočtové teploty [8]

Teplotní oblast	Průměrná nadmořská výška v teplotní oblasti h_m	Základní návrhová teplota venkovního vzduchu pro 100 m n.m. $\theta_{e,100}$	Základní teplotní gradient nad 100 m n.m. $\Delta\theta_{e,0}$
[-]	[m n.m.]	[°C]	[K]
1	240	-12	-0,5
2	320	-14	-0,3
3	540	-16	-0,2
4	820	-18	-0,2

Z výše uvedených vztahů 1, 2 a Tab. 3 plyne:

$$\theta_e = \theta_{e,100} + \Delta\theta_e = -16 + (-0,2) \cdot \left(\frac{615,3 - 100}{100} \right) = -17,03 \text{ °C} = -18 \text{ °C} \quad (3)$$

Tab. 3 Projekční a vypočtené hodnoty

Nadmořská výška	615,3 m n.m.
Zimní výpočtová teplota vzduchu	-18 °C
Délka otopného období	271 dní
Průměrná teplota otopného období	3,3 °C

Po určení projekčních hodnot, které se nacházejí v Tab. 3, je dále potřeba znát průměrné měsíční teploty okolního vzduchu.

Tab. 4 Průměrné teploty vzduchu v dané lokalitě [9]

Měsíc	Průměrná teplota vzduchu v měsíci
[-]	[°C]
1	-7,6
2	-3,2
3	1,9
4	4,0
5	12,1
6	14,1
7	16,6
8	17,9
9	13,9
10	5,7
11	3,8
12	-0,7

Projekční hodnoty potřebné pro výpočet tepelného výkonu jsou uvedeny v Tab. 3 a průměrné teploty vzduchu, které jsou použity pro výpočet potřeby tepla v kapitole 2.4, jsou zobrazeny v Tab. 4.

Teploty v zimních měsících dle Tab. 4 jsou mírně nižší než průměrné v místě stavby, z důvodu zajištění rezervy pro výpočet.

2.4 Výpočet tepelných ztrát budovy

Pro správné dimenzování vytápění je zapotřebí nejdříve určit energetickou náročnost dané budovy.

Po ujasnění skladby stavby, která je popsána v kapitole 1.3, při známé zimní výpočtové teplotě, se navrhuje bližší vyšší výkon kotle.

S pomocí znalosti hodnot průměrné teploty během měsíců, jenž se nacházejí v Tab. 4 a vzorců popsaných v kapitole 2.4, 2.4.1 a 2.4.2 se určí potřeba tepla během jednotlivých měsíců.

Výpočet byl proveden pro každou místnost zvlášť (okna a jiné prostupy byly řešeny samostatně) pro průměrné měsíční teploty uvedené v Tab. 4. Tepelné výkony místností pro každý měsíc byly následně sečteny do celkové výsledné hodnoty potřeby tepla budovy. Pro zjednodušení výpočtu (vynechání prostupu tepla mezi místnostmi) byla počítána ztráta tepla pouze obálkou (stěny v kontaktu s exteriérem).

Dle ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3 vydaná v září 2018 [10] byl vypočten tepelný výkon pro vytápěné prostory podle rovnice (4).

$$\phi_{HL,i} = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} \quad (4)$$

Kde:	$\phi_{HL,i}$	návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor (i)	[W]
	$\phi_{T,i}$	návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru (i) podle rovnice (5)	[W]
	$\phi_{V,i}$	návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i) podle rovnice (6)	[W]

2.4.1 Návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru

Jedná se o zjednodušený postup, který zohledňuje pouze takové obálkové povrchy (stavební části (k)) uvažovaného prostoru (i), které oddělují uvažovaný prostor (i) od sousedního prostoru s rozdílem teplot > 4 K.

$$\phi_{T,i} = \sum_k \phi_{T,k} = \sum_k (A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{x,k}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (5)$$

Kde:	$\phi_{T,k}$	tepelná ztráta prostupem stavební části (k)	[W]
	A_k	plocha stavební části (k)	[m ²]
	U_k	součinitel prostupu tepla stavební části (k)	[W/ m ² ·K]
	ΔU_{TB}	přirážka na vliv tepelných vazeb; pokud jsou tepelné mosty zohledněny jiným způsobem, pak se pro příslušné stavební části $\Delta U_{TB} = 0$	[W/ m ² ·K]
	$f_{x,k}$	teplotní opravný činitel (vztaženo k příslušné stavební části k) určen na národní úrovni z přílohy B, tabulky B.11 Normy uvedené v kapitole 2.4	[-]
	$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota uvažovaného vytápěného prostoru (i)	[°C]
	θ_e	venkovní výpočtová teplota	[°C]

2.4.2 Návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru

Výpočet se neprovádí v neobytných prostorech (sklep, garáž...). Naopak musí být proveden v obytných prostorách ($n_i = 0,5$), kuchyních nebo koupelenách s oknem ($n_i = 1,5$), kancelářích ($n_i = 1$), zasedací místnostech a ve školách ($n_i = 2$) [11].

$$\phi_{V,i} = V_i \cdot n_i \cdot \rho_a \cdot c_{p,a} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (6)$$

Kde:	V_i	vnitřní objem (objem vzduchu) vytápěného prostoru (i)	[m ³]
	n_i	intenzita větrání vytápěného prostoru (i)	[h ⁻¹]
	$\rho_a \cdot c_{p,a}$	součin hustoty a měrné kapacity vzduchu v rámci tohoto zjednodušeného přístupu jsou ρ_a a $c_{p,a}$ uvažovány jako konstanty a určeny jako součin o hodnotě $\rho_a \cdot c_{p,a} = 0,34$	[Wh/ m ³ ·K]

2.4.3 Příklad výpočtu na konkrétní stěně/místnosti při výpočtové hodnotě klimatu

Plocha stěny, která je v kontaktu s exteriérem má plochu 5,95 m² z čehož 0,99 m² zabírá okno, které je počítáno zvlášť. U_k pro tuto stěnu byl stanoven na hodnotu 0,22 a hodnota ΔU_{TB} na 0,05. Výsledná hodnota součinitele prostupu tepla je $U_k + \Delta U_{TB} = 0,22 + 0,05 = 0,27$ W/m² · K a pro okno $U_k + \Delta U_{TB} = 1,0 + 0,5 = 1,5$ W/ m² · K. Teplotní opravný činitel $f_{x,k}$ byl stanoven, na základě národních podmínky na hodnotu 1,0. Vnitřní výpočtová teplota $\theta_{int,i}$ je 24°C a venkovní teplota (viz. kapitola 2.3) θ_e je -18°C.

Pro výpočet ztráty tepla větráním byl nejdříve stanoven objem vzduchu ze znalosti plochy místnosti 3,7 m² a výšky místnost 2,59 m $V_i = 3,7 \cdot 2,59 = 9,55$ m³, intenzita větrání $n_i = 0,5$ h⁻¹ a součin hustoty a měrné kapacity vzduch $\rho_a \cdot c_{p,a} = 0,34$ Wh/ m³ · K.

Výpočet tepelné ztráty prostupem stavební části:

Stěnou:

$$\phi_{T,k} = (4,96 \cdot (0,27) \cdot 1,0) \cdot (24 - (-18)) = 57 \text{ W} \quad (7)$$

Oknem:

$$\phi_{T,k} = (0,99 \cdot (1,5) \cdot 1,0) \cdot (24 - (-18)) = 63 \text{ W} \quad (8)$$

Suma prostupu tepla stěnou a oknem:

$$\phi_{T,i} = \sum_k \phi_{T,k} = 57 + 63 = 120 \text{ W} \quad (9)$$

Větráním:

$$\phi_{V,i} = 9,55 \cdot 0,5 \cdot 0,34 \cdot (24 - (-18)) = 68 \text{ W} \quad (10)$$

Celkem:

$$\phi_{HL,i} = 120 + 68 = 188 \text{ W} \quad (11)$$

2.4.4 Celková tepelná ztráta budovy

Součtem tepelné ztráty prostupem tepla vytápěného prostoru a ztrátou větráním získáváme celkovou ztrátu budovy 68 891 kWh. Daná hodnota byla vypočtena výše uvedenou metodou a pro svůj rozsah není součástí této bakalářské práce.

2.5 Potřeba energie domu

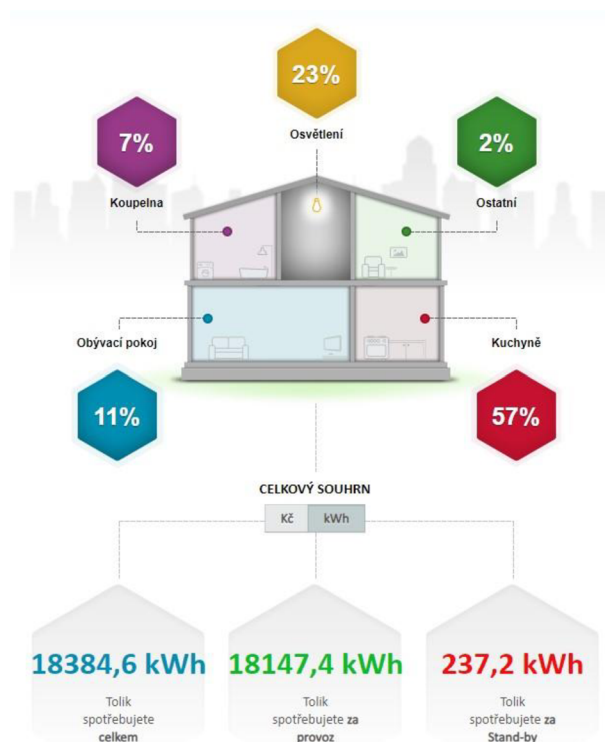
Celková potřeba energie domu se skládá z elektrické energie na ohřev TUV, provoz elektrických spotřebičů a vytápění. Výsledné hodnoty jsou v Tab. 5.

Potřeba elektrické energie byla rozdělena do dvou kategorií. První kategorie zahrnuje potřebu elektrické energie pro provoz elektrického kotle na ohřev TUV mimo topnou sezónu. Potřeba byla vypočtena ze znalosti výkonu elektrického kotle (12 kW) s účinností 99,5 %, doby, kdy bude elektro kotel spuštěn (94 dní), potřeby ohřát 880 l/den z teploty 10 °C na 55 °C (což odpovídá 4 h (17 % dne) [12]).

Spotřeba vody 880 l/den je určena na základě normy ČSN EN 15 316-3, která uvádí spotřebu 40 l/osoba/den [13]. Pro náš případ je uvažováno s 22 osobami.

$$\frac{\text{výkon kotle} \cdot \text{doby kdy je kotel spuštěn} \cdot 24\text{h} \cdot \text{kolik procent dne pojede}}{\text{účinnost}} \quad (12)$$
$$\frac{12 \cdot 94 \cdot 24 \cdot 0,17}{0,995} = 4\,625 \text{ kWh}$$

Druhá kategorie zahrnuje ostatní elektrické spotřebiče (jako je zařízení v kuchyních, koupelnách a dalších místnostech), jejichž potřeba energie byla vypočtena pomocí online kalkulačky a výsledky znázorněny v Obr. 5 [14].



Obr. 5 Rozložení potřeby elektrické energie v domácnosti [14]

Potřeba energie na vytápění zahrnuje i potřebu na ohřev TUV (mimo topnou sezónu). Ze znalosti celkových tepelných ztrát budovy (68 891 kWh) byl navržen kotel na tuhá paliva (o výkonu 25 kW).

Palivo (dřevo) pro provoz kotle Atmos bude zajištěno z vlastních místních zdrojů.

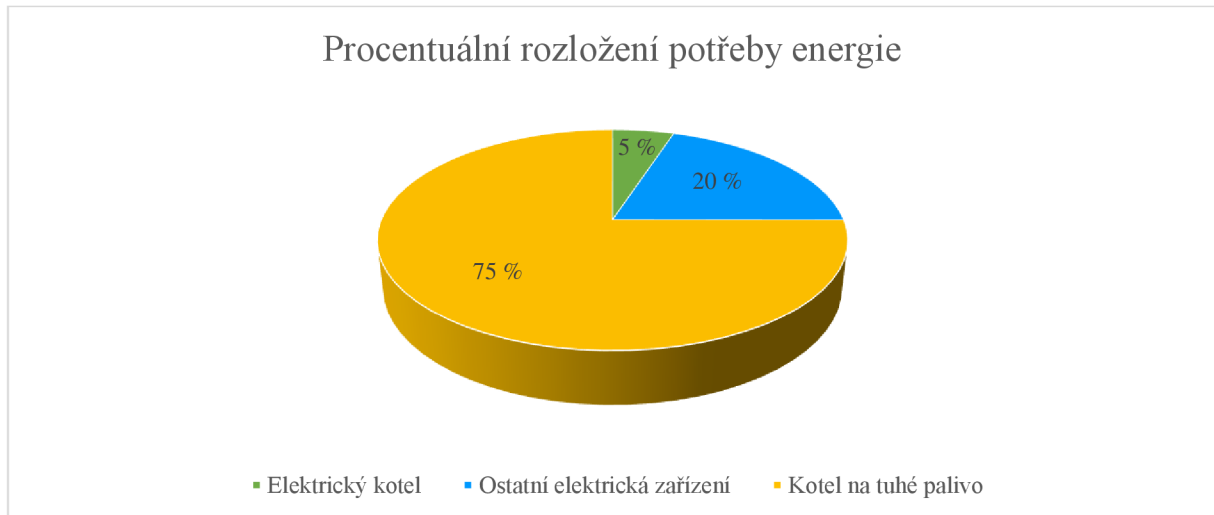
Tab. 5 Roční potřeba energie domu

Roční rozložení potřeby energie domu		
Potřeba	[kWh]	[%]
Elektrický kotel na ohřev TUV	4 625	5
Ostatní elektrická zařízení	18 385	20
Kotel na tuhá paliva	68 891	75
Celková potřeba energie	91 901	100

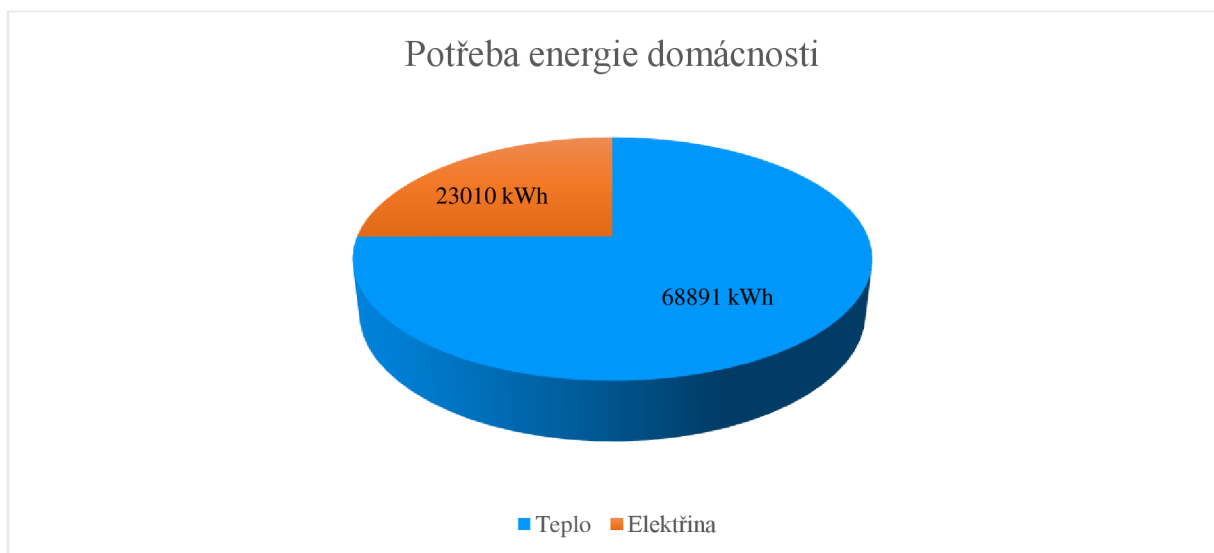
2.5.1 Roční rozložení potřeby energie

Hodnoty z kapitoly 2.5 jsou v této kapitole dále rozebrány a rozkresleny viz Obr. 6 a Obr. 7.

Pro lepší zobrazení hodnot potřeb energie jsou dále hodnoty vyneseny do grafů a tabulek.



Obr. 6 Procentuální rozložení potřeby energie



Obr. 7 Potřeba energie domácnosti

V Tab. 6 je uvedena potřeba elektrické energie (příprava TUV a ostatní elektrické spotřebiče) v daném měsíci, která je zobrazena na Obr. 8.

Rozložení bylo provedeno na základě podkladů obdržených od Ing. Jakuba Lindy.

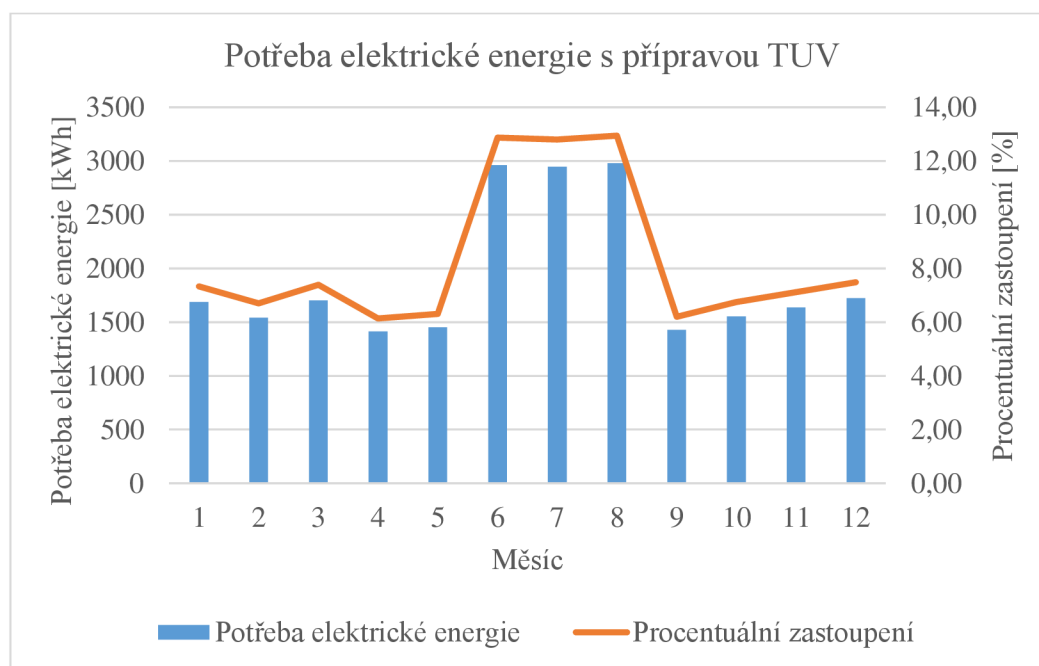
Tab. 6 Potřeba elektrické energie a přípravou TUV během měsíců

Potřeba elektrické energie s přípravou TUV													
Měsíc	[-]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Potřeba	[kWh]	1 686	1 540	1 700	1 412	1 450	2 962	2 946	2 978	1 426	1 552	1 636	1 722
Potřeba	[%]	7,33	6,69	7,39	6,14	6,30	12,87	12,80	12,94	6,20	6,74	7,11	7,48

Tab. 7 Potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV během měsíců

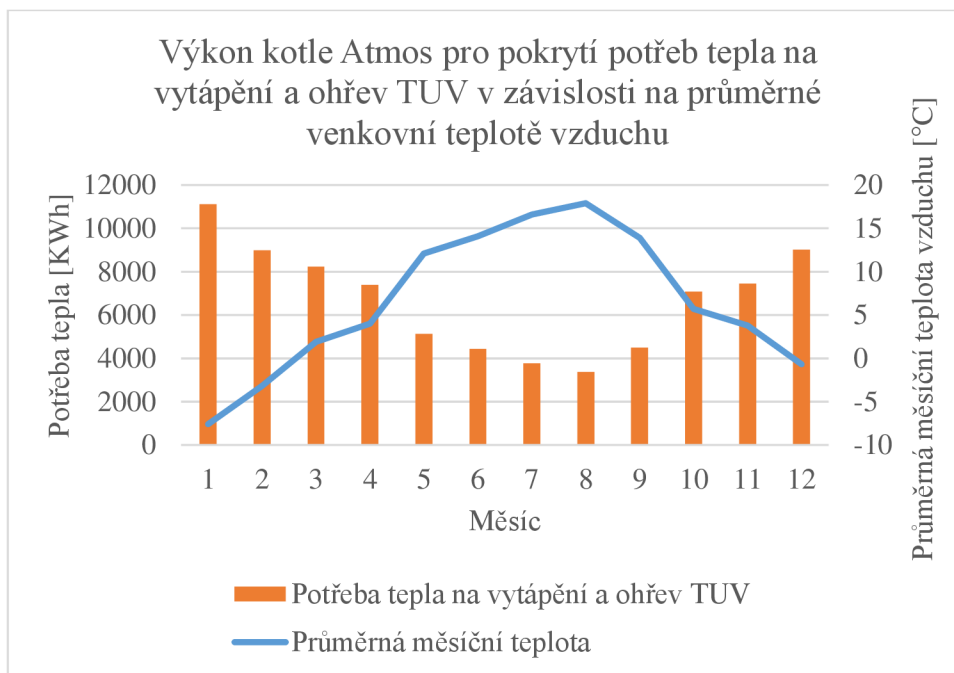
Potřeba tepla na vytápění s přípravou TUV													
Měsíc	[-]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Potřeba	[kWh]	11 109	8 978	8 229	7 397	5 136	4 433	3 772	3 378	4 492	7 077	7 456	9 017
Potřeba	[%]	13,80	11,16	10,23	9,19	6,38	5,51	4,69	4,20	5,58	8,79	9,26	11,21

Nároky na teplo v jednotlivých měsících v závislosti na průměrné měsíční teplotě můžeme vyčíst z Tab. 7. Celková potřeba tepla na vytápění a přípravu TUV činí 80 473 kWh. Je uvažován provoz elektrokotle během měsíců června, července a srpna na přípravu TUV a průběh je znázorněn na Obr. 9.



Obr. 8 Nároky na elektrinu se spuštěným elektrokotlem během měsíců

Navýšení spotřeby elektrické energie, které je patrné z Obr. 8, během měsíců červen až srpen je způsobeno provozem elektrokotle v těchto měsících.



Obr. 9 Výkon kotle Atmos pro pokrytí potřeb tepla na vytápění a ohřev TUV v závislosti na průměrné venkovní teplotě vzduchu

2.6 Shrnutí energetické náročnosti budovy

Pro vypočtenou návrhovou teplotu venkovního vzduchu v zimním období (-18 °C) a potřeby ohřevu TUV byl navrhnut kotel Atmos o výkonu 25 kW.

Pro uvedené průměrné měsíční teploty venkovního vzduchu byla vypočtena celková tepelná ztráta budovy (68 891 kWh).

Pro přípravu TUV během doby, kdy nebude v provozu kotel na tuhá paliva byl projektantem zvolen elektrický kotel o výkonu 12 kW.

3 Zjednodušený návrh obnovitelných zdrojů energie

Obnovitelné zdroje energie jsou takové, které při jejich čerpání neubývají, tudíž jsou v principu nevyčerpatelné. Jsou základem pro energetiku bez fosilních paliv. Hnacím motorem jsou přírodní síly jako je slunce, voda nebo vítr ale jedná se i o dřeviny a rostliny, které snadno a rychle rostou [15] [16].

Na podporu snižování energetické závislosti budov zavedla Česká republika program *Nová zelená úsporám*. Cílem tohoto programu je snížit produkci znečišťujících látek a skleníkových plynů vypouštěných do okolí a tím zlepšit životní prostředí.

Program podporuje mnoho oblastí přes renovace (zateplení), fotovoltaické/fototermické systémy, výměnu neekologických kotlů a mnoho dalších [17] [18].

3.1 Fotovoltaický systém

Fotovoltaický systém funguje na principu přeměny slunečního záření na elektřinu pomocí fotovoltaického jevu [19].

Fotovoltaický jev vzniká při dopadu fotonu dostatečnou silou na povrch polovodiče. Srážka zapříčiní uvolnění záporně nabytého elektronu a na jeho místě se vytvoří kladná díra. Jak elektrony, tak díry se mohou polovodičem pohybovat. Elektrony se přemístí do vrchní části polovodiče, díky čemuž vzniká napětí. Po zapojení polovodiče do obvodu vzniká proud [16] [19].

Fotovoltaické systémy se montují na střechy nebo mohou stát samostatně. Existuje několik typů panelů. Mezi hlavní typy panelů patří monokrystalický, polykrystalický a amorfni. Každý panel má svá specifika, která je nutné zvážit [20]. Posuzování vhodnosti jednotlivých typů panelů se v této bakalářské práci dále nerozebírá.

3.1.1 Výhody a nevýhody fotovoltaického systému

Výhody a nevýhody jsou sepsány v Tab. 8. Pod tabulkou je více rozveden vliv znečištění na panely a význam zapojení baterií.

Tab. 8 Výhody a nevýhody fotovoltaického systému

Výhody	Nevýhody
Životnost panelů, které jsou běžně dostupné na dnešním trhu je okolo 20-25 let [21].	Střídače elektrického proudu mají životnost jen maximálně 15 let [21].
Průměrný 4 kW systém může ušetřit přibližně 1,5 tun emisí CO ₂ ročně [22].	Pro získání dotace je nutné, aby instalaci provedla kvalifikovaná firma s potřebnou certifikací [21]. Někteří jedinci s lepším sluchem mohou slyšet pískání střídačů elektrického proudu [23].
Multifunkčnost vyrobené elektrické energie.	Zapojení baterií do systému neznamená, že bude objekt energeticky nezávislý. Baterie nejsou určeny pro dlouhodobé uskladnění energie, ale pouze pro vykrytí výkyvů spotřeby během dne. Fotovoltaický systém se velmi špatně hasí [23].
Nízká poruchovost panelů [25].	V prašné oblasti je nutné panely umývat alespoň 1 – 2x ročně [24].

Při znečištění povrchu aktivní plochy panelu se sníží jeho výkon o 5–10 %, v některých případech i o 15 %. Znečištění nemusí být pouze v podobě prachových částic, pylu nebo sazí, může se jednat i o znečištění od hmyzu nebo ptačího trusu. Typ znečištění rovněž závisí na dané lokalitě. V oblastech, kde je více sněhu, je potřeba odstraňovat i sníh z modulů.

Pro čištění se dají využít i nanotechnologie na bázi impregnace skleněných ploch, díky nimž déšť smyje nečistoty lépe z povrchu [24].

Snížení napětí jednoho panelu (znečištěním případně zastíněním) v sériově zapojeném systému znamená snížení celkového výkonu.

3.1.2 Připojení fotovoltaického systému do distribuční soustavy

Pro připojení systému s instalovaným výkonem do 10 kWp pro vlastní použití (bez nutnosti licence od Energetického regulačního úřadu), musí být splněny určité předpoklady. V případě zájmu podnikat s elektrickou energií je nutná licence i za předpokladu instalovaného výkonu do 10 kWp [26]. Existují dva základní typy připojení a to: standardní režim (přebytky elektrické energie jsou vráceny do sítě) nebo zjednodušený režim (neumožňuje prodej přebytků do sítě).

Při standardním režimu zapojení je zapotřebí uzavření smlouvy o připojení s provozovatelem distribuční soustavy a někdy ještě studie připojitelnosti. Provozovatel distribuční soustavy, má ale také možnost požadovat podíl na nákladech spojených s připojením [27].

V případě zjednodušeného zapojení je nutné zabránit technickým přetokům do sítě jinak hrozí pokuta při překročení distributorem stanovené hranice.

Technické požadavky na připojení

Každá distribuční společnost má své vlastní požadavky, které se liší i v rámci krajů.

Rodinné domy bez výroby elektřiny musí splňovat tzv. *podmínky připojení k nízkému napětí*. Budovy s výrobou elektrické energie, již musí splňovat přísnější podmínky pro připojení tzv. *výrobní elektřiny* [28] [29].

3.1.3 Situování stavby vzhledem ke slunci

Rodinný dům je situován v údolí na východní straně hory Rudná viz Obr. 2. Polovina střechy je otočena na jiho-východ se sklonem 45 ° a 12 °, střecha je ve tvaru L s dvěma rozdílnými úhly sklonu.

Celková plocha střechy (aktivní část – přivrácená k slunci) je 76,97 m² a 51,38 m² dohromady tedy 128,35 m². Uvažovaná část střechy má dva azimuty, první část se sklonem 45 ° má azimut 70 °, druhá část s kombinovaným sklonem 12 ° a 45 ° má azimut 160 ° [30]. Odvrácenou plochu od slunce dále do výpočtu neuvažujeme. Podle stránky *Photovoltaic geographical information system (PVGIS)* (stránka Evropské komise) je pro azimut + 70 ° optimální naklonění panelu 1 °, pro 160 ° je to 35 ° [31].

Vzhledem k navrhovaným sklonům panelů a úhlu střechy bude zapotřebí použít pro uchycení jednotlivých panelů rám.

3.1.4 Výroba a akumulace elektrické energie vytvořené fotovoltaickým systémem

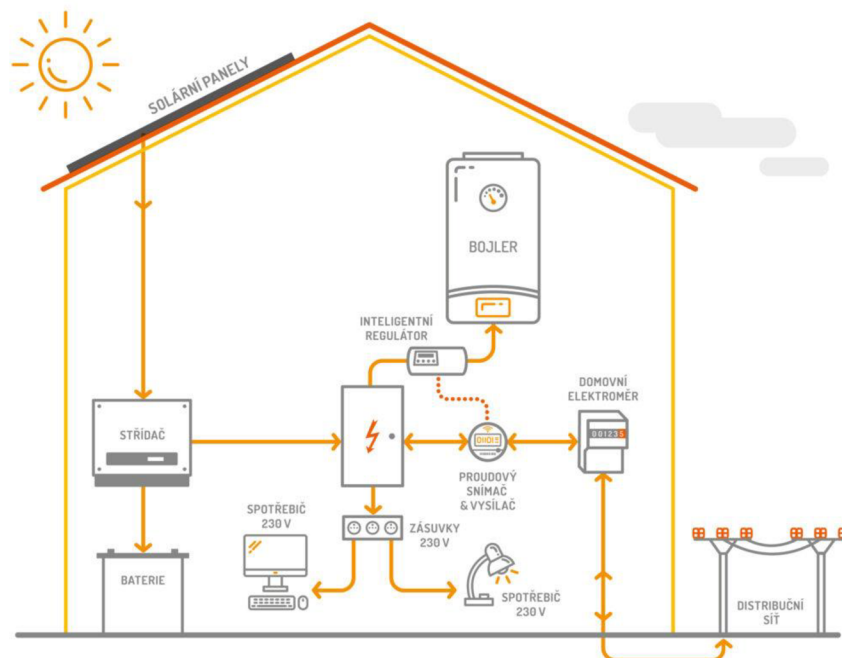
Dle kapitoly 2.4.4 potřebujeme pro ohřev TUV vyrobit 4 625 kWh a na ostatní potřebu elektrických spotřebičů 18 385 kWh, tj. celkem 23 010 kWh ročně FV systémem.

V měsících červen, červenec a srpen je nevyšší potřeba elektrické energie.

Například v srpnu (viz Tab. 6) je na výrobu elektrické energie, kterou potřebujeme na provoz všech elektrických zařízení včetně elektrokotle, nutné vygenerovat 96,06 kWh/den

$$\left(\frac{2978 \text{ kWh}}{31 \text{ dní}} \right) = 96,06 \text{ kWh/den}.$$

Energii vygenerovanou nad aktuální potřebu je možné uložit v přídavných bateriích pro další využití během dne. Schéma zapojení FV systému je na Obr. 10. Baterie by byly další investicí, a proto se jeví jako lepší přebytek elektrické energie ukládat v podobě teplé vody do již instalovaných akumulčních nádrží nebo mít systém bez přebytků.



Obr. 10 Schéma zapojení fotovoltaických panelů s baterií [32]

3.1.5 Výpočet plochy a účinnosti panelů během roku

Vzhledem k podmínce připojení k distribuční soustavě bez licence pro instalovaný výkon 10 kW_p, orientaci a plochy střechy bylo rozhodnuto o instalování 10 kW_p FV systému.

Pro výkon 10 kW_p bude zapotřebí celkem 20 panelů (kanadský výrobce HiKu) o výkonu 500 W (500 W · 20 panelů = 10 kW_p).

Každý jednotlivý panel má plochu 2,358 m² (2 250 mm · 1 048 mm = 2 358 000 mm² = 2,358 m²) celková plocha FV systému je tedy 47,16 m² (2,358 m² · 20 panelů = 47,16 m²).

Pro výpočet skutečného výkonu musíme znát účinnost panelů během roku, která je závislá na okolní teplotě. Potřebujeme znát hodnoty od výrobce (Tab. 9) a střední hodnotu slunečního záření (Tab. 10)

Tab. 9 Hodnoty panelu z technického listu výrobce [33]

Fotovoltaický panel	η_{ref}	γ	NOCT	$\Delta\eta_G$	Rozměry panelu
HiKu5 Mono 500MS	21,20 %	-0,350 %/K	42 °C	-4 % [34]	2250 x 1048 x 35 mm

Tab. 10 Střední hodnota slunečního ozáření [35]

Úhel sklonu plochy β	Střední hodnota slunečního ozáření G_m [W/m ²] pro charakteristickou oblast hory ($Z = 2$)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 30^\circ$												
30°	484	546	604	630	620	596	601	607	599	558	497	457
45°	573	616	638	628	590	554	565	593	618	614	579	550

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1.3, zajímá nás azimutový úhel oslunění plochy (natočení střechy vůči slunci je 160° viz kapitola 3.1.3) $\gamma = \pm 30^\circ$ a náš úhel sklonu osluněné plochy je 35° . Pro hodnoty použité v Tab. 11 byla použita interpolace mezi 30° a 45° z Tab. 10. Hodnota $Z = 2$ byla zvolena vzhledem k místu stavby, která se nachází na konci údolí v čistém prostředí bez dopravy a s nízkým počtem okolních staveb.

Příklad interpolace:

$$Y = Y_1 + \left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \right) \cdot (X - X_1) \quad (13)$$

$$Y = 484 + \left(\frac{573 - 484}{45 - 30} \right) \cdot (35 - 30) = 514$$

Kde: Y je naše neznámá
 Y_1 známá hodnota pro 30°
 Y_2 známá hodnota pro 45°
 X hodnota pro kterou chceme znát hodnotu interpolace (pro nás 35°)
 X_1 neměnná hodnota 30°
 X_2 neměnná hodnota 45°

Výpočet pro měsíc leden:

$$k = \frac{\Delta\eta_G}{\ln\left(\frac{G_m}{G_{ref}}\right)} \quad (14)$$

$$k = \frac{-0,04}{\ln\left(\frac{514}{1000}\right)} = 0,0600 \%$$

$$\eta_{FV} = \eta_{ref} \cdot \left(1 + \frac{\gamma}{100} \cdot \left(\frac{G_m}{800} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{ref}}{100 \cdot 0,95} \right) \cdot (NOCT - 20) + t_{e,s} - 25 \right) \right) \cdot \left(1 + k \cdot \ln\left(\frac{G_m}{1000}\right) \right) \quad (15)$$

$$\eta_{FV} = 21,20 \cdot \left(1 + \frac{-0,350}{100} \cdot \left(\frac{514}{800} \cdot \left(1 - \frac{21,20}{100 \cdot 0,95} \right) \cdot (42 - 20) + (-4,6) - 25 \right) \right) \cdot \left(1 + 0,0249 \cdot \ln\left(\frac{514}{1000}\right) \right) = 21,68 \%$$

Kde: η_{ref} účinnost při referenčních normových podmínkách
 γ teplotní součinitel výkonu v %/K
 G_{ref} referenční ozáření článku 1 000 W/m²
 G_m střední hodnota slunečního ozáření W/m² viz. Tab. 10
NOCT nominální operační teplota článku °C
 $t_{e,s}$ střední teplota v době slunečního svitu °C
(průměrná měsíční teplota +3 °C) [35]
 $\Delta\eta G$ relativní snížení účinnosti
 k korekční faktor
 η_{FV} elektrická účinnost fotovoltaického panelu

Tab. 11 Účinnost fotovoltaického panelu během měsíců

Měsíc	η_{ref}	γ	G_m	NOCT	$t_{e,s}$	$\Delta\eta G$	k	η_{FV}
[-]	[%]	[%/K]	[kW]	[°C]	[°C]	[%]	[%]	[%]
1	21,20	-0,35	514	42	-4,6	4	0,060	21,68
2	21,20	-0,35	569	42	-0,2	4	0,071	21,28
3	21,20	-0,35	615	42	4,9	4	0,082	20,85
4	21,20	-0,35	629	42	7,0	4	0,086	20,68
5	21,20	-0,35	610	42	15,1	4	0,081	20,13
6	21,20	-0,35	582	42	17,1	4	0,074	20,03
7	21,20	-0,35	589	42	19,6	4	0,076	19,84
8	21,20	-0,35	602	42	20,9	4	0,079	19,73
9	21,20	-0,35	605	42	16,9	4	0,080	20,01
10	21,20	-0,35	577	42	8,7	4	0,073	20,64
11	21,20	-0,35	524	42	6,8	4	0,062	20,85
12	21,20	-0,35	488	42	2,3	4	0,056	21,23

Do Tab. 11 vstupují hodnoty příslušného panelu uvedené v Tab. 9, průměrná měsíční denní teplota vzduchu a interpolované hodnoty G_m z Tab. 10 .

3.1.6 Dopadající sluneční energie

Dopadající sluneční energie je zásadní informace pro návrh jakéhokoliv zařízení využívajícího energii ze slunce. Udává kolik dopadne energie ze slunce na m². Z dopadající energie se poté vypočte celkový výkon instalovaného systému.

Tab. 12 Poměrná doba slunečního svitu [35]

Místo	Poměrná doba slunečního svitu $\bar{\tau}$											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hradec K.	0,18	0,27	0,40	0,44	0,50	0,51	0,52	0,54	0,52	0,37	0,19	0,17
Brno	0,18	0,31	0,38	0,39	0,48	0,53	0,56	0,53	0,50	0,37	0,23	0,12

Tab. 13 Teoretická denní dávka celkového slunečního ozáření [35]

Úhel sklonu plochy β	Teoretická denní dávka celkového slunečního ozáření $Q_{S,den,teor}$ [kWh/(m ² ·den)] pro charakteristickou oblast hory ($Z = 2$)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 30^\circ$												
30°	4,07	5,34	7,08	8,56	9,45	9,58	9,4	8,64	7,43	5,86	4,4	3,63
45°	4,82	6,03	7,49	8,53	8,99	8,91	8,84	8,44	7,67	6,44	5,13	4,37

Tab. 14 Teoretická denní dávka difuzního slunečního ozáření [35]

Úhel sklonu plochy β	Teoretická denní dávka difuzního slunečního ozáření $Q_{S,den,dif}$ [kWh/(m ² ·den)]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Charakteristická oblast hory ($Z = 2$)												
30°	0,3	0,42	0,63	0,82	0,98	1,16	1,12	1	0,77	0,52	0,35	0,27
45°	0,31	0,44	0,66	0,87	1,06	1,22	1,18	1,04	0,8	0,54	0,36	0,27

Příklad výpočtu dopadající energie na FV panel pro měsíc leden:

$$Q_{S,den} = \bar{\tau} \cdot Q_{S,den,teor} + (1 - \bar{\tau}) \cdot Q_{S,den,dif} \quad (16)$$

$$Q_{S,den} = 0,18 \cdot 4,32 + (1 - 0,18) \cdot 0,30 = 1,03 \text{ kWh/m}^2$$

$$Q_{S,měsíc} = Q_{S,den} \cdot (\text{počet dní}) \quad (17)$$

$$Q_{S,měsíc} = 1,03 \cdot 31 = 31,8 \text{ kWh/m}^2$$

Kde:	$\bar{\tau}$	poměrná doba slunečního svitu	[-]
	$Q_{S,den,teor}$	teoreticky možná energie dopadající za den	[kWh/m ²]
	$Q_{S,den,dif}$	energie difuzního záření dopadajícího za den	[kWh/m ²]
	$Q_{S,den}$	průměrná energie dopadající za den	[kWh/m ²]
	$Q_{S,měsíc}$	průměrná energie dopadající za měsíc	[kWh/m ²]

Do Tab. 15 byly použity postupně hodnoty z Tab. 12, Tab. 13 a Tab. 14. Uvedené hodnoty v Tab. 13 a Tab. 14 byly interpolovány jako v kapitole 3.1.5. Hodnota $\bar{\tau}$ byla použita pro lokalitu Hradec Králové, která se nejvíce blíží naší lokalitě.

Tab. 15 Dopadající sluneční energie v dané lokalitě

Měsíc	$\bar{\tau}$	$Q_{S,den,teor}$	$Q_{S,den,dif}$	počet dní	$Q_{S,den}$	$Q_{S,měsíc}$
[-]	[-]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[-]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
1	0,18	4,32	0,30	31	1,03	31,82
2	0,27	5,57	0,43	28	1,82	50,83
3	0,4	7,22	0,64	31	3,27	101,39
4	0,44	8,55	0,84	30	4,23	126,92
5	0,5	9,30	1,01	31	5,15	159,70
6	0,51	9,36	1,18	30	5,35	160,50
7	0,52	9,21	1,14	31	5,34	165,48
8	0,54	8,57	1,01	31	5,10	157,97
9	0,52	7,51	0,78	30	4,28	128,39
10	0,37	6,05	0,53	31	2,57	79,72
11	0,19	4,64	0,35	30	1,17	35,05
12	0,17	3,88	0,27	31	0,88	27,38

Z Tab. 15 známe dopadající sluneční energii na m² v jednotlivých měsících v dané lokalitě. Známe plochu FV systému z kapitoly 3.1.5 a účinnost z Tab. 11. Z těchto hodnot určíme měsíční výkon celého FV systému viz. Obr. 11.

Příklad výpočtu výkonu FV systému v měsíci lednu:

$$E_{FV,sys} = 0,9 \cdot \frac{\eta_{FV}}{100} \cdot Q_{S,měsíce} \cdot A_{FV} \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right) \quad (18)$$

$$E_{FV,sys} = 0,9 \cdot \frac{22,21}{100} \cdot 31,82 \cdot 47,16 \cdot \left(1 - \frac{0,14}{100}\right) = 299,63 \text{ kWh}$$

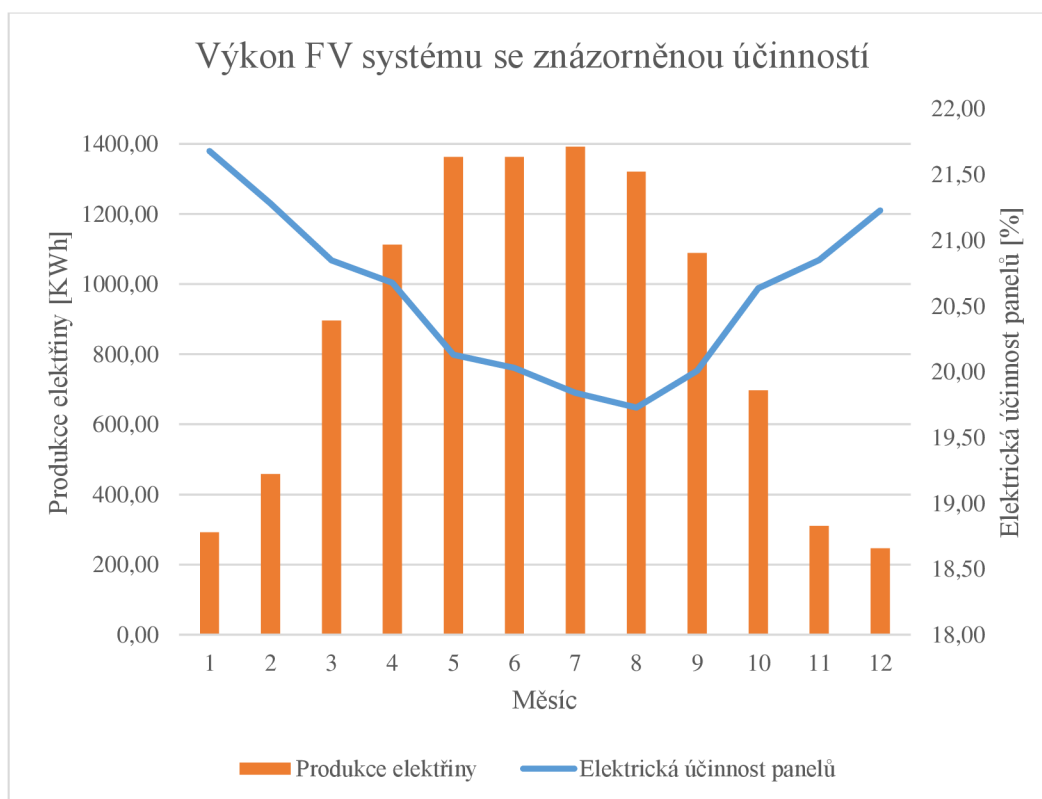
Kde: 0,9 vyjadřuje, že slunce nedopadne pod pravým úhlem
 η_{FV} je vypočtená hodnota z kapitoly 3.1.5 [%]
 A_{FV} plocha panelů [m²]

p ztráty v obvodu (cca 14 %)
 $E_{FV,sys}$ výkon fotovoltaického systému [kWh]

V Tab. 16 je uveden měsíční výkon FV systému za pomoci rovnice 18.

Tab. 16 Výkon FV systému během měsíců

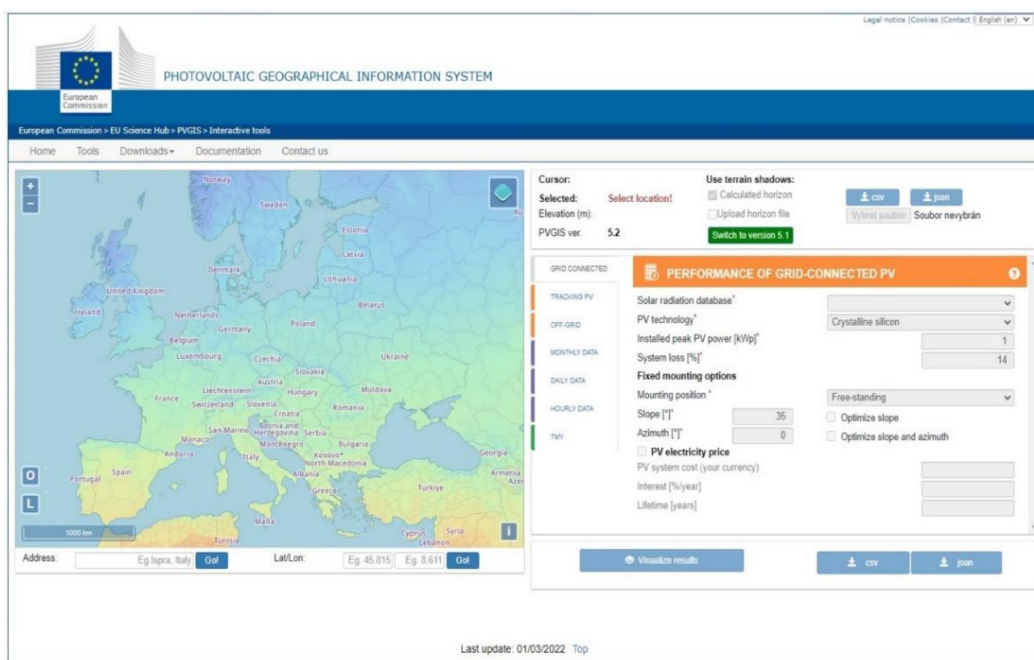
Měsíc	η_{FV}	$Q_{S,měsíc}$	A_{FV}	$E_{FV,sys}$
[-]	[%]	[kWh/m ²]	[m ²]	[kWh]
1	21,68	31,82	47,16	292,34
2	21,28	50,83	47,16	458,47
3	20,85	101,39	47,16	895,90
4	20,68	126,92	47,16	1112,25
5	20,13	159,70	47,16	1362,51
6	20,03	160,50	47,16	1362,55
7	19,84	165,48	47,16	1391,58
8	19,73	157,97	47,16	1320,83
9	20,01	128,39	47,16	1088,76
10	20,64	79,72	47,16	697,23
11	20,85	35,05	47,16	309,78
12	21,23	27,38	47,16	246,30



Obr. 11 Výkon FV systému se znázorněnou účinností

3.1.7 Porovnání vypočtených hodnot z kapitoly 3.1.6 s evropským simulačním programem PVGIS pro výpočet FV soustavy

Pro ověření výpočtu byl použit evropský program PVGIS, jehož prostředí je vidět na Obr. 12. Po zadání zvolené lokality program vypočítal hodnoty, které jsou uvedeny v Tab. 17. Dále v této bakalářské práci budou uvažovány hodnoty z tohoto simulačního programu, protože jsou přesnější, a je zde lépe zhodnocena daná lokalita. Odchylka vypočtených výsledků od výsledků simulačního systému není tak rozdílná (viz. Tab. 18), což dokazuje správnost parametrů pro výpočet.



Obr. 12 Prostředí programu PVGIS [31]

Tab. 17 Hodnoty z programu PVGIS [31]

Měsíc	Průměrná měsíční produkce elektřiny FV systémem	Průměrná měsíční suma záření na m ²	Standartní odchylka od průměrné měsíční produkce
[-]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]
1	259,4	30,5	68,0
2	426,8	49,5	108,6
3	814,9	96,7	164,8
4	1 183,6	144,8	211,9
5	1 210,9	151,0	211,8
6	1 227,1	156,5	120,8
7	1 279,9	165,6	135,9
8	1 193,9	153,4	137,1
9	928,5	115,6	144,7
10	580,8	71,0	140,9
11	270,3	33,1	76,8
12	209,8	25,2	48,8

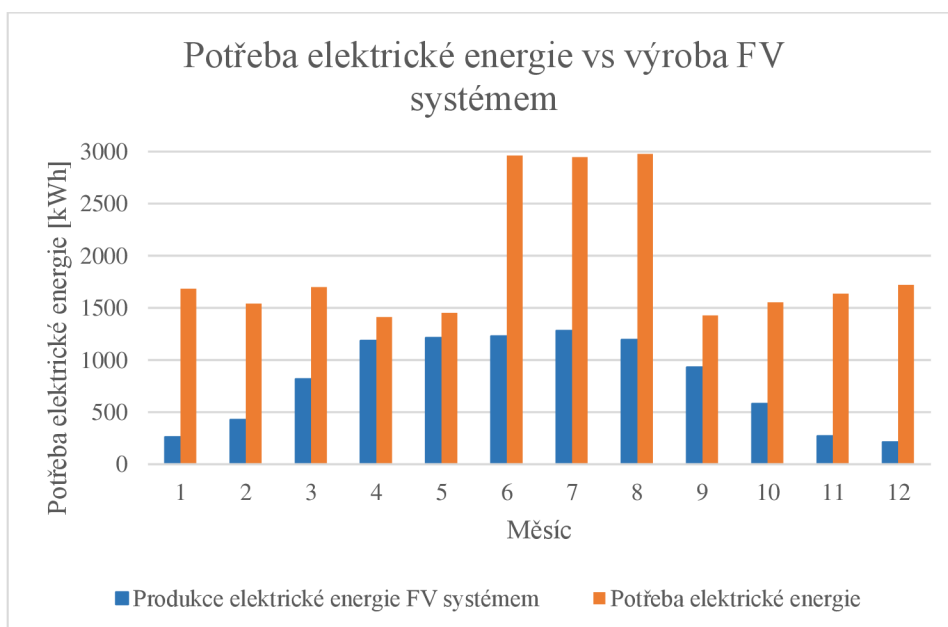
Průměrná roční produkce elektřiny FV systémem tedy činí 9 585,9 kWh.

Tab. 18 Porovnání mezi vypočtenými a programem PVGIS vygenerovanými hodnotami

Měsíc	Vypočtené hodnoty	PVGIS	Rozdíl
[-]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
1	292,3	259,4	32,9
2	458,5	426,8	31,7
3	895,9	814,9	81,0
4	1 112,2	1 183,6	-71,4
5	1 362,5	1 210,9	151,6
6	1 362,5	1 227,1	135,4
7	1 391,6	1 279,9	111,7
8	1 320,8	1 193,9	126,9
9	1 088,8	928,5	160,3
10	697,2	580,8	116,4
11	309,8	270,3	39,5
12	246,3	209,8	36,5

3.1.8 Porovnání celkových nároků na elektrickou energii s hodnotami výkonu FV systému dle programu PVGIS

Nyní můžeme porovnat výsledky FV systému s potřebami budovy v jednotlivých měsících a zjistit procentuální pokrytí potřeb viz Obr. 13 a Tab. 19.



Obr. 13 Potřeba elektrické energie vs výroba FV systémem

Tab. 19 Porovnání celkových nároků na elektrickou energii s výrobou FV systémem

Porovnání celkových nároků na elektřinu s výrobou FV systémem													
Měsíc	[-]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Potřeba elektrické energie	[kWh]	1 686	1 540	1 700	1 412	1 450	2 962	2 946	2 978	1 426	1 552	1 636	1 722
Výroba FV systémem	[kWh]	259,4	426,8	814,9	1 183,6	1 210,9	1 227,1	1 279,9	1 193,9	928,5	580,8	270,3	209,8
Procentuální pokrytí potřeby	[%]	15	28	48	84	84	41	43	40	65	37	17	12

Pro pokrytí 100 % potřeby elektrické energie alespoň v jednom měsíci, by bylo zapotřebí přidat další FV panel, čímž bychom překročili hranici 10 kWp, která je ještě bez licence.

Potřebný výkon pro ohřev TUV činí během měsíců červen, červenec a srpen celkem 4625 kWh. Během měsíce června je to například 1 540 kWh. Produkce FV systémem v tomto měsíci generuje 1 227,1 kWh z čehož plyne, že výroba FV systémem pokryje potřeby pro přípravu TUV v tomto měsíci z 80 % ($\frac{1\,227,1}{1\,540} = 0,7968 \approx 80\%$ pokrytí).

3.1.9 Shrnutí FV systému

Jako první z obnovitelných zdrojů byl zvolen návrh FV systému. Jako každý systém, i tento má své výhody a nevýhody. V našem případě je největší nevýhodou lokalita stavby (údolí, vzrostlé stromy, ...), která neumožňuje plné využití tohoto systému. Další nevýhodou je omezení na 10 kWp pro provoz bez licence (překročení této hranice s sebou nese další administrativní komplikace), díky čemuž výkon systému není schopen pokrýt ani jeden měsíc 100 % potřeby elektrické energie.

Uvažované použití během měsíců červen, červenec a srpen na výrobu TUV je nedostačující. Systém pokryje pouze 80 % potřeby elektrické energie na ohřev TUV.

3.2 Systém s větrnou turbínou

Větrná turbína využívá sílu vzduchu, která mění působící sílu na listy rotoru v rotační mechanickou energii. Tato energie se v generátoru mění na energii elektrickou [36].

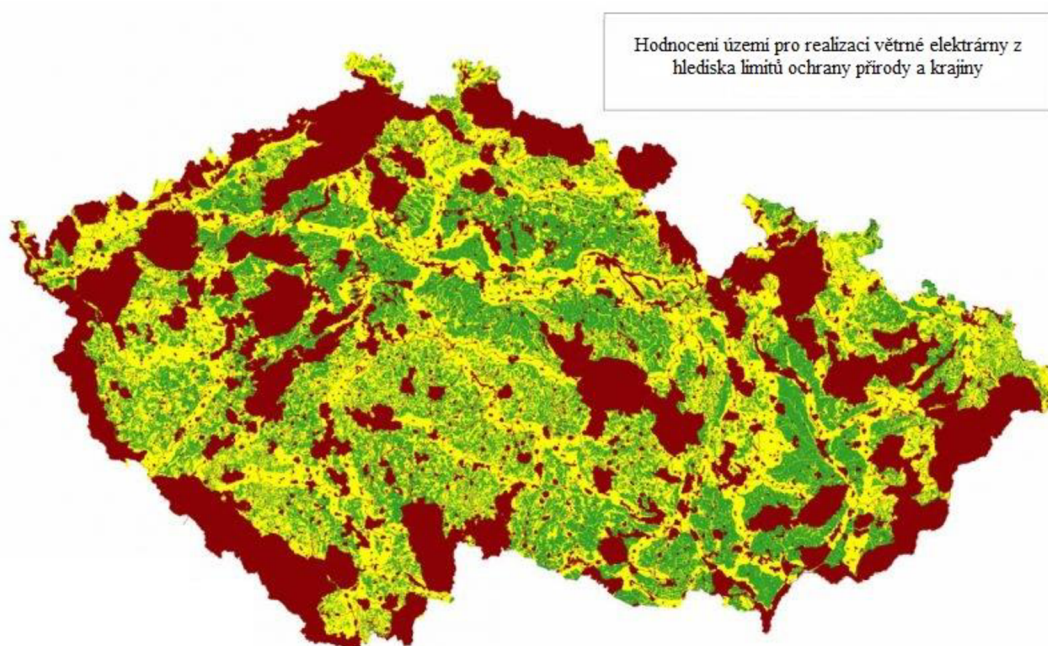
Nejlepší místo pro použití je takové, kde proudí stálý vítr o dostatečné rychlosti.

3.2.1 Výhody a nevýhody větrné turbíny

Výhody a nevýhody systému s větrnou turbínou jsou uvedené v Tab. 20.

Tab. 20 Výhody a nevýhody větrné turbíny

Výhody	Nevýhody
Systém s větrnou turbínou zabírá méně plochy na výrobu 1 kW než FV systém [37].	Malá využitelnost v České republice, kdy hlavní plochu kopců s optimálními podmínkami nelze pro stavbu větrné turbíny použít, protože většinou spadají do chráněného území viz Obr. 14.
Delší životnost a vyžaduje méně údržby.	Jelikož jde o mechanickou přeměnu energie je zde i hluk a vliv na estetiku okolí [38].
Výroba elektrické energie může probíhat i v noci [37].	Na českém trhu je málo dodavatelů [38].



Obr. 14 Mapa vhodnosti instalace větrné turbíny v ČR [39]

Legenda Obr. 14:

Červená	území nevhodné pro výstavbu větrné turbíny
Žlutá	území spíše nevhodné pro výstavbu větrné turbíny
Zelená	území vhodné pro výstavbu větrné turbíny

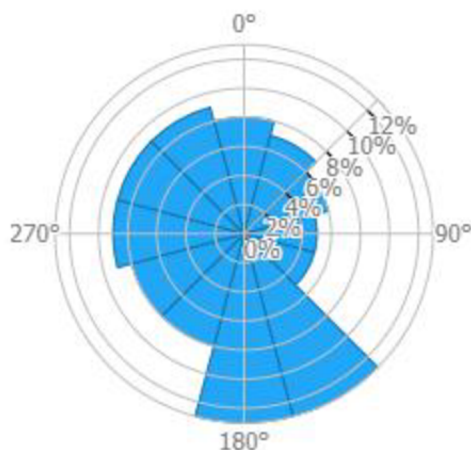
3.2.2 Požadavky na instalaci větrné turbíny

Podle zákona č.183/2006 Sb. §79 není uvedena větrná elektrárna mezi stavbami, které vyžadují rozhodnutí o umístění stavby ani územní souhlas. Povolení stavby ale musí projít alespoň zjednodušeným územním řízením nebo územním souhlasem [40] [41].

3.2.3 Větrné podmínky naší lokality

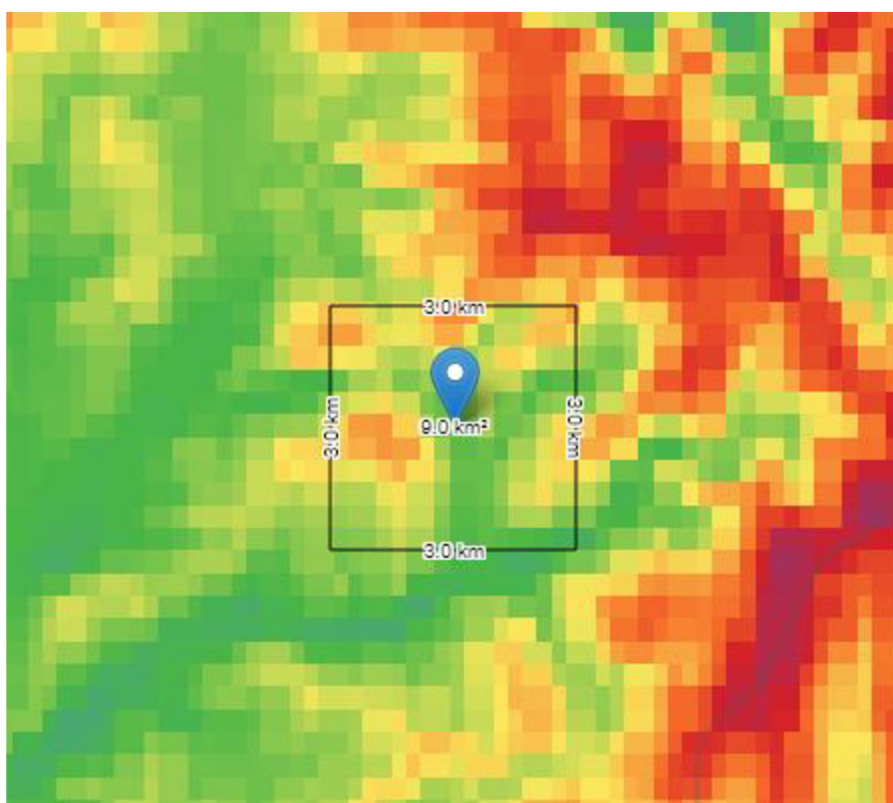
Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.3, stavba se nachází v údolí Hrubého Jeseníku a je obklopena z jedné strany Rudnou horou o výšce 915 m n.m. a ze strany druhé Jestřábím vrchem o výšce 960 m n.m.

Vzhledem k větrným podmínkám lokality by byla větrná turbína umístěna samostatně u domu.



Obr. 15 Větrná růžice [42]

Z Obr. 15 vyplývá že v dané lokalitě převládá směr větru z jihu.



Obr. 16 Rozložení rychlosti větru [42]

Z Obr. 16 můžeme vyčíst, že nejrychlejší proudění větrů je na hřebenech hor.

Průměrná rychlost větru v místě instalace

Z kapitoly 3.2.3 je známa průměrná rychlost větru ve výšce 50 m, ale je potřeba znát rychlost větru v instalační výšce, z tohoto důvodu musí být použita aproximace za pomoci větrného profilu v místě instalace, aby byla potřebná rychlost získána.

Aproximace rychlosti větru do zvolené výšky:

$$\frac{\bar{v}}{v_0} = \left(\frac{h}{h_0}\right)^n \quad (19)$$

$$\bar{v} = \left(\frac{h - 0,75h}{h_0}\right)^n \cdot v_0 \quad (20)$$

Kde:	\bar{v}	naše neznámá rychlost	[m/s]
	v_0	rychlost v 50m	[m/s]
	h	naše výška	[m]
	h_0	výška ve které je rychlost větru v_0	[m]
	n	koefficient upravující proudění větru	[-]
	$(-0,75h)$	zohlednění skutečnosti že rychlostní profil větru není od země, ale od nějaké výšky	[-]

Naši výšku h jsme stanovily na 10 m nad úroveň terénu při výšce hřebene stavby 8,6 m, tedy 1,4 m nad hřeben stavby. Výška 10 m byla zvolena s ohledem na to, že do této výšky nepodléhají větrné elektrárny licenci [43] [44].

Koefficient n byl zvolen na hodnotu 0,28 vzhledem k blízkosti lesa za pomoci Tab. 21.

Tab. 21 Koefficienty upravující proudění větru v určitých podmínkách [45]

Druh povrchu	n [-]
hladký povrch, vodní hladina	0,14
louky	0,16
vysoká tráva	0,18
porosty vysokých plodin, řídké lesy	0,21
husté lesy	0,28
dědina a malá města	0,48

Dosazení do výpočtu (20) pro zjištění rychlosti větru v 10 m.

$$\bar{v} = \left(\frac{10 - 0,75 \cdot 10}{50}\right)^{0,28} \cdot 5,99 = 2,59 \text{ [m/s]} \quad (21)$$

Tab. 22 Přehled rychlostí, četností a směru větru [40]

Směr větru [°]	Relativní četnost				Průměrná rychlost [m/s]
	Vše	0-4 m/s	4-8 m/s	> 8 m/s	
0	6,20 %	4,94 %	1,26 %	0,00 %	2,90
30	9,30 %	6,76 %	2,48 %	0,06 %	3,10
60	12,50 %	9,76 %	2,68 %	0,06 %	2,83
90	13,60 %	11,89 %	1,71 %	0,00 %	2,57
120	8,80 %	8,65 %	0,15 %	0,00 %	2,27
150	15,50 %	13,62 %	1,88 %	0,00 %	2,84
180	8,60 %	7,47 %	1,13 %	0,00 %	2,61
210	4,40 %	4,25 %	0,15 %	0,00 %	1,67
240	6,80 %	6,40 %	0,40 %	0,00 %	1,85
270	6,20 %	5,16 %	1,03 %	0,01 %	2,61
300	4,40 %	3,63 %	0,76 %	0,01 %	2,60
330	3,60 %	3,50 %	0,10 %	0,00 %	2,05
Celkem	100 %	86,03 %	13,72 %	0,15 %	2,59

Z uvedené tabulky Tab. 22 plyne, že vítr není dostatečně silný (minimální spínací rychlost větrných turbín je příliš vysoká) pro pokračování v dalším návrhu.

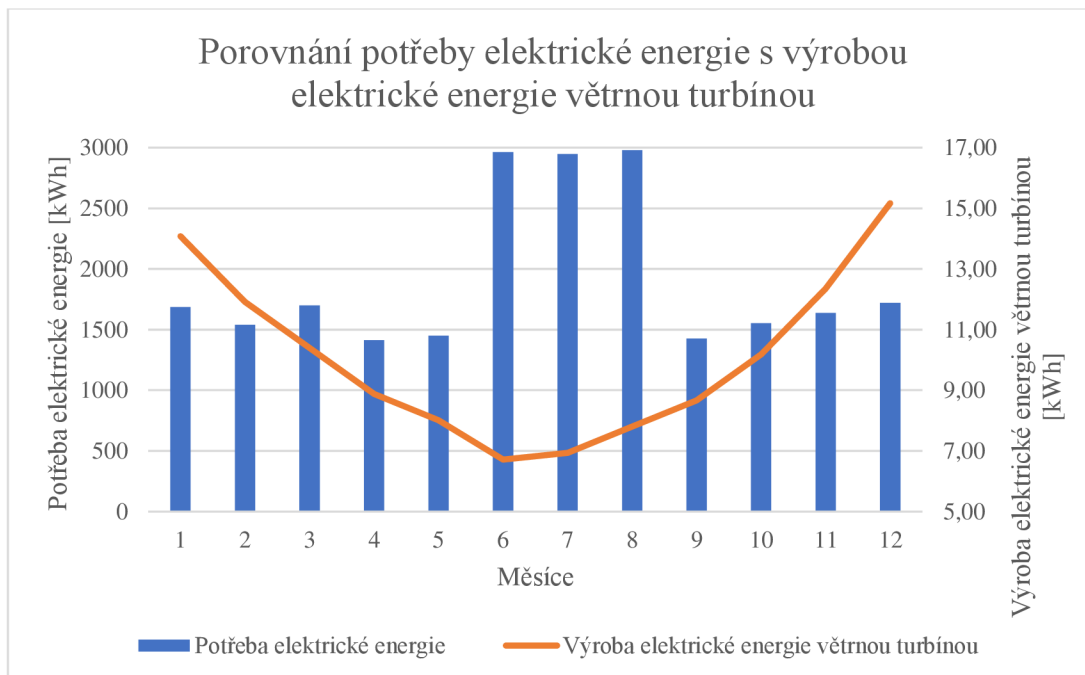
3.2.4 Měsíční příspěvek od větrné turbíny

Pro představu jsou níže do Tab. 23 uvedeny hodnoty ze stránky Ústavu fyziky atmosféry AV ČR pro případ, kdyby byla větrná turbína 10 m nad zemí, průměr rotoru by byl 2 m a maximální výkon 500 W.

Tab. 23 roční produkce elektrické energie větrnou turbínou [40]

Směr větru [°]	Výroba energie	
	Roční [kWh]	Relativně
0	8,70	7,14 %
30	23,60	19,52 %
60	26,50	21,86 %
90	12,40	10,26 %
120	3,20	2,62 %
150	19,90	13,16 %
180	8,10	6,67 %
210	1,40	1,12 %
240	3,70	3,09 %
270	9,10	7,53 %
300	7,40	6,15 %
330	1,10	0,89 %
Celkem	121,10	100 %

Z Tab. 23 lze vyčíst, že celková produkce elektrické energie za celý rok by byla 121,1 kWh, přičemž celková potřeba elektřiny je 23 010 kWh, což činí 0,53 % celkové potřeby.



Obr. 17 Porovnání potřeby elektrické energie s výrobou elektrické energie větrnou turbínou

3.2.5 Shrnutí větrné turbíny

Pro naše konkrétní použití v údolí se slabým a málo častým prouděním vzduchu je tento systém nevhodný. Na Obr. 17 je porovnání potřeby elektrické energie a její produkce větrnou turbínou.

3.3 Fototermický systém

Fototermický systém pracuje na principu přeměny slunečního záření na teplo prostřednictvím nemrznoucí směsi (např. glykolu), která je použita jako teplotonosná látka. Za pomoci elektronické regulace v podobě teplotních čidel je kontrolována teplota v zásobníku a kolektoru. Když teplota v akumulární nádrži klesne pod kontrolovanou hodnotu a v kolektoru je teplota vyšší, spustí se čerpadlo, které přepraví teplejší teplotonosné médium z kolektoru do zásobníku, kde ohřeje přítomnou vodu [46].

Primární využití je pro ohřev TUV, ale když je systém navržen s přebytky, je možné jej využít i na vytápění.

Mezi hlavní typy patří plochý a trubicový solární kolektor. Přičemž trubicové jsou většinou navrhovány pro ohřev TUV a přebytky na podporu vytápění [47]. Jsou ale náchylnější k poruše a díky izolaci vakuem nastává problém v zimě, kdy sníh na trubicovém kolektoru neroztaje a kvůli tomu není využit plný potenciál systému.

Z těchto důvodů byl pro návrh zvolen plochý kolektor.

3.3.1 Výhody a nevýhody fototermického systému

Výhody a nevýhody jsou uvedeny v Tab. 24, která srovnává fototermický (FT) systém s FV systémem.

Tab. 24 Výhody a nevýhody fototermického systému vůči fotovoltaice

Výhody	Nevýhody
Vysoká životnost systému, která je i o 10 let delší [49].	Složitější instalace [49].
Technologie je jednodušší [49].	
Nižší potřebná plocha pro instalaci systému o stejném výkonu [48].	Vyšší zatížení střechy na m ² od panelů [50].
Vyšší účinnost systému [49].	Menší rozsah použití [48].
Nižší vstupní náklady [49].	Nutnost pravidelně měnit nemrznoucí směs [49].

3.3.2 Výkon fototermického systému

Dopadající energie ze slunce je stejná jako v kapitole 3.1.6. Hodnota $Q_{S,měsíc}$ je tedy nezměněna.

Příklad výpočtu pro měsíc březen:

$$\eta_{FT} = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_m} - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_m} \quad (22)$$

$$\eta_{FT} = 74,3 - 3,416 \cdot \frac{70 - 4,9}{615} - 0,002 \cdot \frac{(70 - 4,9)^2}{615} = 73,88 \%$$

Kde:	$t_{k,m}$	střední teplota teplotnosné kapaliny v solárním kolektoru během dne	[°C]
	$t_{e,s}$	střední teplota během dne	[°C]
	η_{FT}	účinnost FT panelu	[%]
	η_0	účinnost při referenčních podmínkách	[%]
	a_1	lineární součinitel tepelné ztráty	[W/m ² K]
	a_2	kvadratický součinitel tepelné ztráty	[W/m ² K ²]
	G_m	referenční ozáření článku	[W/m ²]

$$E_{FT,panelu} = 0,9 \cdot \frac{\eta_{FT}}{100} \cdot Q_{S,měsíce} \cdot A_{FT,panelu} \cdot 1 - \frac{p}{100} \quad (23)$$

$$E_{FT,panelu} = 0,9 \cdot \frac{73,95}{100} \cdot 101,39 \cdot 2,51 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 47,79 \text{ kWh}$$

$$E_{FT,sys} = E_{FT,panelu} \cdot \text{počet panelů} \quad (24)$$

$$E_{FT,sys} = 47,79 \cdot 19 = 908 \text{ kWh}$$

Kde:	0,9	vyjadřuje, že slunce nedopadne pod pravým úhlem	[%]
	$A_{FT,panelu}$	plocha panelu	[m ²]
	p	ztráty v obvodu (10 %)	
	$E_{FT,panelu}$	výkon panelu	[kWh]
	$E_{FT,sys}$	výkon systému	[kWh]

Tab. 25 Známé hodnoty pro náš konkrétní fototermický panel z technického listu [51]

Název	typ	η_0	a_1	a_2	A_{FT}
Vitosol 200-FM	SV2F	74,3 %	3,416 W/m ² K	0,002 W/m ² K ²	2,51 m ²

Hodnotu pro $t_{k,m}$ byla určena na 70 °C ze znalosti potřeby teplotního spádu radiátorů 65/50 °C. Ostatní hodnoty závislé na volbě panelu jsou uvedeny v Tab. 25.

Na pokrytí potřeby energie na přípravu TUV a vytápění během měsíce června potřebujeme 4 433 kWh a produkce tepla jednoho FT panelu během tohoto měsíce činí 241,47 kWh (viz Tab. 26) z čehož plyne: $\left(\frac{4433}{241,47}\right) \cong 19$ FT panelů s rezervou pro případ nepříznivého počasí.

Celková plocha všech panelů tedy činí: $19 \cdot 2,51 = 47,69 \text{ m}^2$.

Příklad výpočtu pro měsíc březen:

$$\eta_{FT} = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_m} - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_m} \quad (22)$$

$$\eta_{FT} = 74,3 - 3,416 \cdot \frac{70 - 4,9}{615} - 0,002 \cdot \frac{(70 - 4,9)^2}{615} = 73,88 \%$$

Kde:	$t_{k,m}$	střední teplota teplotnosné kapaliny v solárním kolektoru během dne	[°C]
	$t_{e,s}$	střední teplota během dne	[°C]
	η_{FT}	účinnost FT panelu	[%]
	η_0	účinnost při referenčních podmínkách	[%]
	a_1	lineární součinitel tepelné ztráty	[W/m ² K]
	a_2	kvadratický součinitel tepelné ztráty	[W/m ² K ²]
	G_m	referenční ozáření článku	[W/m ²]

$$E_{FT,panelu} = 0,9 \cdot \frac{\eta_{FT}}{100} \cdot Q_s \text{ měsíce} \cdot A_{FT,panelu} \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right) \quad (23)$$

$$E_{FT,panelu} = 0,9 \cdot \frac{73,95}{100} \cdot 101,39 \cdot 2,51 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 47,79 \text{ kWh}$$

$$E_{FT,sys} = E_{FT,panelu} \cdot \text{počet panelů} \quad (24)$$

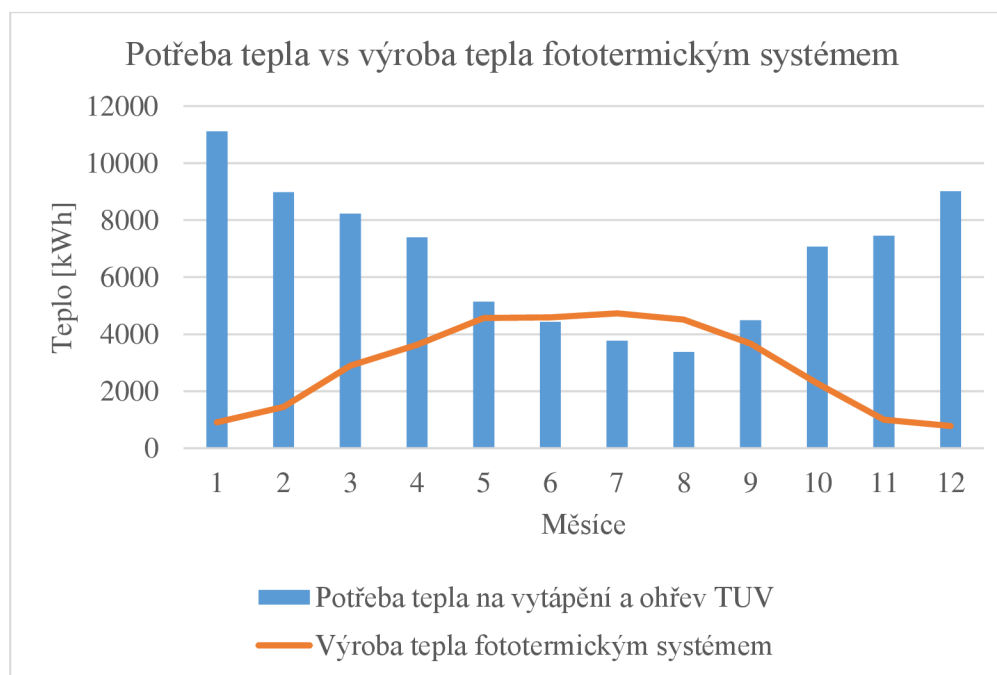
$$E_{FT,sys} = 47,79 \cdot 19 = 908 \text{ kWh}$$

Kde:	0,9	vyjadřuje, že slunce nedopadne pod pravým úhlem	[%]
	$A_{FT,panelu}$	plocha panelu	[m ²]
	p	ztráty v obvodu (10 %)	
	$E_{FT,panelu}$	výkon panelu	[kWh]
	$E_{FT,sys}$	výkon systému	[kWh]

Tab. 26 Měsíční výkon FT systému

Měsíc	η_{FT}	$Q_{s, \text{měsíc}}$	$A_{FT, \text{panelu}}$	$A_{FT, \text{systému}}$	$E_{FT, \text{panelu}}$	$E_{FT, \text{sys}}$
[-]	[%]	[kWh/m ²]	[m ²]	[m ²]	[kWh]	[kWh]
1	73,88	31,82	2,51	47,69	47,79	908,03
2	73,90	50,83	2,51	47,69	76,37	1 451,01
3	73,95	101,39	2,51	47,69	152,44	2 896,43
4	73,97	126,92	2,51	47,69	190,87	3 626,50
5	74,00	159,70	2,51	47,69	240,28	4 565,28
6	74,00	160,50	2,51	47,69	241,47	4 587,99
7	74,02	165,48	2,51	47,69	249,02	4 731,41
8	74,03	157,97	2,51	47,69	237,76	4 517,37
9	74,01	128,39	2,51	47,69	193,18	3 670,50
10	73,95	79,72	2,51	47,69	119,85	2 277,21
11	73,90	35,05	2,51	47,69	52,67	1 000,70
12	73,84	27,38	2,51	47,69	41,10	780,95

Porovnání produkce tepla vyrobeného fototermickými panely s potřebou tepla



Obr. 18 Potřeba tepla vs. výroba tepla fototermickým systémem

Z Obr. 18 plyne, že v červenci a srpnu vznikají přebytky tepla, které se mohou využít například pro ohřev vody v bazénu nebo vytápění skleníku. V době největšího výkonu FT systému (během měsíců 6–8) je zároveň nejmenší potřeba tepla, takže v případě příliš velkých přebytků můžeme systém odpojit.

3.3.3 Shrnutí fototermického systému

Pro náš konkrétní případ byly zvoleny fototermické ploché kolektory vzhledem ke své odolnosti (nebezpečí pádu větve na kolektory, ...).

Pro pokrytí potřeb tepla (TUV a vytápění) během měsíců června, července a srpna je zapotřebí instalovat 19 panelů o celkové ploše 47,69 m², jak je uvedeno v kapitole 3.3.2, což je podobná plocha jako pro fotovoltaický systém (47,16 m² viz kapitola 3.1.6), který nebyl schopen pokrýt potřebu ani na ohřev TUV.

Přebytky tepla, které vzniknou při výrobě mohou být využity na ohřev vody v bazénu, nebo budou řešeny odstávkou systému.

3.4 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo je takové zařízení, které čerpá tepelnou energii z místa s nižší teplotou do místa s vyšší teplotou. Tuto energii v podobě tepla je pak možné použít pro vytápění a ohřev TUV.

Efektivita je hodnocena parametry COP (coefficient of performance – topný faktor) $COP = \frac{\text{tepelný výkon}}{\text{příkon kompresoru}}$. Topný faktor je rovněž závislý na typu tepelného čerpadla.

Tepelná čerpadla (TČ) se dělí podle toho, z jakého prostředí získávají energii. Mezi zdroje tepla pro TČ patří vzduch, země a voda. Dále záleží, do jakého média energii převádějí, nejčastěji se jedná o vodu nebo vzduch [52].

3.4.1 Výhody a nevýhody konkrétních druhů tepelných čerpadel

Každý typ TČ má své výhody a nevýhody spojené s tím, jak získávají energii. Konkrétní výhody/nevýhody jsou sepsány v Tab. 27.

TČ země – voda při použití vrtů je nutné nejdříve získat hydrogeologický a stavební projekt, jejichž získávání je časově i finančně náročné. Geotermální vrty je vhodné použít tehdy, když v létě obrátíme chod a teplo vracíme nazpět do vrtů [52][52]. V případě plošného kolektoru je plocha nad kolektorem znehodnocená (je na ní možné pěstovat rostliny pouze s mělkým kořenovým systémem) a nedá se využít pro další výstavbu.

TČ vzduch – voda nesmí překročit hygienické hladiny hluku a v některých případech je nutné provést měření před instalací [53].

Tab. 27 Výhody a nevýhody konkrétních druhů tepelných čerpadel

Výhody	Systém	Nevýhody
Dlouhá životnost [54][54].	Země – voda	Finanční náročnost [52].
Stabilita provozu [54].		V případě plošného výměníku nemožnost využít danou plochu pro jiné využití [54]
Levnější na počáteční investici [52].	Vzduch – voda	Hlučnost jednotky [52].
Jednodušší instalace [52].		Vibrace [52].
Vysoký topný faktor [52].	Voda – voda	Větší spotřeba elektrické energie, než u systému země – voda [52].
		Náročný na údržbu [52]. Vyšší investiční náklady [52].

3.4.2 Popis zjednodušeného výpočtu

Technická normalizační informace (TNI) TNI 73 0351 Energetické hodnocení soustavy s tepelnými čerpadly – Zjednodušený výpočtový postup z července 2014 [55]. TNI obsahuje dvě přílohy s klimatickými údaji a regrese výkonových údajů TČ do funkce.

Výsledky vycházejí z potřeby tepla budovy (kapitola 2.4), provozních podmínek, ve kterých se TČ nachází a parametrů z příslušného technického listu.

TNI neuvažuje denní ani roční rozložení potřeby teplé vody, vliv elektrického tarifu, ztráty tepla ze zásobníku a elektrickou energii na pohon oběhového čerpadla. Předpokládá se provoz za konstantního výkonu.

Princip této TNI je založen na intervalové metodě. Tato metoda dává do souvislosti teploty venkovního vzduchu s rozlišením 1 K, střední teplotu a dobu trvání. Tyto údaje jsou obsahem přílohy TNI.

TNI při výpočtu zanedbává

Nelze rozlišit, v jakém poměru je využito teplo na ohřev TUV nebo na vytápění a interpolaci mezi údaji vstupní teploty vs. výkon/COP. Nezohledňují se rozdílné teploty v jednotlivých místnostech (ve výpočtu byla uvažována jednotná vnitřní teplota 20 °C).

Jsou řešeny pouze měsíční balíčky energie a pro výpočet se nedá použít vlastní lokalita, ale musí být použity hodnoty z TNI.

3.4.3 Určení potřeby tepla v jednotlivých měsících

Pro výpočet potřebného výkonu TČ neuvažujeme jiné zisky z OZE (FV, větrná turbína ani FT) z předchozích kapitol, které by snížily potřebu tepla.

Výběr tepelného čerpadla

Vzhledem k tomu, že TČ nebude využíváno na chlazení, kterým by se takto zvýšila výkonnost systému (chlazením v letním období vracím teplo do vrtů). Geotermální vrty se nevyplatí.

Plocha plošného kolektoru se dá zjednodušeně uvažovat jako trojnásobek vytápěné plochy (v našem případě přibližně 600 m²) tedy $600 \cdot 3 = 1\,800\text{ m}^2$ potřebné plochy [56]. Což v našem případě není realizovatelné.

System voda – voda nelze rovněž aplikovat z důvodu (v případě vrtu) již existujícího připojení ke studni jako zdroji pitné vody, a tedy možnosti narušení stávajícího vrtu.

Zbývá jediná možnost použít TČ vzduch – voda.

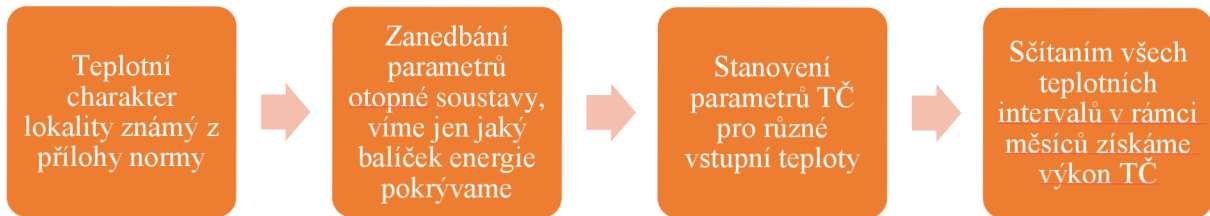
Tab. 28 Hodnoty tepelného čerpadla z technického listu [57]

Název	EcoAir 420	
Firma	Regulus	
Použití	Vytápění a příprava TUV	
Typ kompresoru	Scroll	
Teplota výstupní vody	55 °C	
Výkonové parametry		
Teplota vzduchu	Výkon [kW]	Topný faktor [-]
12 °C	18,34	3,31
7 °C	15,94	2,92
2 °C	13,05	2,56
-7 °C	10,91	2,26
-15 °C	8,36	1,82

Hodnoty z Tab. 28 následně vstupují do výpočtu v kapitole 3.4.4.

3.4.4 Postup výpočtu

Postup výpočtu je blokově vyobrazen na Obr. 19.



Obr. 19 Postup výpočtu [58]

Výpočtové vztahy pro jeden interval

Celková potřeba tepla na vytápění:

$$Q_{p,VYT,j} = Q_{p,VYT} \frac{DH_j}{DH} = Q_{p,VYT} \frac{\tau_j \cdot (t_i - t_{em,j})}{\sum_j \tau_j \cdot (t_i - t_{em,j})} = Q_{p,VYT} \cdot f_{VYT,j} \quad (25)$$

$$Q_{p,VYT,j} = 11\,109 \cdot 0,002177 = 24,2 \text{ kWh}$$

Doba provozu pro vytápění:

$$\tau_{k,VYT,j} = \tau_j - \tau_{TC,TV,j} \quad (26)$$

$$\tau_{k,VYT,j} = 1 - 0 = 1 \text{ h}$$

Vyprodukovaný tepelný výkon TČ pro vytápění:

$$Q_{k,VYT,j} = \phi_{k,VYT,j} \cdot \tau_{k,VYT,j} \quad (27)$$

$$Q_{k,VYT,j} = 8,4 \cdot 1 = 8,4 \text{ kWh}$$

Teplo reálně dodané:

$$Q_{TC,VYT,j} = \min(Q_{k,VYT,j}; Q_{p,VYT,j}) \quad (28)$$

$$Q_{TC,VYT,j} = \min(8,4; 24,2) = 8,4 \text{ kWh}$$

Skutečná doba provozu:

$$\tau_{TC,VYT,j} = \frac{Q_{TC,VYT,j}}{\phi_{k,VYT,j}} \quad (29)$$

$$\tau_{TC,VYT,j} = \frac{8,4}{8,4} = 1 \text{ h}$$

Potřebná elektrická energie pro pohon TČ v režimu vytápění:

$$E_{TC,VYT,j} = \frac{Q_{TC,VYT,j}}{COP_{VYT,j}} \quad (30)$$

$$E_{TC,VYT,j} = \frac{8,4}{1,82} = 4,6 \text{ kWh}$$

Dodané teplo použité na vytápění:

$$Q_{d,VYT,j} = Q_{p,VYT,j} - Q_{TC,VYT,j} \quad (31)$$

$$Q_{d,VYT,j} = 24,2 - 8,4 = 15,8 \text{ kWh}$$

Kde:	$Q_{p,VYT,j}$	celková potřeba tepla na vytápění (v jednotlivých měsících)	[kWh]
	$Q_{k,VYT,j}$	vyprodukovaný tepelný výkon TČ pro vytápění	[kWh]
	$Q_{TC,VYT,j}$	teplo dodané tepelným čerpadlem	[kWh]
	$Q_{k,VYT,j}$	dostupné teplo	[kWh]
	$Q_{d,VYT,j}$	zbývající potřeba tepla	[kWh]
	DH_j	počet hodinostupňů výpočtového teplotního intervalu j	[Kh]
	DH	počet hodinostupňů za otopné období (rok) nebo v jednotlivých měsících	[Kh]
	$\tau_{k,VYT,j}$	doba provozu pro vytápění	[h]
	τ_j	doba trvání výpočtového teplotního intervalu j	[h]
	$\tau_{TC,VYT,j}$	doba provozu TČ	[h]
	$t_{em,j}$	střední teplota v intervalu j	[°C]
	$f_{VYT,j}$	podíl z celkové potřeby tepla na vytápění (roční, měsíční) ve výpočtovém teplotním intervalu j , na základě hodnot v příloze A (pro roční nebo měsíční rozlišení).	[-]
	$E_{TC,VYT,j}$	potřebná elektrická energie pro pohon TČ v režimu vytápění	[kWh]

Výsledky produkce tepla a potřeby elektrické energie tepelného čerpadla

Tab. 29 obsahuje vypočtené hodnoty za pomoci vztahů v této kapitole, které jsou následně porovnány s původními hodnotami v Tab. 30. Tabulka obsahuje sumy jednotlivých teplotních intervalů jednotlivých veličin pro každý měsíc zvlášť.

Tab. 29 Výsledky produkce tepla a spotřeby elektrické energie tepelného čerpadla

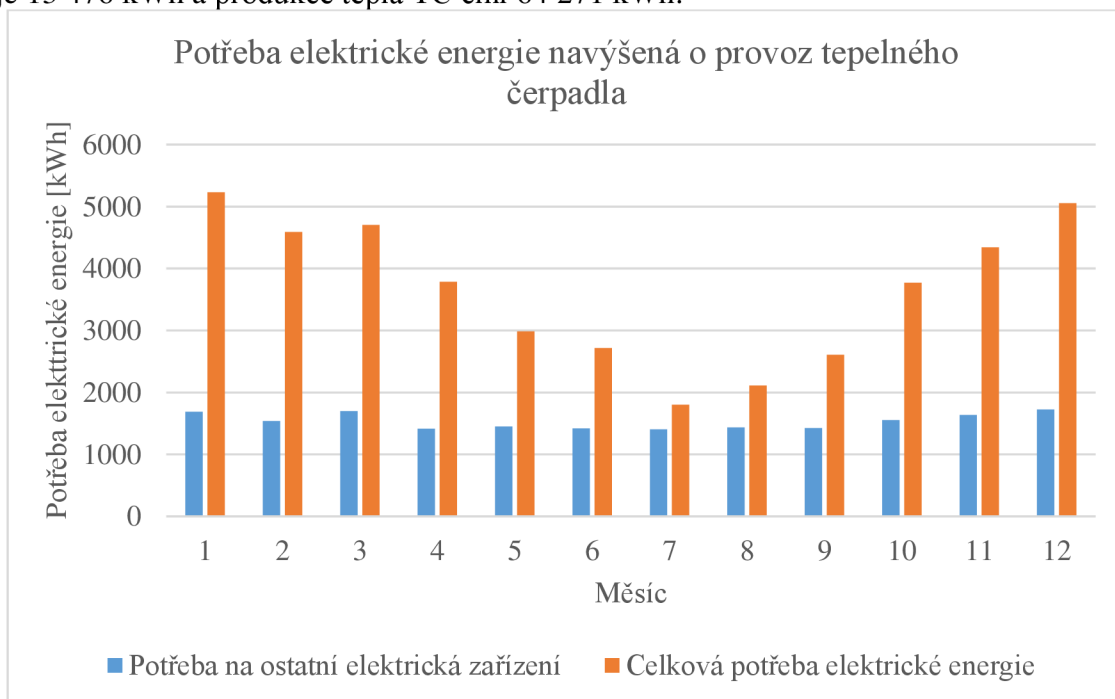
Měsíc	[-]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q_{TC,VYT}$	[kWh]	8 334	6 716	7 574	6 255	4 322	3 863	1 232	2 073	3 452	6 097	6 806	7 545
$E_{TC,VYT}$	[kWh]	3 544	3 051	3 004	2 373	1 535	1 294	396	675	1 183	2 216	2 704	3 334
$Q_{d,VYT}$	[kWh]	2 775	2 262	623	756	212	570	2 536	1 304	16	350	599	1 472
$\tau_{TC,VYT}$	[h]	722	635	594	460	288	237	72	123	218	421	535	688

Porovnání potřeby elektrické energie budovy na ostatní elektrická zařízení s a bez spotřeby tepelného čerpadla, produkce tepla tepelného čerpadla a zbývající potřeba tepla je uvedena v Tab. 30.

Tab. 30 Porovnání potřeby elektrické energie budovy na ostatní elektrická zařízení s a bez spotřeby tepelného čerpadla, produkce tepla tepelného čerpadla a zbývající potřeba tepla

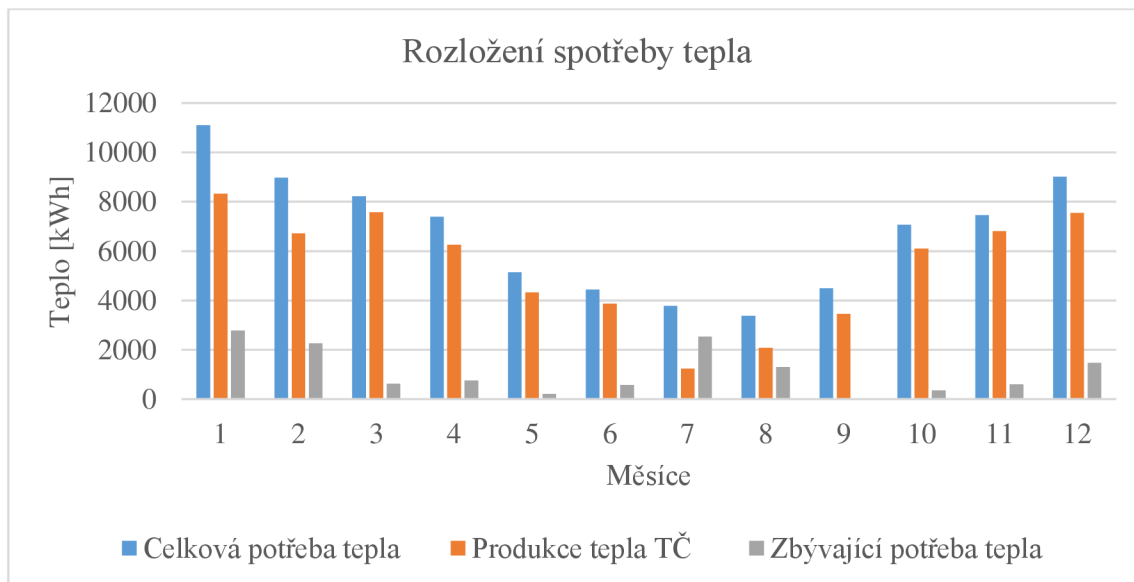
Měsíc	Potřeba na ostatní elektrická zařízení	Spotřeba elektrické energie TČ ($E_{TC,VYT}$)	Celková potřeba elektrické energie	Celková potřeba tepla (TUV a vytápění)	Produkce tepla TČ ($Q_{TC,VYT}$)	Zbývající potřeba tepla ($Q_{d,VYT}$)
[-]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
1	1 686	3 544	5 230	11 109	8 334	2 775
2	1 540	3 051	4 591	8 978	6 716	2 262
3	1 700	3 004	4 704	8 229	7 574	623
4	1 412	2 373	3 785	7 397	6 255	756
5	1 450	1 535	2 985	5 136	4 322	212
6	1 420	1 294	2 714	4 433	3 863	570
7	1 405	396	1 801	3 772	1 232	2 536
8	1 436	675	2 111	3 378	2 073	1 304
9	1 426	1 183	2 609	4 492	3 452	16
10	1 552	2 216	3 768	7 077	6 097	350
11	1 636	2 704	4 340	7 456	6 806	599
12	1 722	3 334	5 056	9 017	7 545	1 472

Z Tab. 30 plyne že celková spotřeba elektrické energie TČ je 25 310 kWh, potřeba na ostatní elektrická zařízení je 18 385 kWh což je 1,3x vyšší ($\left(\frac{25\,310}{18\,385}\right) = 1,3$). Suma zbývající potřeby tepla je 13 476 kWh a produkce tepla TČ činí 64 271 kWh.



Obr. 20 Potřeba elektrické energie navýšená o provoz tepelného čerpadla

Z Obr. 20 plyne, že v některých měsících stoupne potřeba elektrické energie i více než na dvojnásobnou hodnotu po zapojení TČ. Nárůst potřeby elektrické energie je způsoben použitím elektrické energie na pokrytí potřeby tepla v danou dobu, kdy pracuje jako elektrický kotel.



Obr. 21 Rozložení potřeby tepla

Tepelné čerpadlo není schopno samo pokrýt potřebu tepla na vytápění a ohřev TUV, jak je možno vyčíst z Obr. 21. Skok v potřebě zbývajícího tepla v červenci je způsoben výkyvy nízkých teplot (dle použité TNI), které TČ není schopno pokrýt, a proto se musí spustit jiný zdroj tepla.

3.4.5 Shrnutí tepelného čerpadla

Pro naši aplikaci bylo zvoleno TČ vzduch – voda, jelikož nevyžaduje k instalaci velké zásahy do okolního pozemku (při použití zemního kolektoru velká potřebná plocha kolektoru, v případě systému s vrty ohrožení zdroje pitné vody) i přes nejvyšší spotřebu elektrické energie. Pro pokrytí potřeby by bylo zapotřebí instalovat alespoň dvě tepelná čerpadla, což s sebou nese vyšší investiční náklady. Musela by se přepočítat plocha radiátorů, které byly navrženy na vyšší teplotní spád, protože výstupní teplota vody z TČ je jen 55 °C.

Z těchto důvodů by samostatná instalace TČ nebyla nejvhodnějším řešením pokrytí potřeby tepla a TUV.

4 Výběr a optimalizace nejvhodnějšího energetického systému pro danou lokalitu

4.1 Shrnutí jednotlivých obnovitelných zdrojů

Jednotlivé zdroje OZE byly navrhovány samostatně, neuvažoval se tedy jejich vliv na návrh ostatních systémů. Jejich kombinací se zabývá tato kapitola 4.

Výběr konkrétních typů zařízení jednotlivých zdrojů probíhal na základě dostupných informací na internetu s ohledem na možnosti použití a využití v našem případě.

Cílem návrhu nebylo dosáhnout úplné samostatnosti ve výrobě tepla nebo elektrické energie, ale co nejlépe využít možnosti OZE v naší lokalitě pro zvýšení samostatnosti.

Plocha střechy použitelná pro využití slunečního záření je 51,38 m². Po instalaci například FV (s plochou 47,16 m²) již nezůstává dostatečný prostor pro instalaci FT systému.

Kvůli těmto skutečnostem se již některé kombinace systémů vylučují.

4.1.1 Fotovoltaický systém

Pro FV systém bylo ve výpočtu vzhledem k stinné lokalitě uvažováno pouze s využitím instalovaného výkonu do 10 kW_p, tedy bez nutnosti licence.

Celý systém vyrobí ročně při instalovaném výkonu 10 kW_p na ploše 47,16 m² 9 585,9 kWh viz kapitola 3.1.7. Celkový roční požadavek elektrické energie (provoz elektrického kotle na ohřev TUV a ostatní elektrická zařízení) činí 23 010 kWh (viz kapitola 2.4.4). FV systémem by bylo pokryto 42 % $\left(\left(\frac{9\,585,9}{23\,010}\right) \cdot 100 = 42\%\right)$, který má v letních měsících nejvyšší výkon při nejnižší účinnosti.

Použití FV systému pro náhradu veškeré elektrické energie je v této komplikované lokalitě nedostačující.

Jako doplňkový zdroj pro pohon technických zařízení (oběhová čerpadla, Laddomat a jiná elektrická zařízení důležitá pro činnost kotle na tuhá paliva) nebo podporu provozu TČ se jedná o elegantní ale nákladné řešení, především pro případ výpadku elektrické sítě, což je v této oblasti časté.

4.1.2 Systém s větrnou turbínou

Novostavba se nachází v údolí v těsné blízkosti vzrostlých stromů, kde je slabé a málo intenzivní proudění větrů. Směr větru je velmi proměnlivý a výkon uvažované větrné turbíny by byl skoro nulový (121,1 kWh ročně). Potřeba elektrické energie je 23 010 kWh, pokrytí tedy tvoří 0,53 % $\left(\left(\frac{121,1}{23\,010}\right) \cdot 100 = 0,53\%\right)$.

Použití větrné turbíny není vhodné.

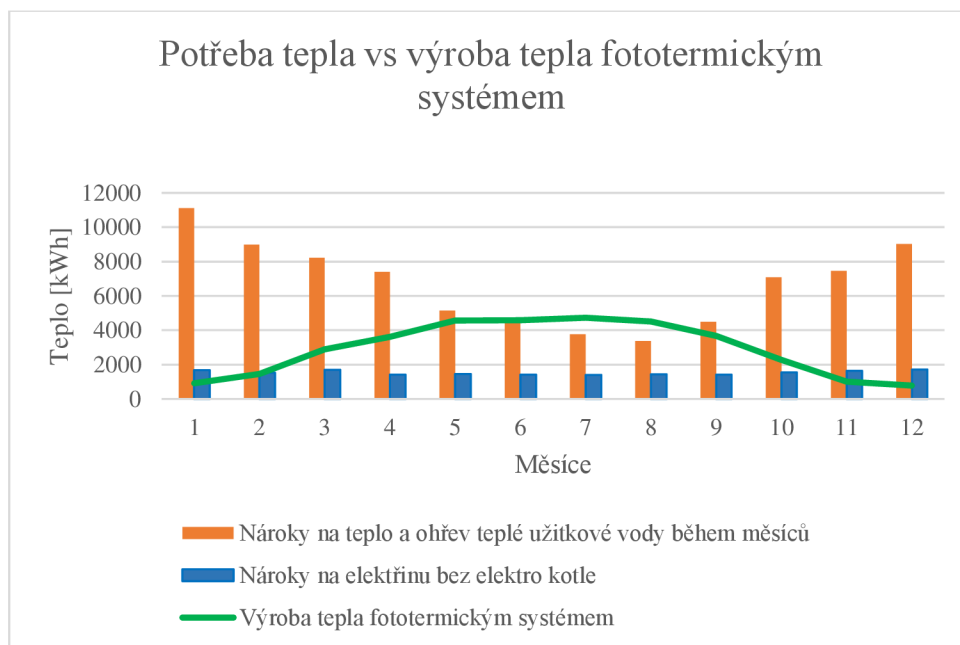
4.1.3 Fototermický systém

FT zdroj byl navržen na výstupní teplotu 70 °C ze znalosti toho, že do radiátorů potřebujeme teplotu topné vody se spádem 65/50 °C a do podlahového topení spád 32/23 °C. Výstupní teplota 70 °C je dostatečná i pro ohřev TUV, pro který je požadovaná teplota 55 °C.

Celý systém vyrobí ročně na ploše 47,69 m² 35 013,4 kWh viz kapitola 3.3.2. Celkový roční požadavek tepla na vytápění a přípravu TUV činí 80 473 kWh (viz kapitola 2.4.4). FT systémem by bylo pokryto 43,5 % $\left(\left(\frac{35\,013,4}{80\,473}\right) \cdot 100 = 43,5\%\right)$.

FT systém má nejvyšší účinnost výroby tepla v létě, kdy je jeho nejmenší potřeba viz Obr. 18. Během měsíců červen, červenec a srpen tak vznikají přebytky, které mohou být použity např. na ohřev bazénu.

Instalací FT panelů odpadá nutnost provozu elektrického kotle na ohřev TUV viz. Obr. 22.



Obr. 22 Potřeba tepla vs výroba tepla fototermickým systémem

4.1.4 Systém s tepelným čerpadlem

V případě, kdy je instalováno TČ, nemá smysl provozovat současně i FT systém. Oba systémy shodně produkují teplo, ale není zajištěno, že v potřebném čase zajistí 100 % požadovaného výkonu.

Současná instalace TČ s FV systémem je výhodnější. Bylo by uspořeno 9 585,9 kWh elektrické energie, ale nebyla by pokryta spotřeba TČ, která činí 25 310 kWh viz Obr. 23. Zbývající potřebu tepla 13 476 kWh, je zapotřebí vyrobit jiným způsobem pro pokrytí celkové potřeby tepla budovy.

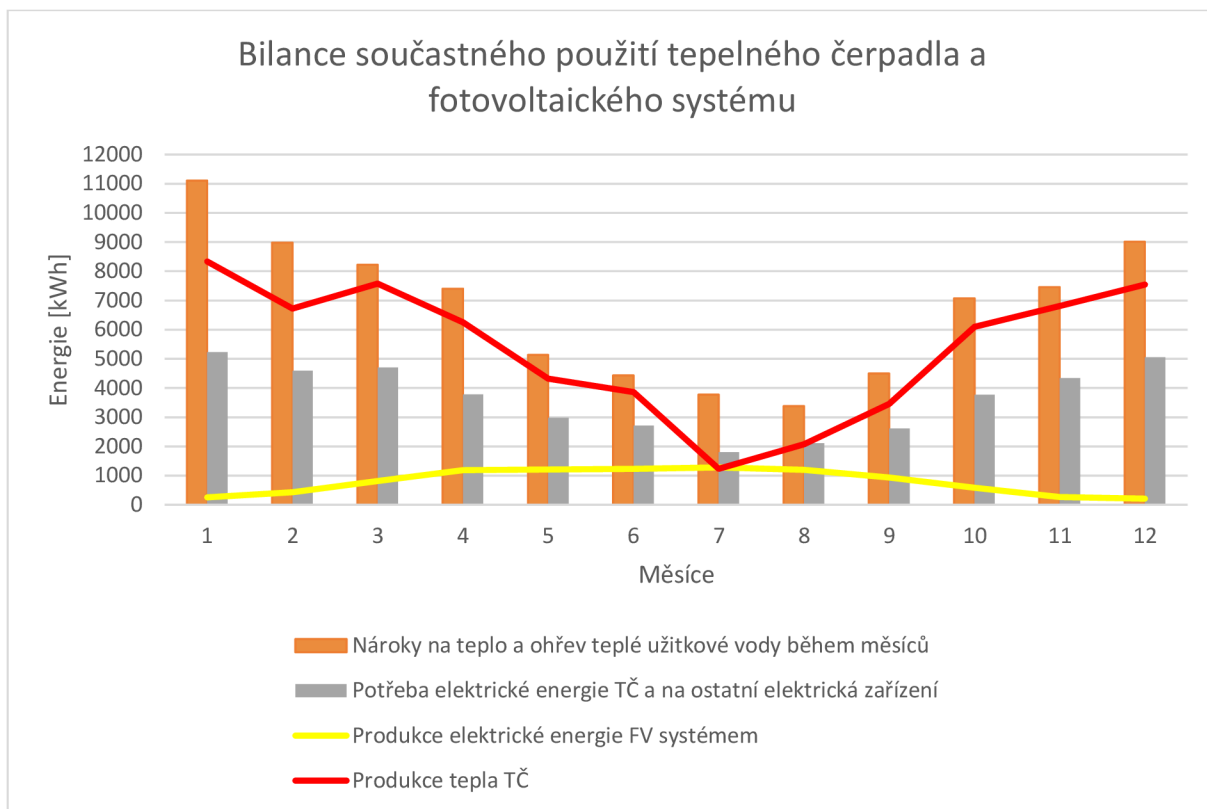
TČ spotřebuje 25 310 kWh elektrické energie pro produkci 64 271 kWh tepla, což odpovídá roční průměrné hodnotě COP 2,54 $\left(\frac{64\,271}{25\,310} = 2,54\right)$.

Navržené TČ není schopno pokrýt potřebu tepla (roční produkce tepla tepelným čerpadlem je 64 271 kWh). Celkový požadavek tepla je 80 473 kWh, tepelné čerpadlo pokryje 80 % $\left(\frac{64\,271}{80\,473} \cdot 100 = 80\%\right)$.

Původní požadavek na potřebu ostatních elektrických zařízení bez provozu elektrického kotle na přípravu TUV (tato energie je zahrnuta v potřebě tepla pro TČ) byl 18 385 kWh. Spotřeba elektrické energie při použití TČ by byla navýšena o 138 % $\left(\frac{25\,310}{18\,385} \cdot 100 = 138\%\right)$.

Použitím TČ je pokryto 80 % potřeby tepla za cenu zvýšené spotřeby elektrické energie o 138 % v porovnání s kotlem na tuhá paliva a bylo by nutno přepočítat plochu radiátorů, protože výstupní teplota vody je pouze 55 °C což je nižší než uvažovaná teplota.

Na výrobu elektrické energie FV systémem se nedá úplně spolehnout, protože může probíhat v jinou dobu, než je dodávka elektřiny potřebná.



Obr. 23 Bilance současného použití TČ a FV systému

4.1.5 Shrnutí – pokrytí potřeb od jednotlivých zdrojů

V Tab. 31 je vidět, procentuální pokrytí potřeby elektrické energie nebo tepla od jednotlivých zdrojů.

Tab. 31 Pokrytí potřeb budovy při instalaci jednotlivých zdrojů uvažovaných v kapitole 3

	Potřeba	Elektrická energie		Teplo	
		Pokrytí potřeby	Potřeba	Pokrytí potřeby	Potřeba
Systém	FV systém	42 %	23 010 kWh	0 %	68 891 kWh
	Systém s větrnou turbínou	0,5 %	23 010 kWh	0 %	68 891 kWh
	FT systém	0 %	18 385 kWh	43,5 %	80 473 kWh
	TČ	0 %	18 385 kWh	80 %	80 473 kWh

4.2 Potřebné množství paliva pro kotel a snížení množství paliva při aplikaci OZE

Hlavním zdrojem tepla je kotel na kusové dřevo, případně uhlí při použití jiného typu kotle. Dále je vypočteno množství paliva pro provoz kotle a úspory při použití OZE na výrobu tepla.

$$\text{Množství paliva: } m = \frac{Q}{Q_{ir} \cdot n}$$

$$\text{Objem paliva: } V = \frac{m}{\rho}$$

Kde: m množství paliva [kg]
 V objem paliva [m³]
 Q celková potřeba tepla na vytápění a TUV [kWh]
 Q_{ir} výhřevnost paliva [kWh]
 n účinnost spalování [%]

$$Q = 68\,891 \text{ kWh} = 68\,891 \cdot 3,6 = 248\,008 \text{ MJ}$$
$$Q_{\text{ir}} \text{ černého uhlí} = 23 \text{ [MJ/Kg]}$$
$$\rho \text{ černého uhlí} = 1\,300 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Množství uhlí:

$$m_{\text{uhlí}} = \frac{248\,008}{23 \cdot 0,899} = 11\,994 \text{ kg} \approx 12 \text{ t}$$
$$V_{\text{uhlí}} = \frac{11\,994}{1\,300} = 9,2 \text{ m}^3$$

Množství dřeva:

$$Q_{\text{ir}} \text{ dřeva} = 14,6 \text{ [MJ/Kg]}$$
$$n \text{ kotle} = 89,9 \text{ [%]} = 0,899 \text{ [-]}$$
$$\rho \text{ vzduchosuchého měkkého dřeva (Smrk)} = 470 \text{ [kg/m}^3\text{]} \text{ [59]}$$
$$\rho \text{ vzduchosuchého tvrdého dřeva (Jasan)} = 720 \text{ [kg/m}^3\text{]} \text{ [59]}$$

$$m_{\text{dřeva}} = \frac{248\,008}{14,6 \cdot 0,899} = 18\,895 \text{ kg} \approx 19 \text{ t}$$
$$V_{\text{dřeva,měkké}} = \frac{18\,895}{470} = 40,2 \text{ m}^3$$
$$V_{\text{dřeva,tvrdé}} = \frac{18\,895}{720} = 26,2 \text{ m}^3$$

Množství dřeva je zapotřebí ještě přepočítat na skládané za pomoci koeficientu 1,4 [60].

$$V_{\text{dřeva,měkké,skládané}} = 40,2 \cdot 1,4 = 56,3 \text{ m}^3$$
$$V_{\text{dřeva,tvrdé,skládané}} = 26,2 \cdot 1,4 = 36,7 \text{ m}^3$$

Výsledná množství jsou pro jeden rok bez započítání snížení potřeby tepla navrženými systémy.

Použitím TČ nebo FT systému se sníží spotřeba paliva pro kotel na tuhá paliva následovně:

FT systém:

Výkon FT systému:

$$Q_{FT} = 21\,177 \text{ kWh} \cdot 3,6 = 76\,236 \text{ MJ}$$

Původní potřeba:

$$Q = 248\,008 \text{ MJ}$$

Nová potřeba:

$$248\,008 \text{ MJ} - 76\,236 \text{ MJ} = 171\,772 \text{ MJ}$$

Množství uhlí:

$$m_{\text{uhlí}} = \frac{171\,772}{23 \cdot 0,899} = 8\,307 \text{ kg} \approx 8,3 \text{ t}$$
$$V_{\text{uhlí}} = \frac{8\,307}{1\,300} = 6,4 \text{ m}^3$$

Množství dřeva:

$$m_{\text{dřeva}} = \frac{171\,772}{14,6 \cdot 0,899} = 13\,087 \text{ kg} \approx 13 \text{ t}$$

$$V_{\text{dřeva,měkké}} = \frac{13\,087}{470} = 28 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{dřeva,měkké,skládané}} = 28 \cdot 1,4 = 39 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{dřeva,tvrde}} = \frac{13\,087}{720} = 18 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{dřeva,tvrde,skládané}} = 18 \cdot 1,4 = 25,4 \text{ m}^3$$

Tepelné čerpadlo:

Výkon TČ:

$$Q_{T\check{C}} = 57\,103 \text{ kWh} \cdot 3,6 = 205\,569 \text{ MJ}$$

Původní potřeba:

$$Q = 248\,008 \text{ MJ}$$

Nová potřeba:

$$248\,008 \text{ MJ} - 205\,569 \text{ MJ} = 42\,439 \text{ MJ}$$

Množství uhlí:

$$m_{\text{uhlí}} = \frac{42\,439}{23 \cdot 0,899} = 2\,053 \text{ kg} \approx 2,1 \text{ t}$$

$$V_{\text{uhlí}} = \frac{2\,053}{1\,300} = 1,6 \text{ m}^3$$

Množství dřeva:

$$m_{\text{dřeva}} = \frac{42\,439}{14,6 \cdot 0,899} = 3\,233 \text{ kg} \approx 3,2 \text{ t}$$

$$V_{\text{dřeva,měkké}} = \frac{3\,233}{470} = 6,9 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{dřeva,měkké,skládané}} = 6,9 \cdot 1,4 = 9,6 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{dřeva,tvrde}} = \frac{3\,233}{720} = 4,5 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{dřeva,tvrde,skládané}} = 4,5 \cdot 1,4 = 6,3 \text{ m}^3$$

Kde: Q_{FT} teplo vyprodukované FT systému [kWh] $Q_{T\check{C}}$ teplo vyprodukované TČ [kWh]

Při instalaci FT systému se sníží potřeba uhlí o $2,8 \text{ m}^3$ ($9,2 - 6,4 = 2,8 \text{ m}^3$) nebo měkkého skládaného dřeva o $17,3 \text{ m}^3$ ($56,3 - 39 = 17,3 \text{ m}^3$) nebo tvrdého skládaného dřeva o $11,3 \text{ m}^3$ ($36,7 - 25,4 = 11,3 \text{ m}^3$).

Při instalaci TČ se sníží potřeba uhlí o $7,6 \text{ m}^3$ ($9,2 - 1,6 = 7,6 \text{ m}^3$) nebo měkkého skládaného dřeva o $46,7 \text{ m}^3$ ($56,3 - 9,6 = 46,7 \text{ m}^3$) nebo tvrdého skládaného dřeva o $30,4 \text{ m}^3$ ($36,7 - 6,3 = 30,4 \text{ m}^3$).

V Tab. 32 je uvedeno kolik m³ paliva je možné ušetřit při instalaci FT nebo TČ. Měsíce červen až srpen nejsou zahrnuty (v těchto měsících nejede kotel na tuhá paliv).

Tab. 32 Ušetření paliva pro kotel při použití FT nebo TČ

		Ušetřené palivo		
		Uhlí	Měkké skládané dřevo	Tvrdé skládané dřevo
System	FT	2,8 m ³	17,3 m ³	11,3 m ³
	TČ	7,6 m ³	46,7 m ³	30,4 m ³

Závěr

Cílem této bakalářské práce byl návrh obnovitelných zdrojů energie pro konkrétní budovu umístěnou na ne zcela standardním místě.

Z lokality a typu stavby, která je umístěna na konci údolí, obklopena horami a vzrostlými stromy, byly stanoveny nároky na teplo, a elektrickou energii. Hodnoty požadovaného tepla byly vypočteny na základě normy a byla využita průměrná měsíční teplota. Potřeba elektrické energie se skládá ze dvou částí. První je potřeba elektrického kotle na přípravu teplé užitkové vody. Druhá je potřeba na ostatní elektrická zařízení (zařízení kuchyní, koupelen a dalších) a byla určena pomocí online kalkulačky.

Na známý systém vytápění (podlahové topení a radiátory) a přípravu teplé užitkové vody byly postupně navrženy obnovitelné zdroje. Jako první byl navržen fotovoltaický systém. Kvůli problémům spojených s překročením instalovaného výkonu 10 kWp, byl systém navržen právě na tuto hodnotu. Po výpočtu bylo zhodnoceno, že fotovoltaický systém, jako hlavní nebo samostatný zdroj energie není vhodný. Lepší využití by měl v kombinaci s tepelným čerpadlem, jako doplňkový zdroj elektrické energie, kdy pokryje alespoň část potřeby na provoz.

Použití systému s větrnou turbínou bylo vyhodnoceno, z hlediska lokality se slabým a málo intenzivním prouděním větrů, jako nevhodné.

Jako další možnost byla navržena samostatná instalace fototermického systému na pokrytí jak potřeb tepla na vytápění, tak na ohřev teplé užitkové vody. Během měsíců červen až srpen, by vznikaly přebytky ve výrobě tepla, které by mohly být využity na ohřev bazénu nebo vytápění skleníku nebo může být systém dočasně odstaven.

Pokrytí potřeby tepla provozem tepelného čerpadla se výrazně navýší spotřeba elektrické energie. Doplněním fotovoltaického systému může být elektrická energie uspořena. Tepelné čerpadlo jako hlavní zdroj tepla pracující souběžně v kombinaci s fototermickým systémem není vhodné. Ideální by bylo tepelné čerpadlo v letních měsících odpojit.

Výsledky by bylo vhodné porovnat se simulačním výpočtem v některém pokročilejším programu. Navrhnout případné úpravy či některé energetické zdroje doplnit. Rovněž by bylo vhodné celkové finanční vyhodnocení a návratnost systémů.

Seznam použitých zdrojů

- [1] *Stanovisko ke stavbě „Novostavba rodinného domu na p.č 728/1, 728/3 a 728/4 v k.ú. Vernířovice u Sobotína“*. Loučná nad Desnou, 2019.
- [2] CHKO Jeseníky. *CHKO Jeseníky* [online]. Brno: AOPK ČR, 2023 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://jeseniky.nature.cz/en/zonace-chko>
- [3] Mapy.cz. *Mapy.cz* [online]. Praha: Seznam.cz, 2023 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zemepisna?vlastni-body&ut=Nov%C3%BD%20bod&uc=9nk7zxXkW.&ud=17%C2%B07%2735.332%22E%2050%C2%B02%2748.021%22N&x=17.1252796&y=50.0465277&z=15>
- [4] Chalupa srpen 2021. *Rajce.net* [online]. Brno: MAFRA, 2021 [cit. 2023-03-24]. Dostupné z: https://dofoto.rajce.idnes.cz/Chalupa_srpen_2021/1502029986
- [5] *Novostavba rodinného domu parc.č728/1, 728/3 a 728/4 v k.ú. Vernířovice u Sobotína. Šumperk, 2018.*
- [6] ATMOS. *ATMOS* [online]. Brno: ATMOS, 2023 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/produkt/zplynovaci-kotle-na-drevo-drevoplyn/dc25s/>
- [7] *Laddomat 22 Laddningspaket: Návod k instalaci* [online]. 2012, 1-8 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.eurosystemy.cz/cenik/kotle-biomasa/atmos-ladomat-kotel-kotle-cenik-cena-podlahove-topeni.pdf>
- [8] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. 1. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2005, 96 s.
- [9] Photovoltaic geographical information system. European Commission [online]. Brusel: Directorate-General for Communication, 2022 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: https://commission.europa.eu/index_en
- [10] ČSN EN 12831-1. *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. 1. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018, 98 s.
- [11] *Vytápění a zdroje tepla*. Brno, 2022.
- [12] Výpočet doby ohřevu teplé vody. *Tzbinfo* [online]. Praha: Topinfo, c2001-2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/97-vypocet-doby-ohrevu-teple-vody>
- [13] *Příprava teplé vody: Vytápění a zdroje tepla*. Brno, 2022.
- [14] Výpočet spotřeby elektrické energie. *Elektrina.cz* [online]. Praha: Ušetřeno.cz, c2014 – 2023 [cit. 2021-09-28]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/spotreba-elektriny>
- [15] Elektrina bude zelená, ale nevyzpytatelná. Řešením jsou úložiště energie a záložní zdroje. *Energiebezemisi* [online]. Česko: Šitner, 2023 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://energiebezemisi.cz/co-vas-zajima/obnovitelne-zdroje/>
- [16] Obnovitelné zdroje energie. Ministerstvo životního prostředí [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, c2008-2023 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/obnovitelne_zdroje_energie
- [17] Nová zelená úsporám. Státní fond životního prostředí České republiky [online]. Praha: Státní fond životního prostředí ČR, 2023 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/nova-zelena-usporam/>
- [18] Dotace pro rodinné domy. *Nová zelená úsporám* [online]. Praha: Státní fond životního prostředí ČR, [2023] [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/rodinne-domy/>
- [19] Zjednodušeně – co je to fotovoltaický jev?. *Bohemia civil engineering* [online]. Velká Bíteš: bc engineering, 2019 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://www.bce.cz/zjednodusene-co-je-to-fotovoltaicky-jev/>

- [20] Jak vybrat fotovoltaické panely. *dTest* [online]. Praha: dTest, 2019 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://www.dtest.cz/clanek-6991/jak-vybrat-fotovoltaicke-panely>
- [21] Mýty o tepelných čerpadlech a solárních panelech: Na co si dát pozor. *Deník.cz* [online]. Praha: VLTAVA LABE MEDIA, 2022 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://www.denik.cz/energie/tepelna-cerpadla-solarni-panely-fakta.html?fbclid=IwAR3IKg1vICaFqsPz6z55KLULefQi4CBmEMU5wrnZhYFWqBTZAI2moeUndB0>
- [22] The main barriers to Solar PV. YES Energy Solutions [online]. Holywell Green: YES Energy Solutions, 2023 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://www.yesenergysolutions.co.uk/advice/main-barriers-solar-pv>
- [23] Co byste měli znát před instalací domácí fotovoltaické elektrárny. *Tzbinfo* [online]. Praha: Topinfo, 2021 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/22068-co-byste-meli-znat-pred-instalaci-domaci-fotovoltaicke-elektrarny>
- [24] Jak na údržbu fotovoltaických panelů?. *Viessmann* [online]. Chrást'any: viessmann [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/udrzba-fotovoltaickych-panelu.html>
- [25] Výhody fotovoltaiky. *PROFIT SOLAR* [online]. Volyně: PROFIT SOLAR, c2017 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <http://www.profitsolar.cz/o-nas/vyhody-fotovoltaiky/>
- [26] Aktuální podmínky pro stavbu fotovoltaické elektrárny – podzim 2022. *Tzbinfo* [online]. Praha: Topinfo, 2022 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/24440-aktualni-podminky-pro-stavbu-fotovoltaicke-elektrarny-podzim-2022>
- [27] Připojení fotovoltaické elektrárny do 10 kW do sít. *Frank Bold* [online]. Brno: Frank Bold, 2016 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.fbadvokati.cz/cs/clanky/405-pripojeni-fotovoltaicke-elektrarny-do-10-kw-do-site>
- [28] Pořizujete fotovoltaiku? Pozor na povinné úpravy elektroměrových sloupků. *Tzbinfo* [online]. Praha: Topinfo, 2021 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/20379-porizujete-fotovoltaiku-pozor-na-povinne-upravy-elektromerovych-sloupku>
- [29] PRO VÝROBNY NN. *ČEZ distribuce* [online]. Děčín: ČEZ distribuce, c2023 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-vyrobce/formulare/pro-vyrobny-nn>
- [30] *Mapy.cz*. *Mapy.cz* [online]. Praha: Seznam.cz, 2021 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?mereni-vzdalenosti&rm=9nkndxXkWoOz6VN1LV&x=17.1267364&y=50.0466741&z=20&base=ophoto>
- [31] Photovoltaic geographical information system. European Commission [online]. Brusel: European Commission, 2022 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#api_5.2
- [32] Návratnost fotovoltaiky. *Eko česko* [online]. Praha: A 11, 2021 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://ekocesko.cz/navratnost-fotovoltaiky-kdy-vam-usetri-statisice-a-kdy-se-naopak-nevyplati/>
- [33] *HiKu5 Mono: 475 W–500 W* [online]. 2020, 1–2 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: https://d1.webseller-app.com/100146/www/www.gettrading.eu/products/1/839/files/1078_cs_490_cz-1618085008.pdf
- [34] Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací. *Tzbinfo* [online]. Praha: Topinfo, 2016 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z:

- <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseny-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>
- [35] Solární tepelné soustavy. Profesis [online]. Praha: ČKAIT, 2012 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/mp-1-6/mp-1-6-11/#7>
- [36] Větrné elektrárny – princip, rozdělení, elektrárny v ČR. Oenergetice.cz [online]. Třebíč: OM Solutions, 2015 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni>
- [37] Větrná energie. Společně udržitelně [online]. Praha: Komerční banka, 2021 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://spolecne-udrzitelne.cz/aktuality/inspirace/vetrna-energie>
- [38] Energie Větrná elektrárna pro domácnosti: Kdy dává smysl?. Srovnejto.cz [online]. Praha: srovnejto.cz, 2023 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.srovnejto.cz/blog/vetrna-elektrarna-jako-dobry-zdroj-energie-pro-domacnosti-velkym-vetrikum-nepreje-stat-ani-lide/>
- [39] Větrné a fotovoltaické elektrárny z hlediska ochrany přírody a krajiny. Z+i [online]. Praha: ČKAIT, 2019 [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <http://zpravy.ckait.cz/vydani/2019-02/vetrne-a-fotovoltaicke-elektrarny-z-hlediska-ochrany-prirody-a-krajiny/>
- [40] Ústav fyziky atmosféry AV ČR. Ústav fyziky atmosféry AV ČR [online]. Praha: ústav fyziky atmosféry AV ČR, c2009 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/>
- [41] Zákon č. 183/2006 Sb. Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). In: *Zákon pro lidi* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183>
- [42] Global Wind Atlas. Global Wind Atlas [online]. Dublin: derlinx, 2022 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://globalwindatlas.info/en>
- [43] Domácí větrná elektrárna: Instalace + přehled modelů. Nazeleno [online]. Brno: Narrative Media, 2011 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/energie/vetrna-energie/domaci-vetrna-elektrarna-instalace-prehled-modelu.aspx>
- [44] Internetová poradna i-EKIS / odpověď. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2021 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/cz/ekis/i-ekis/127890>
- [45] *Návrh systému s veternou turbínou*. Brno, 2021.
- [46] CHMEL, Ladislav a Ivo HAMERNÍK. *Fotovoltaika, fototermika*. Brno: © Code Creator, 2014. ISBN 978-80-88058-00-7.
- [47] Teplo ze slunce – zdarma do domu. Viessmann [online]. Chrástřany: Viessmann, spol. [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/solarni-systemy/trubicove-kolektory.html>
- [48] Solar Panels vs Solar Thermal. GreenMatch [online]. Market Harborough: leads, 2023 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/04/solar-panels-vs-solar-thermal>
- [49] Varianta 2: Solární systém pro ohřev TUV. *Dřevostavitel* [online]. Brno: Netion, 2022 [cit. 2023-03-24]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/fotovoltaika-vs-fototermika&p2>
- [50] Fotovoltaika a fototermika – porovnání. *Československá společnost pro sluneční energii* [online]. Praha: Československá společnost pro sluneční energii, c2010-2023 [cit. 2023-03-24]. Dostupné z: <http://www.solarnispolecnost.cz/cz/fotovoltaika-a-fototermika-porovnani>
- [51] Vitosol 200-FM, typ SV2F/SH2F, a Vitosol 200-F, typ SV2D. Viessmann [online]. Chrástřany, 2021, 1–4 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z:

- [https://www.viessmann.cz/content/dam/vi-brands/CZ/Pdf/Produkty/LTU%20Vitosol%20200-FM%20SV2F,%20SH2F%20\(05_16\).pdf/_jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/LTU%20Vitosol%20200-FM%20SV2F,%20SH2F%20\(05_16\).pdf](https://www.viessmann.cz/content/dam/vi-brands/CZ/Pdf/Produkty/LTU%20Vitosol%20200-FM%20SV2F,%20SH2F%20(05_16).pdf/_jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/LTU%20Vitosol%20200-FM%20SV2F,%20SH2F%20(05_16).pdf)
- [52] Výhody a nevýhody tepelných čerpadel. Technickyportal [online]. Praha: Business Media CZ, 2019 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/vyhody-a-nevyhody-tepelnych-cerpadel_45931.html
- [53] Hlučnost tepelných čerpadel. Abeceda tepelná čerpadla od a do z [online]. Praha: GT Energy, 2021 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/hlucnost-tepelnych-cerpadel>
- [54] Jak funguje tepelné čerpadlo země-voda. Komu se vyplatí?. Woltair [online]. Praha: woltair, 2021 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.woltair.cz/blog/tepelna-cerpadla/zeme-voda>
- [55] TNI 73 0351. *Energetické hodnocení soustavy s tepelnými čerpadly – Zjednodušený výpočtový*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 28 s.
- [56] TC MACH - Provedení tepelného čerpadla země-voda [online]. In: . Youtube, 2022 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=zrc5HcSCNT8&ab_channel=TCMACH
- [57] *Technický list: Tepelné čerpadlo vzduch/voda EcoAir 415* [online]. 2021, 1–3 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: https://www.regulus.cz/download/tech-listy/cz/tl_cz_technicky-list_ea415.pdf
- [58] *Obnovitelné zdroje energie: Tepelné čerpadlo – návrh podla normy*. Brno, 2021.
- [59] Objemová hmotnost dřeva. Drevorubec.cz [online]. Ústí nad Labem: drevorubec.cz, 1934 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.drevorubec.cz/c/22/objemova-hmotnost-dreva>
- [60] Přepočty jednotek dřeva. BSP [online]. Uherské Hradiště: BSP holding, c2010-2021 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://bspholding.cz/bukove-drevo.html>

Seznam použitých zkratk

1PP	První podzemní patro
TUV	Teplá užitková voda
1NP	První nadzemní patro
2NP	Druhé nadzemní patro
XPS	Extrudovaný polystyren
OZE	Obnovitelný zdroj energie
PVGIS	<i>Photovoltaic geographical information system</i>
FV	Fotovoltaický
FT	Fototermický
TČ	Tepelné čerpadlo
TNI	Technická normalizační informace

Seznam obrázků

Obr. 1 Třetí zóna CHKO Jeseníky [2].....	13
Obr. 2 Geomorfologie dané lokality [3]	14
Obr. 3 Zabudování stavby do svahu [4]	14
Obr. 4 Situace [5].....	15
Obr. 5 Rozložení potřeby elektrické energie v domácnosti [14].....	21
Obr. 6 Procentuální rozložení potřeby energie	22
Obr. 7 Potřeba energie domácnosti.....	22
Obr. 8 Nároky na elektřinu se spuštěným elektrokotlem během měsíců	23
Obr. 9 Výkon kotle Atmos pro pokrytí potřeb tepla na vytápění a ohřev TUV v závislosti na průměrné venkovní teplotě vzduchu.....	24
Obr. 10 Schéma zapojení fotovoltaických panelů s baterií [32].....	27
Obr. 11 Výkon FV systému se znázorněnou účinností	32
Obr. 12 Prostředí programu PVGIS [31].....	33
Obr. 13 Potřeba elektrické energie vs výroba FV systému	34
Obr. 14 Mapa vhodnosti instalace větrné turbíny v ČR [39].....	36
Obr. 15 Větrná růžice [42].....	37
Obr. 16 Rozložení rychlosti větru [42].....	37
Obr. 17 Porovnání potřeby elektrické energie s výrobou elektrické energie větrnou turbínou.....	40
Obr. 18 Potřeba tepla vs. výroba tepla fototermitickým systémem.....	43
Obr. 19 Postup výpočtu [58].....	46
Obr. 20 Potřeba elektrické energie navýšená o provoz tepelného čerpadla	48
Obr. 21 Rozložení potřeby tepla.....	49
Obr. 22 Potřeba tepla vs výroba tepla fototermitickým systémem.....	51
Obr. 23 Bilance současného použití TČ a FV systému	52

Seznam tabulek

Tab. 1	Hodnoty kotle Atmos DC 25 S [6]	16
Tab. 2	Hodnoty z normy pro určení zimní výpočtové teploty [8]	17
Tab. 3	Projekční a vypočtené hodnoty	17
Tab. 4	Průměrné teploty vzduchu v dané lokalitě [9]	18
Tab. 5	Roční potřeba energie domu	21
Tab. 6	Potřeba elektrické energie a přípravou TUV během měsíců	22
Tab. 7	Potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV během měsíců	23
Tab. 8	Výhody a nevýhody fotovoltaického systému	25
Tab. 9	Hodnoty panelu z technického listu výrobce [33]	27
Tab. 10	Střední hodnota slunečního ozáření [35]	28
Tab. 11	Účinnost fotovoltaického panelu během měsíců	29
Tab. 12	Poměrná doba slunečního svitu [35]	29
Tab. 13	Teoretická denní dávka celkového slunečního ozáření [35]	30
Tab. 14	Teoretická denní dávka difuzního slunečního ozáření [35]	30
Tab. 15	Dopadající sluneční energie v dané lokalitě	31
Tab. 16	Výkon FV systému během měsíců	32
Tab. 17	Hodnoty z programu PVGIS [31]	33
Tab. 18	Porovnání mezi vypočtenými a programem PVGIS vygenerovanými hodnotami	34
Tab. 19	Porovnání celkových nároků na elektrickou energii s výrobou FV systému	35
Tab. 20	Výhody a nevýhody větrné turbíny	35
Tab. 21	Koeficienty upravující proudění větru v určitých podmínkách [45]	38
Tab. 22	Přehled rychlostí, četností a směru větru [40]	39
Tab. 23	roční produkce elektrické energie větrnou turbínou [40]	39
Tab. 24	Výhody a nevýhody fototermického systému vůči fotovoltaice	41
Tab. 25	Známe hodnoty pro náš konkrétní fototermický panel z technického listu [51]	42
Tab. 26	Měsíční výkon FT systému	43
Tab. 27	Výhody a nevýhody konkrétních druhů tepelných čerpadel	44
Tab. 28	Hodnoty tepelného čerpadla z technického listu [57]	45
Tab. 29	Výsledky produkce tepla a spotřeby elektrické energie tepelného čerpadla	47
Tab. 30	Porovnání potřeby elektrické energie budovy na ostatní elektrická zařízení s a bez spotřeby tepelného čerpadla, produkce tepla tepelného čerpadla a zbývající potřeba tepla	48
Tab. 31	Pokrytí potřeb budovy při instalaci jednotlivých zdrojů uvažovaných v kapitole 3	52
Tab. 32	Ušetření paliva pro kotel při použití FT nebo TČ	55