

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2022

**MICHAL
ANDRONÍK**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Androník** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **483255**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav energetiky**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Energetika a procesní technika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Použití hybridního fotovoltaického kolektoru na vylepšení energetické bilance RD

Název bakalářské práce anglicky:

Family house energy balance improving - utilisation of the hybrid photovoltaic collector

Pokyny pro vypracování:

Použití hybridního fotovoltaického kolektoru na vylepšení energetické bilance rodinného domu (RD). V rámci bakalářské práce vypracujte:

1. rešerši výrobců hybridních fotovoltaických kolektorů v Evropě,
2. rešerši provozovaných systémů s hybridními fotovoltaickými kolektory na budovách RD či občanské vybavenosti,
3. optimalizaci zapojení otopné soustavy RD do tepelného okruhu hybridního FV kolektoru,
4. optimalizaci zapojení soustavy ohřevu TV RD do tepelného okruhu hybridního FV kolektoru,
5. optimalizaci zapojení elektrické soustavy RD do elektrického okruhu hybridního FV kolektoru,
6. vyberte vhodnou metodiku/numerický model pro posouzení dopadající sluneční radiace během vybraného dne v hodinovém intervalu pro podmínky ČR,
7. proveďte validaci dané metodiky pro podmínky ČR,
8. pro konkrétní objekt RD navrhnete vhodný počet hybridních kolektorů na základě technicko-ekonomické optimalizace formou předběžné studie (Feasibility study),
9. na daném objektu RD stanovte úspory tepelné a elektrické energie při běžném provozu RD za rok na základě použití dané metodiky,
10. proveďte výpočet základních ekonomických parametrů - prostá/diskontovaná doba návratnosti vložené investice, generovaný zisk za dobu životnosti zařízení, atd.
11. proveďte citlivostní analýzu pro základní ekonomické parametry,
12. závěr/doporučení, za jakých podmínek je vhodné použití hybridních fotovoltaických kolektorů v podmínkách ČR.

Seznam doporučené literatury:

Fotovoltaika, budovy jako zdroj proudu, Haselhuhn R., HEL Ostrava, 2010
Firemní literatura výrobců hybridních fotovoltaických kolektorů.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Martin Neužil, Ph.D. ústav energetiky FS

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

Datum zadání bakalářské práce: **21.04.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **03.06.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2023**

Ing. Martin Neužil, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 27.5. 2022

Michal Androník

Anotační list

Jméno autora:	Michal Androník
Název BP:	Použití hybridního fotovoltaického kolektoru na vylepšení energetické bilance RD
Anglický název:	Family house energy ballance improving – utilisation of the hybrid photovoltaic collector
Akademický rok:	2021/2022
Ústav/Odbor:	Ústav energetiky/Energetika a procesní technika
Vedoucí BP:	Ing. Martin Neužil, PhD.
Bibliografické údaje:	Počet stran: 90 Počet obrázků: 33 Počet tabulek: 44 Počet grafů: 9 Počet příloh: 28
Klíčová slova:	hybridní fotovoltaicko-termický kolektor, návratnost, sluneční radiace, energetické bilance
Keywords:	photovoltaic-thermal collector, payback period, solar radiation, energy balance
Anotace:	Tato práce se zabývá použitím hybridního fotovoltaického kolektoru na vylepšení energetické bilance rodinného domu, optimalizací zapojení otopné a elektrické soustavy RD do tepelného a elektrického okruhu hybridního fotovoltaického kolektoru.
Abstract:	This bachelor thesis deals with a family house energy ballance improving – utilisation of the hybrid photovoltaic collector to improve energy ballance of the family house, central heating water circuit optimisation according the hybrid photovoltaic collector conditions, optimisation of the electrical circuit according the hybrid photovoltaic collector conditions.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Neužilovi, Ph.D za cenné rady, připomínky a čas věnovaný mé práci. Mé veliké díky patří mé rodině, která mi byla oporou nejenom při zpracovávání bakalářské práce, ale po celou dobu studia. Jmenovitě bych rád v neposlední řadě poděkoval svojí babičce Mgr. Janě Androníkové za korekturu textu v bakalářské práci.

Obsah

I. Rešeršní část	10
1. Úvod	10
1.2 Hybridní fotovoltaicko-tepelný kolektor (FVT).....	10
1.3 Druhy FVT	11
1.3.1 Vzduchové FVT kolektory	11
1.3.2 Kapalinové FVT kolektory	11
2. Hybridní kolektor FVT-kapalina	11
2.1 Zasklený hybridní kolektor FVT-kapalina.....	12
2.2 Nezasklený hybridní kolektor FVT-kapalina	12
3. Příklady instalací ve světě.....	12
3.1 Švýcarský areál Blatten.....	12
3.2 Zasklené FVT kolektory na Ibize	13
3.3 Koncentrační kolektory v závodě na výrobu sýrů.....	13
4. Trh s hybridními kapalinovými kolektory	14
4.1 Solimpeks.....	14
4.2 Solator	15
4.3 Teszeus	15
4.4 Solar Angel.....	16
4.5 Power Panel Inc.	17
5. Trh s hybridními vzduchovými kolektory	18
5.1 Grammer Solar	18
5.2 SolarVenti	19
6. Naked energy.....	20
7. Energeticky aktivní lehký obvodový plášť – projekt UCEEB ČVUT	23
7.1 Cíle projektu	23
7.2 Patent FVT kolektoru	23
7.3 Matematický model použité technologie	23
7.4 Testovací kolektory.....	23
7.5 Testování na reálném objektu.....	24
7.6 Dosažené cíle projektu	25
8. EndeF Solar Solutions – ECOMESH 2	25
8.1 ECOMESH 2.....	25
9. Oyster Reach – Convert Energy Ltd.....	27
9.1 Oyster Reach	27
9.2 Návrh hybridních FVT kolektorů.....	27

10. Zero energy bills (ZEB)	28
11. Využití technologie	29
11.1 Nízkoenergetické/pasivní/nulové domy	29
11.2 Integrace do obálky domu.....	29
11.3 Budovy s omezenou plochou střechy.....	29
12. Ohřev TV s použitím hybridních FVT kolektorů.....	30
13. Vytápění rodinného domku s použitím hybridních FVT kolektorů.....	33
II. Studie proveditelnosti projektu.....	34
14. Úvod do praktické části bakalářské práce	34
15. Rodinný dům	34
15.1. Tepelné ztráty v přechodných obdobích.....	35
15.2 Návrh zásobníkových ohřivačů.....	36
15.2.1 Hodinová spotřeba teplé vody	37
15. 3 Automatický kotel na pelety.....	43
15.4 Návrh hybridních fotovoltaicko-termických kolektorů	43
15.5 Bilancování elektrického a tepelného výkonu hybridní kolektorů.....	45
15.5.1 Bilancování elektrického a tepelného výkonu FVT kolektorů v přechodných obdobích	46
Březen.....	46
Validace výpočtů	49
15.5.2 Bilancování elektrického a tepelného výkonu hybridních kolektorů v létě a zimě.....	54
15.6 Výpočet energetických přebytků a nedostatků.....	56
15.7 Řešení energetických přebytků	57
15.8 Ekonomika projektu	60
15.8.1 Roční úspory energií.....	60
Elektrická energie	60
Tepelná energie – ohřev TV.....	61
15.8.2 Počáteční investice	62
15.8.3 Prostá návratnost investice	62
15.8.4 Diskontovaná návratnost investice	62
15.8.5 Finanční zisk z projektu	63
15.8.6 Citlivostní analýza	64
16. Závěr.....	65
Zdroje	66
Seznam příloh.....	69
Přílohy.....	70

Seznam symbolů a zkratek

Symbols

t	teplota	[°C]
E _v	tepelná energie	[Wh]
E _e	tepelná energie	[Wh]
S	plocha	[m ²]
V	objem	[m ³]
P	výkon	[W]
η	účinnost	[%]
m	hmotnost	[kg]
Q, q	objemový tok	[m ³ /h]
ṁ	hmotnostní tok	[kg/h]
p	tlak	[bar]
Q _z	tepelná ztráta	[W]
ρ	hustota	[kg/m ³]
c	měrná tepelná kapacita	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
Q	teplo	[J]
G _{zář}	dopadající sluneční záření	[W/m ²]

Zkratky

FVE	fotovoltaická elektrárna
FV	fotovoltaický
FVT	fotovoltaicko-termický
RD	rodinný dům
ČSN	Česká technická norma (Česká soustava norem)
TV	teplá voda
IN	investiční náklady
CF	roční úspora nákladů
T _s	doba návratnosti
SH	současná hodnota
BH	budoucí hodnota
i	diskontní faktor

I. Rešeršní část

1. Úvod

Při snaze o minimální energetickou závislost na vnějších zdrojích se dnes stále častěji mluví o využití solární energie pro rodinné domy. Majitelé rodinných domů sahají po solárních panelech a kolektorech. S rostoucí cenou za dodávku elektrické i tepelné energie se v dnešní době solární systémy vyplatí víc než dřív, protože se značně snižuje návratnost vstupní investice. Tím, jak v dnešní době roste poptávka, se i samotná technologie vyvíjí kupředu. Tento technologický růst přináší nové objevy daného oboru. Za zmínku určitě stojí i tzv. fotovoltaické tašky, jejichž úkolem je plnit stejné požadavky, které jsou kladeny na klasické fotovoltaické panely, aniž by kazily vzhled budovy. Avšak tématem této práce je jiná novodobá technologie, **hybridní fotovoltaicko-termické kolektory**. Tato zařízení kombinují technologii termických kolektorů i fotovoltaických panelů. V této práci jsem se zaměřil právě na hybridní FVT (fotovoltaicko-termické) systémy. [1]

Ve druhé části své bakalářské práce se budu zabývat možností realizace hybridního fotovoltaicko-termického systému pro rodinný dům (RD). Tato praktická část bude mít za cíl prověřit technickou a ekonomickou možnost využití zvolené technologie. Praktická část zastupuje v praxi prováděnou studii proveditelnosti, a tudíž nemá za cíl suplovat detailní realizační projekt.

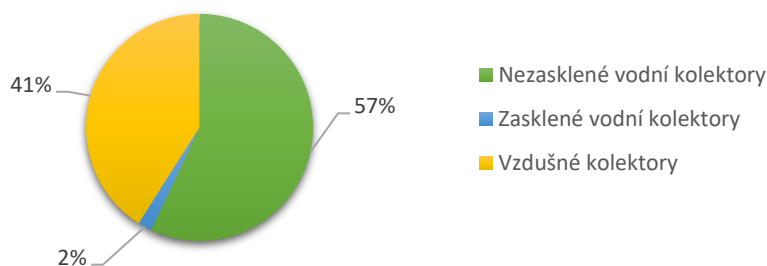
1.2 Hybridní fotovoltaicko-tepelný kolektor (FVT)

Toto zařízení je schopno kombinovat výrobu elektrické energie a tepla ze slunečního záření. Klasické FV panely fungují také jako pohlcovače tepla, a proto je zajímavé uvažovat o odvodu a využití tohoto tepla u FVT panelů. Odvodem tepla nejen že získáváme energii, kterou dále můžeme využít, ale zároveň dochází k ochlazení panelu samotného. V důsledku toho můžeme zvýšit výkon panelů při výrobě elektrické energie dokonce i v letních měsících, kdy se panely běžně zahřívají až na 60°C. Takové zvýšení teploty může u klasických FV panelů snížit výkon až o 20 %. [1, 2]

V dnešní době už je poměrně častá instalace domácích FVE na rodinné domy, ale FVT systémy nacházejí svůj cílový sektor spíše u administrativních budov a pasivních domů. Ve světě je obor FVT kolektorů teprve v plenkách, ale rychle se rozrůstá a dostává do povědomí laické veřejnosti. Je to dáno také tím, že většina států Evropské unie nabízí výhodné dotační programy. V České republice jsou předmětem dotačních programů pouze fotovoltaické a fototermitické instalace.

Na grafu 1.2 můžeme vidět procentuální rozložení doposud instalovaných FVT kolektorů podle druhu. V současné době jsou nejvíce populární nezasklené vodní FVT kolektory, a to právě díky větší tepelné kapacitě vody atd. Evropským lídrem v instalované ploše je Francie s plochou 442 504 m², druhé je pak Německo s plochou 109 380 m². Značnou část trhu představují také vzduchové FVT kolektory. Tento typ FVT kolektorů se instaluje ve velké míře například ve Francii, kde je specificky nastavený dotační systém. [2, 3]

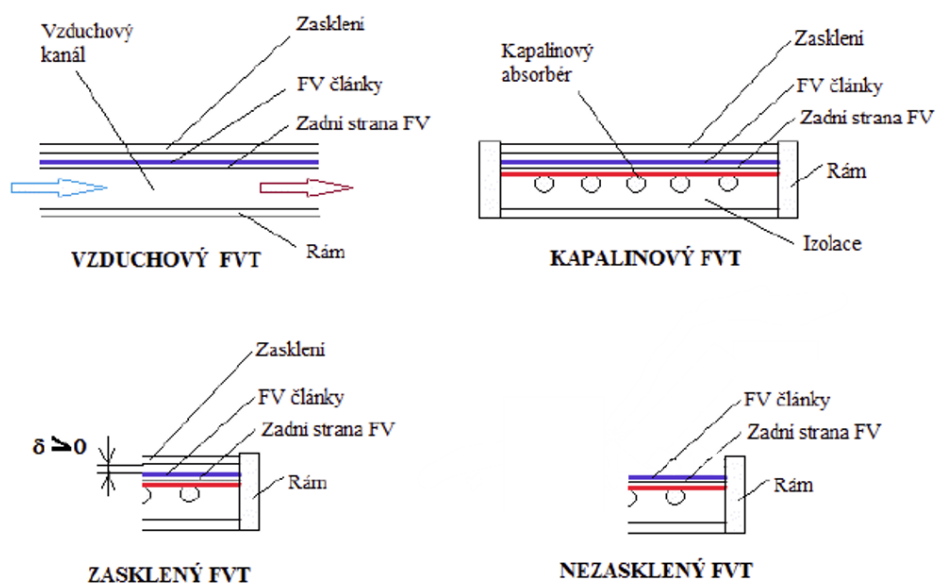
Instalovaná plocha hybridních kolektorů podle typu



Obrázek 1.2 Instalované FVT kolektory podle typu [2]

1.3 Druhy FVT

Dělení FVT panelů je mnoho (různé druhy stavebních konstrukcí), ale nejčastější dělení je na vzduchové a kapalinové kolektory.



Obrázek 1.3 Druhy hybridních FVT kolektorů [1]

1.3.1 Vzduchové FVT kolektory

Konstrukčně jednodušší variantou jsou vzduchové FVT panely. Teplonosným médiem je vzduch, který odvádí přebytečné teplo z fotovoltaických modulů. Vzduch může proudit panelem nuceně nebo přirozeně. Nucené proudění má lepší schopnost chlazení než je tomu u přirozeného chlazení. U nuceného chlazení je ale potřeba velkých průtoků vzduchu, protože vzduch má sám o sobě nízkou tepelnou kapacitu. Proto je zapotřebí dimenzovat větší průměry rozvodného potrubí (žebrování). Vzduchové FVT panely nacházejí své uplatnění v soustavách teplovzdušného vytápění budov nebo v kooperaci s tepelnými čerpadly. [2]

1.3.2 Kapalinové FVT kolektory

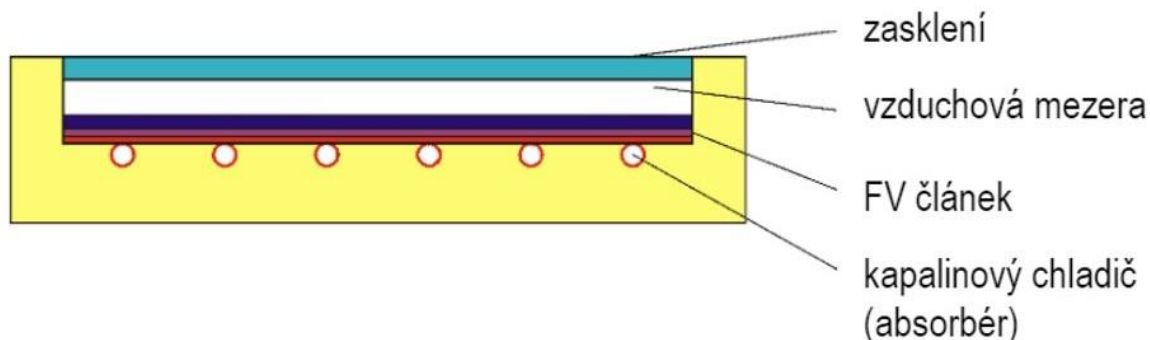
V tomto případě je teplonosná látka kapalina, většinou se jedná o nějaký druh nemrznoucí směsi. Tato směs proudí trubkami nebo žebrováním absorbéru. Opět zde existuje oběh (resp. chlazení) nucený a přirozený. U kapalinových FVT je důležité dobře elektricky izolovat fotovoltaickou část od tepelného absorbéru a hlavně mezi nimi zajistit co možná nejlepší tepelný kontakt. Tento druh FVT kolektorů je nevhodnější pro celoroční ohřev vody nebo opět v součinnosti s tepelným čerpadlem. Snadno se integruje do budov. [2]

2. Hybridní kolektor FVT-kapalina

Kapalinové FVT kolektory se vyrábějí ve dvou variantách: zasklené a nezasklené. Nejčastější instalací jsou v dnešní době nezasklené vodní FVT kolektory. To je dáno především tím, že zasklené FVT kolektory mají teplotní omezení stejně jako běžné fotovoltaické panely v podobě teplotní odolnosti laminace, která se pohybuje okolo 90 °C. [2]

2.1 Zasklený hybridní kolektor FVT-kapalina

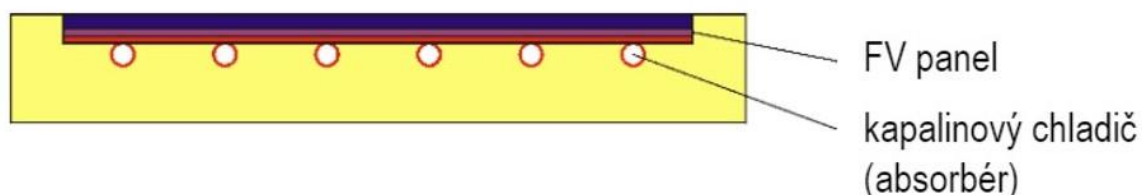
To, že existují dvě varianty kapalinových hybridních FVT kolektorů, má svůj důvod. Zasklená varianta je jasnou volbou, pokud chceme z kolektoru využít více tepelné energie. Zároveň se jedná o technologii, která je schopná pracovat spolehlivě i při vyšších teplotách. Logickým negativem tohoto typu kolektoru je nízká produkce elektrické energie. [4]



Obrázek 2.1 Zasklená varianta hybridního FVT kolektoru [3]

2.2 Nezasklený hybridní kolektor FVT-kapalina

Nezasklená varianta je samozřejmě opakem zasklené, a to i v možnostech využití. Nezasklená varianta je zaměřena víc na výrobu elektrické energie než tepla. Pracovní teplota je logicky nižší než u předchozího druhu. Využívá se pro primární okruhy tepelných čerpadel (0-10 °C), předehřev studené vody (10-20 °C celoročně), ohřev bazénové vody (25-30 °C) a podlahové vytápění (do 20 °C). [3, 4]



Obrázek 2.2 Nezasklená varianta hybridního FVT kolektoru [3]

3. Příklady instalací ve světě

Aby tato práce nebyla jen v teoretické rovině, rozhodl jsem se zde připomenout tři instalace ve světě, kde hybridní FVT byla chytrým a výhodným řešením.

3.1 Švýcarský areál Blatten

Zajímavou aplikací nezasklených kapalinových FVT kolektorů je rozhodně prázdninový areál Blatten ve Švýcarsku (viz obr. 4), kde je instalováno 672 m² (102,3 kWp) hybridních kolektorů na střeše sedmi bytových domů. Teplo z kolektorů je převážně využito pro regeneraci vrtů tepelného čerpadla země-voda. Nicméně je v této aplikaci možné zužitkovat teplo z kolektorů i přímo na výparníku tepelného čerpadla či v nízkoteplotním akumulacním zásobníku. Za rok 2016 kolektory vyprodukovaly 400 kWh/(m²·rok) tepla a 130 kWh/(m²·rok) elektrické energie. [3]



Obrázek 3.1 Švýcarský areál Blatten [2]

3.2 Zasklené FVT kolektory na Ibize

Zasklené kolektory nejsou ve světě tolik populární, ale například v tomto hotelu na Ibize je instalováno 90 zasklených hybridních FVT kolektorů s celkovou plochou 147,6 m². Teplo z hybridních kolektorů je zde využito pro přípravu teplé vody. V roce 2017 hybridní kolektory vyprodukovaly 112,8 MWh tepla a 34,6 MWh elektrické energie. Solární pokrytí potřeby tepla na přípravu teplé vody bylo 23,5 % a veškerá vyprodukovaná elektrická energie byla spotřebována přímo v místě. [3]



Obrázek 3.2 Zasklené kolektory v hotelu na Ibize na rovné střeše [2]

3.3 Koncentrační kolektory v závodě na výrobu sýrů

Tento druh kolektorů je ještě méně častý než zasklené kapalinové FVT, ale přesto stojí za zmínku. Jedná se o instalaci 88 hybridních koncentračních kolektorů v Holandsku pro dodávku tepla a elektřiny pro závod na výrobu sýru o instalovaném tepelném výkonu 110 kWp a špičkovém elektrickém výkonu 22 kWp. Teplo je využito pro předehřev zásobníku o objemu 8 000 l, který se nahřívá na 30 °C v zimě a na 75 °C během léta. V roce 2018 kolektory dodaly 450 MWh tepla a 15 MWh elektrické energie. [3]



Obrázek 3.3 Koncentrační FVT kolektory v Holandsku [2]

Tabulka 3.4 Tabulka příkladů instalací FVT [2]

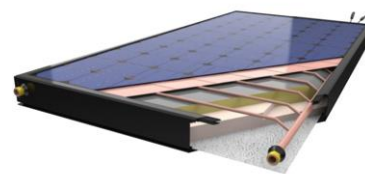
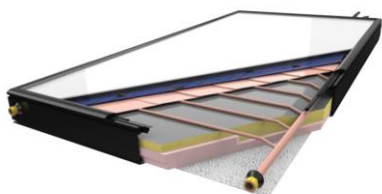
Instalace	Měrný výkon [Wp/m ²]	El. energie za rok [MWh/rok]	Teplo za rok [MWh/rok]
Švýcarsko	152,23	87,36	268,8
Ibiza	-	34,6	112,8
Holandsko	-	15	450

4. Trh s hybridními kapalinovými kolektory

Trh s hybridními kapalinovými FVT kolektory je teprve na začátku a není zdaleka tak rozvinutý jako trh s klasickými kolektory či panely. Avšak i přesto existují velké celosvětově známé firmy, které s příchodem této technologie pouze rozšířily oblast svého podnikání.

4.1 Solimpeks

Jedna z takových firem je turecká společnost Solimpeks sídlící mimo jiné v Německu a Španělsku. Solimpeks je jedním z 5 největších evropských výrobců solární energie. Nabízí dva druhy hybridních fotovoltaických kolektorů – Volther Powervolt a Volther Powertherm. Oba produkty jsou zasklené kolektory s tou výjimkou, jak názvy napovídají, že jeden je zaměřený na výrobu tepla a druhý na výrobu elektrické energie. [5]



Obrázek 4.1 Volther Powervolt [5]

Obrázek 4.1.1 Volther Powertherm [5]

Tabulka 4.1 Porovnání Volther Powervolt a Volther Powertherm [5]

Parametry	Volther Powervolt	Parametry	Volther Powertherm
Rozměry	828x1 601x90 mm	Rozměry	870x1 640x105 mm
Hmotnost	24,4 kg	Hmotnost	34,4 kg
Absorpční plocha	1 194 mm ²	Absorpční plocha	1 270 mm ²
Objem kapaliny	1,21 l	Objem kapaliny	1,21 l
Panel	Monokrystalický	Panel	Monokrystalický
Potrubí	měď	Potrubí	Měď
Elektrická účinnost	15,08 %	Elektrická účinnost	12,9 %
Produktivita do 20 let	80 %	Produktivita do 20 let	80 %
Tepelný výkon	630 W	Tepelný výkon	680 W
Nominální el. výkon	200 W	Nominální el. výkon	180 W
Maximální teplota	101 °C	Maximální teplota	134 °C

Na první pohled z Tab. 4.1 je vidět rozdíl mezi panelem specializovaným na výrobu tepla nebo elektrické energie, přičemž zajímavé je, že obě varianty jsou zasklené kolektory. Zároveň jsou zde i velké rozdíly ve velikosti a hmotnosti. Obě tyto technologie jsou velice výhodné a doporučované na internetu, dokonce několik distributorů tvrdí, že instalace systému s těmito panely vyjde o 20 %

levněji než instalace klasického FVE systému. Je tedy na úvaze zákazníka, jestli se mu vyplatí FVT nebo klasické kolektory a panely. Ale pokud máme například omezenou plochu střechy, tak je podle mého názoru volba jasná – FVT. [5]

4.2 Solator

Tato rakouská firma nemá tak široké pole působnosti jako předchozí, ale i přesto stojí za zmínku, kvůli lepším parametrům své technologie. Solator PV+therm onroof je opět kapalinový zasklený hybridní kolektor. [6]



Obrázek 4.2.1 PV+THERM ONROOF [6]

Tabulka 4.2 Solator PV+therm [6]

Parametry	PV+therm
Rozměry	1 650x992x35 mm
Hmotnost	30 kg
Absorpční plocha	1 620 mm ²
Objem kapaliny	1,54 l
Panel	Monokrystalický
Potrubí	Měď
Elektrická účinnost	18,3 %
Tepelný výkon	700 W
Nominální el. výkon	140 W
Maximální teplota	90 °C

Tento panel má několik nevýhod. Má nízkou pracovní teplotu, vyšší hmotnost, malý elektrický výkon a navíc tato firma nemá dodavatele v ČR. Jeho výhodou však může být vysoká elektrická účinnost a velký tepelný výkon. [6]

4.3 Teszeus

Firma TES Group of companies je firma specializující se na solární energetiku sídlící v Číně. I tato společnost se rozhodla rozšířit svůj sortiment o hybridní FVT kolektory, a tak přišla na trh s TESZeus PV-T 250 W. [7]

Tabulka 4.3 TESZeus [7]

Parametry	TESZeus PV-T 250 W
Rozměry	1 600x1 056x36,5 mm
Hmotnost	27,5 kg
Absorpční plocha	1,15 m ²
Objem kapaliny	1,6 l
Panel	Monokrystalický
Potrubí	měď
Elektrická účinnost	17,36 %
Tepelný výkon	651 W
Nominální el. výkon	250 W
Maximální teplota	85 °C



Obrázek 4.3.1 TESZeus [7]

Tento panel má určitě velkou výhodu díky vysokému elektrickému výkonu. Opět se zde setkáváme s nízkou pracovní teplotou, takže se tento panel určitě nehodí do klimaticky teplejších zemí.

4.4 Solar Angel

Firma původem z Velké Británie nabízí na trhu hybridní kapalinový FVT kolektor, který produkuje čtyřikrát více energie než klasický kolektor a může se pyšnit i poměrně dlouhou životností bez ztrát na účinnosti (25 let). [8]

Tabulka 4.4 Solar Angel DG-01 [8]

Parametry	Solar Angel DG-01
Rozměry	1 630x986x35 mm
Hmotnost	25 kg
Absorpční plocha	1 501 mm ²
Objem kapaliny	0,86 l
Panel	Polykrystalický
Elektrická účinnost	16 %
Nominální tepelný výkon	650 Wp
Nominální el. výkon	245 Wp
Maximální teplota	85 °C



Obrázek 4.4 Solar Angel DG-01 [8]

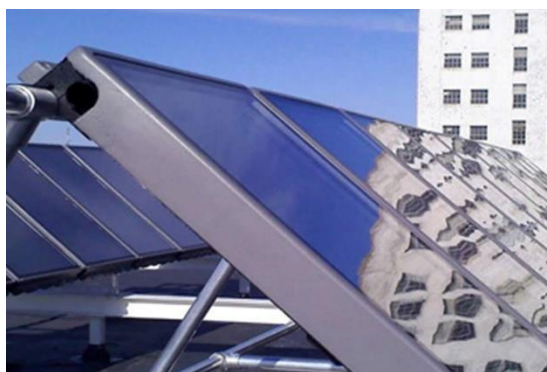
Model jsem vybral z toho důvodu, že se jedná o zatím zde jediný polykrystalický panel. Jeho výhodou je, že pobírá sluneční záření z více úhlů než monokrystalický a je více účinný při oblačné obloze. Na druhou stranu má menší účinnost při kolmém dopadu paprsků, než kdyby se jednalo o monokrystal.

4.5 Power Panel Inc.

Poslední zástupce kapalinových hybridních kolektorů pochází od americké firmy Power Panel. [9]

Tabulka 4.5 Power panel PVT1 [9]

Parametry	PVT1
Rozměry	1 294 x 685 x 111 mm
Hmotnost	18,14 kg
Absorpční plocha	-
Objem kapaliny	2 l
Panel	Monokrystalický
Potrubí	-
Elektrická účinnost	18,73 %
Nominální tepelný výkon	848 Wp
Nominální el. výkon	-



Obrázek 4.5 Power Panel PVT1 [9]

Nalézt vhodného zástupce amerického trhu s FVT kolektory není úplně snadné. Obnovitelné zdroje v zámoří nejsou totiž tak populární jako například v Evropě. Pokud pomineme to, že Evropa je v investicích, vývoji těchto technologií a v dotačních programech, mnohem dál než USA, tak dalším problémem může dozajista být i politika posledních let pevně spjatá s bývalým prezidentem Donaldem Trumpem, který byl velice odmítavý k obnovitelným zdrojům, a naopak prosazoval

nerostné suroviny jako zdroje energie. I přes nepřízeň vlády patří americký trh s energií z obnovitelných zdrojů mezi rychle se rozvíjející.

V odvětví solární energetiky v USA je důležité i zmínit firmu TESLA, kterou vlastní podnikatel a vizionář Elon Musk. Tato firma sice vyrábí i klasické FV panely, ale unikátem firmy je výroba fotovoltaických tašek. To znamená, že elektrickou energii nevyrábí pouze několik panelů, ale rovnou celá střecha. Jedna střešní solární taška má rozměr 114,3 cm na délku a 38,1 cm na šířku. Tesla uvádí, že jejich tašky vydrží krupobití s kroupami o průměru 4,5 cm, ochrana proti větru je pak dimenzovaná na rychlost kolem 209 km/h. U požárního zabezpečení se pak solární střešní taška pyšní ochranou Class A UL 790, což je nejlepší, které lze dosáhnout. Z hlediska energetické efektivity je cílem Tesly dosažení hodnoty maximálně o 10 % nižší než v případě klasických solárních panelů. Výrazně nižší účinnost je podle Muska kompenzována tím, že taškami se solárními články lze pokrýt klidně i celou střechu, a tím pádem je výkon omezen pouze maximální využitelnou plochou střechy. Na solární tašku poskytuje Tesla záruku 25 let. [10]

5. Trh s hybridními vzduchovými kolektory

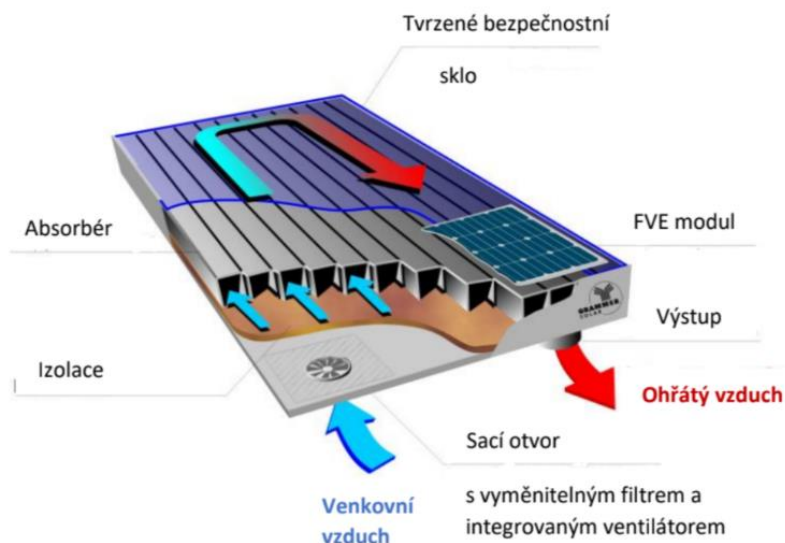
Tento trh je, stejně jako předchozí, velice mladý a bude ještě dlouho trvat, než se vyrovná trhu s klasickými fotovoltaickými systémy (jestli vůbec). I přesto existuje několik důležitých výrobců, které je potřeba zmínit.

5.1 Grammer Solar

vyrábí a prodává celé instalace pro vytápění z FVT kolektorů. Grammer Solar není příliš velká společnost. Její cílová skupina jsou spíše zákazníci z Německa a maximálně střední Evropy. Jedním z jejich produktů je TWINSOLAR compact 2.0. Elektrická energie, kterou panel vyrobí, je spotřebována na pohon ventilátoru, kterým odchází teplý vzduch dále do rozvodů. [11]

Tabulka 5.1 TWINSOLAR compact 2.0 [11]

Parametry	TWINSOLAR compact
Rozměry	2x1 m
Hmotnost	47 kg
Absorpční plocha	1,8 m ²
Teplota vzduchu max	35 °C
Maximální tepelný výkon	1,4 kWp
Výkon ventilátoru	18 W



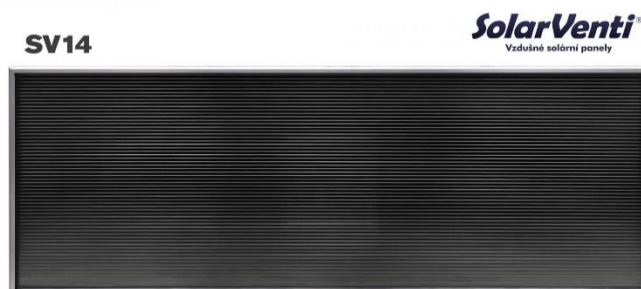
Obrázek 5.1 TWINSOLAR compact 2.0 [11]

5.2 SolarVenti

je český distributor, který se zaměřuje pouze na distribuci teplovzdušných panelů od dánské firmy AIDT Miljø. Opět se jedná o technologii, kde je hlavním produktem teplo a elektrická energie získaná z FV článku zde slouží k pohonu ventilátoru. Ventilátor pak rozvádí teplý vzduch pomocí rozvodů do budovy. Nejprodávanějším modelem této firmy je SolarVenti – SV14 A SlimLine. Výkon panelu je schopen pokrýt místnost o rozměru až 80 m². [12]

Tabulka 5.2 SolarVenti – SV14 A SlimLine [12]

Parametry	SolarVenti – SV14 A SlimLine
Rozměry	197,4 x 70,4 x 5,5 cm
Hmotnost	14 kg
Teplota vzduchu max	25-35 °C
Maximální tepelný výkon	1 000 W
Výkon ventilátoru	3,4 W
Solární článek	12 W
Průtokový objem panelu	40-110 m ³ /hod



Obrázek 5.2 Teplovzdušný solární panel SolarVenti – SV14 A SlimLine [12]

Tuto firmu jsem zde zařadil především proto, že se jedná o českého výrobce a reference na tuto společnost jsou převážně kladné.

6. Naked energy

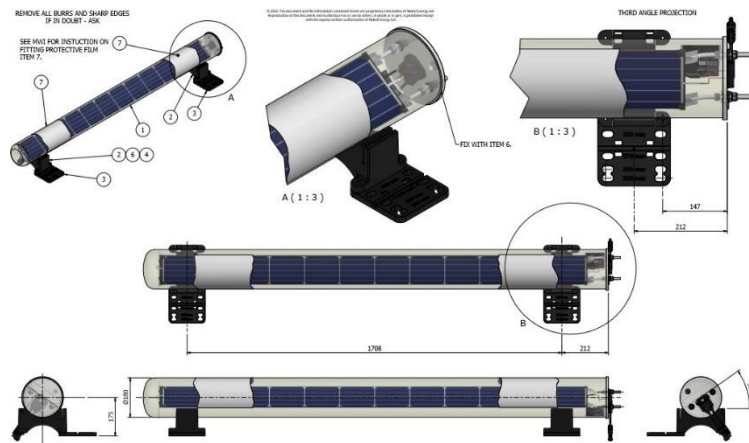
Při analýze trhu technologie s hybridními kolektory jsem narazil na jednu z nejnovějších technologií, kterou vymyslela firma Naked energy. Tato technologie je natolik zajímavá, že jsem se rozhodl pro ni vyčlenit samostatnou kapitolu. Naked energy je malá firma s přibližně 50 zaměstnanci, která sídlí ve městě Crawley (West Sussex) ve Velké Británii. Podle informací firma čeká na příchod větších investic, aby mohla expandovat a pouštět se tak i do rezidenčních projektů. Naked energy přišla doteď se dvěma produkty: VirtuPVT (solar heat and power) a VirtuHOT (high-density solar heat). VirtuPVT mě bude zajímat více, protože se jedná o hybridní FVT kolektor, ale i VirtuHOT má zajímavé parametry, ačkoli se jedná o solární kolektor. [13, 14]

Tabulka 6 VirtuPVT parametry [13]

Parametry jednoho válce	VirtuPVT
Rozměry	Šířka – 320 mm Délka – 2 260 mm Výška – 255 mm
Hmotnost	16 kg
Zatížení střechy	19 kg/m ²
Panel	Monokrystalický
Reflektor	Hliník
Tepelný výkon	275 Wp
Elektrický výkon	70 Wp
Maximální teplota	80 °C

Na první pohled je vidět, že parametry jsou opravdu nadstandartní. Naked Energy zatím sází na osvědčené instalace na rovině střechy, což je vzhledem k rozměrům a tvaru, pravděpodobně nejlepší. Zároveň se firma chystá do budoucna instalovat VirtuPVT i na šikmé střechy. V tuto chvíli je firma limitována pouze svojí velikostí a nedostatkem financí, protože jejich technologie je prakticky hotová a v mnoha ohledech je lepší než u konkurence. Zajímavé je, že konstrukce absorpčních válců umožňuje i optimální instalaci na fasádu domu. Právě konstrukce je hlavní předností této hybridní fotovoltaiky, protože z relativně malé plochy získáme hodně energie. [13]

Uvnitř válců je vakuum, které funguje jako dokonalá izolace, kvůli které je pod panelem vyšší teplota. Díky této technologii je možné tyto kapalinové hybridní kolektory využívat i v chladnějších prostředích. Specifický design těchto panelů elegantně řeší jeden z problémů klasických FT/FV/FVT panelů a tím je vzájemné zastínění jednotlivých panelů při instalacích na rovině střechy. Tento problém je výborně vyřešený u VirtuPVT instalací, neboť výška jednotlivých válců je pouze 25 centimetrů a samotné panely uvnitř válců už mají požadovaný úhel sklonu. Další technickou zajímavostí je odrazeč dopadajícího slunečního záření, který v denní době odráží sluneční záření na plochu panelu a vytváří koncentrované sluneční záření, což zvyšuje plošný výkon kolektoru o 40 % (viz obr. 6.3). Tyto hliníkové reflektory se umísťují mezi jednotlivé řady válců. Podle výrobce je další důležitou výhodou oproti konkurenci (klasické panely) snadná a rychlá instalace. I získané teplo má velice dobré hodnoty. Pomocí VirtuPVT jsme schopni získat vodu o teplotě přibližně 60 stupňů Celsia. [13]



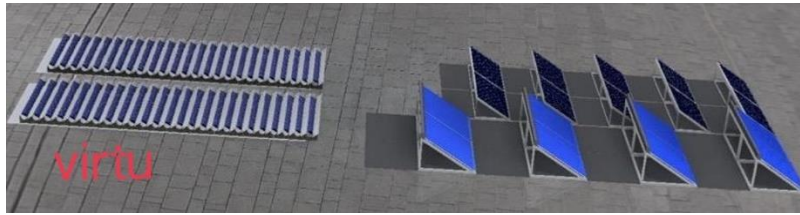
Obrázek 6 Konstrukce VirtuPVT [13]



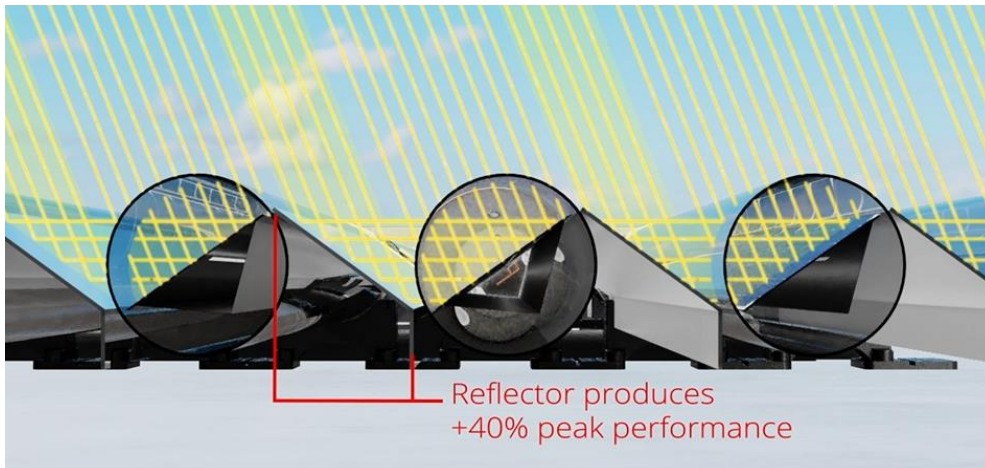
Obrázek 6.1 Instalace na fasádu [13]



Obrázek 6.2 Instalace VirtuPVT se zásobníkem vody [13]



Obrázek 6.3 Instalace VirtuPVT na rovinnou střechu v porovnání s klasickými panely [13]



Reflector produces
+40% peak performance

Obrázek 6.4 Odražeč do panelu [13]

7. Energeticky aktivní lehký obvodový plášť – projekt UCEEB ČVUT

V České republice se také objevují první projekty, výzkumy a instalace FVT systémů. Za jedním z takových projektů stojí naše univerzita, respektive Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT v Praze (UCEEB). Projekt „Energeticky aktivní lehký obvodový plášť“ byl realizován od roku 2015 do roku 2017 a vedl jej doc. Ing. Tomáš Matuška Ph.D. z Ústavu techniky prostředí. Projekt byl veden ve spolupráci s firmou Skanska a.s., Oblast LOP (lehké obvodové pláště), která disponuje moderními technologickými řešeními fasádních prvků a ve svém oboru má bohaté zkušenosti s návrhem, výrobou a realizací modulových fasád v České republice i zahraničí. [15]

7.1 Cíle projektu

Cílem řešení projektu „Energeticky aktivní lehký obvodový plášť“ bylo vyvinout, otestovat, certifikovat a připravit pro sériovou výrobu dva inovativní prvky energeticky aktivního lehkého obvodového pláště budov. Fasádní modul LOP (lehký obvodový plášť) s hybridním kapalinovým fotovoltaicko-termickým kolektorem je určen pro místní kombinovanou produkci energie (elektřina, teplo, chlad). Fasádní modul LOP s opticky selektivním odrazným rastroem, slouží k odrazu přímého slunečního záření v letních měsících a naopak v zimních měsících slouží k difúznímu osvětlení interiéru a pasivním solárním ziskům. Tato instalace si dávala za cíl celkově snížit spotřebu elektrické energie na osvětlení a zároveň snížit spotřebu energie na vytápění a chlazení modelového objektu. [15]

7.2 Patent FVT kolektoru

Po analýze modulových systémů a po prvních návrzích fasádních modulů byly navrženy první prototypy hybridních FVT kolektorů. Nosným prvkem vytvořeného kolektoru je hermetizované dvojsklo. Na dvojsklo je natmelen absorbér pomocí transparentního polysiloxanového gelu, ve kterém jsou zalaty vzájemně propojené fotovoltaické články („Prefabrikovaný nerozebíratelný fasádní modul lehkého obvodového pláště budovy s integrovaným solárním fotovoltaicko-tepelným kolektorem“). Tento typ skladby FVT kolektoru byl podán na Úřad průmyslového vlastnictví (ÚPV), kde prošel zkoumáním, a byl technicky shledán nezávadným a 22.2 2016 byl přijat a zveřejněn. [15]

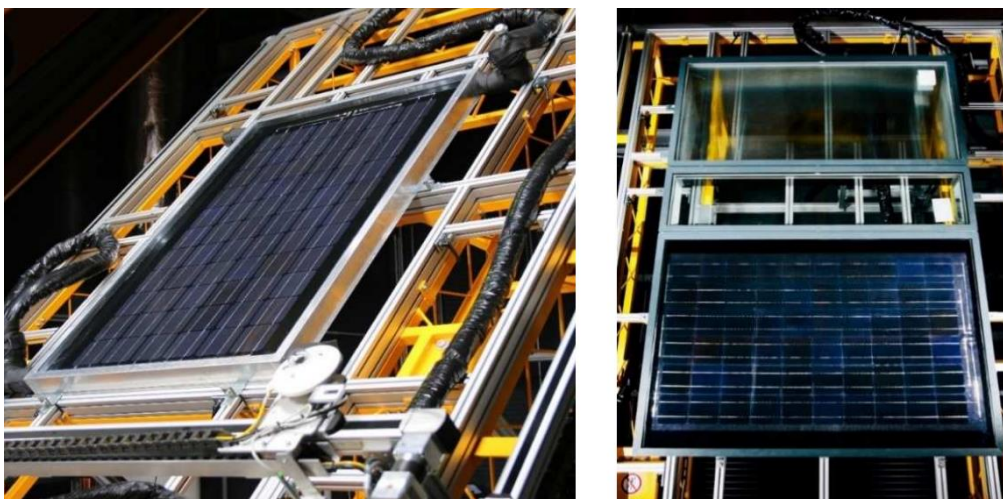
7.3 Matematický model použité technologie

Pro vývoj těchto kolektorů bylo použito teoretické modelování v simulačním prostředí TRNSYS, které se primárně používá v oblasti obnovitelných zdrojů energie a simulace budov pro pasivní i aktivní solární návrh. Matematický model byl použit pro simulační studii ukazující energetickou efektivitu nasazení hybridního FVT kolektoru. Simulační studie pak byla provedena pro řešení fasády s integrovaným hybridním FVT kolektorem pro konkrétní budovu. Na základě modelové studie bylo zjištěno, že řešení s hybridním FVT kolektorem dosahuje o 35 % vyšší produkci tepla na přípravu teplé vody a o 39 % vyšší produkci elektrické energie než konvenční kombinace fotovoltaických a fototermtických solárních kolektorů při stejné použité ploše fasády domu. [15]

7.4 Testovací kolektory

Testování hybridního FVT kolektoru pro účely zjištění výkonových charakteristik bylo provedeno na dvou odlišných provedeních FVT kolektoru. Testovány byly:

- vzorek samostatného hybridního FVT kolektoru (FV/T DG008) s rozměry 1000 mm × 1600 mm, zarámovaný a zaizolovaný v hliníkovém rámu jako standardní verze FVT kolektoru (viz obr. 7.4 vlevo),
- funkční vzorek (1463 x 1000 mm) integrovaný do konstrukce modulu LOP (viz obr. 7.4 vpravo).



Obrázek 7.4 Testované vzorky hybridních FVT kolektorů (test s umělým slunečním zářením) [15]

Pomocí testování s umělým světlem byly zjištěny výkonové parametry jako například maximální špičkový elektrický výkon FVT kolektoru integrovaného do LOP je 132 Wp. Během zkoušek nebyla zaznamenána žádná vada ve spolehlivosti FVT kolektoru, ani při stagnačních podmínkách (160 °C). [15]

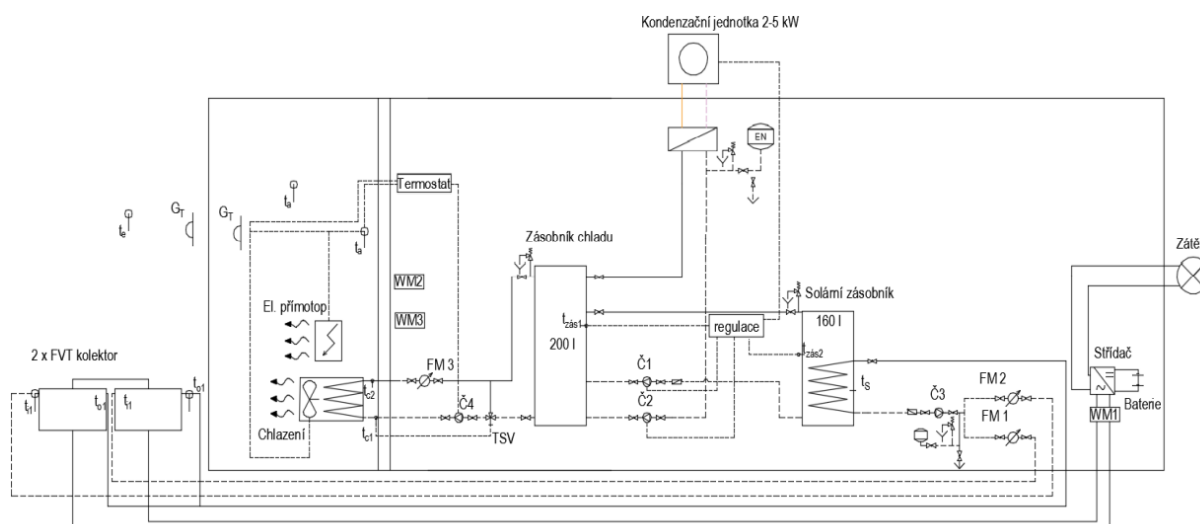
7.5 Testování na reálném objektu

Testovací objekt je stavební buňka (6 × 3 × 2,5 m) umístěná v areálu UCEEB v Buštěhradě, která je vybavena požadovaným energetickým systémem a systémem pro monitoring energetických parametrů modulů LOP a vnitřního prostředí v buňce. [15]



Obrázek 7.5 Testovací objekt v Buštěhradě [15]

Dva FVT kolektory jsou zapojeny do série na měnič Axpert MKS 24V 2400W Plus se sledovačem bodu maximálního výkonu. Elektrická energie je ukládána do bateriového systému baterií Varta LFD 140 12V. Systém se dále skládá ze zásobníku TV, kondenzační jednotky, zásobníku chladu, elektrického přímotopu a chlazení (viz. Obr. 7.5.1). [15]



Obrázek 7.5.1 Schéma zapojení FVT kolektorů v modelovém objektu [15]

7.6 Dosažené cíle projektu

UCEEB ČVUT ve spolupráci se společností SKANSKA dokázal vyvinout prvky pro aktivní lehký obvodový plášť budov, které byly testovány nejdříve samostatně a poté integrovány do konstrukce LOP v rámci realizace prototypu. UCEEB ČVUT prohloubil znalosti v oblasti optických rastrů a jejich použití ve fasádních systémech a dopracoval technologické řešení sendvičové konstrukce hybridního FVT kolektoru, které může nabízet zájemcům o jeho výrobu. [15]

8. EndeF Solar Solutions – ECOMESH 2

V této práci jsem se rozhodl uvést také příklady instalací FVT kolektorů pro rodinný domek ze zahraničí. Zároveň jsem se snažil nalézt takové projekty, které by se výrazně nelišily účelem, ale zato by se od sebe lišily v lokalitě, a tudíž i v klimatických podmínkách. Takové požadavky splňuje projekt s názvem „ECOMECH 2“. Jedná se o projekt, za kterým stála společnost EndeF Solar Solutions. Tato firma původem ze Španělska byla založena roku 2012 a zaměřuje se na vývoj a inovaci solárních systémů. EndeF v současné době nabízí dva druhy hybridních FVT kolektorů. Ecomesh je typ panelu, který se hodí pro vyšší tepelné nároky a nabízí vyšší výkon v chladném klimatu. Druhý typ panelu je Ekovolt, který má vyšší elektrickou produkci a dosahuje vyššího výkonu v horkém klimatu. Firma dokonce oznámila vývoj svého třetího panelu s názvem Ecoair, který by měl své využití najít u pasivních budov. [16]

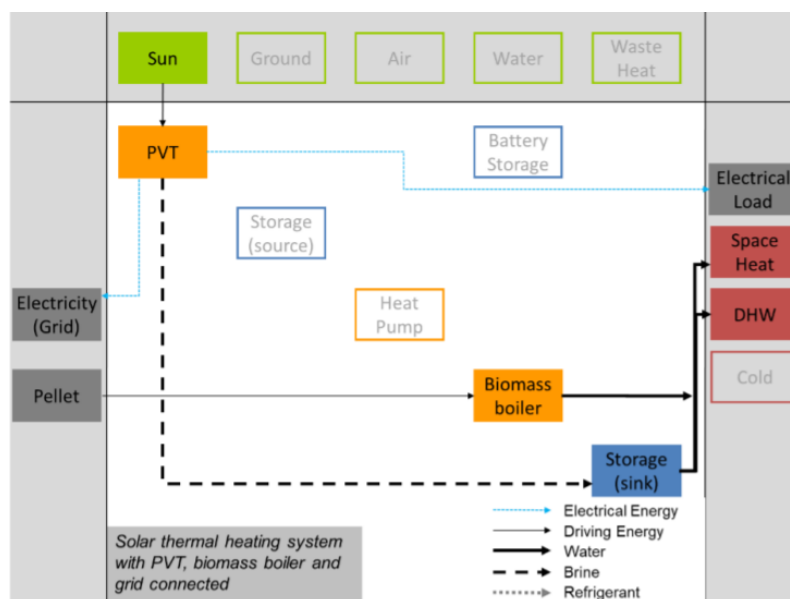
8.1 ECOMESH 2

ECOMESH 2 je projekt, ve kterém bylo cílem zlepšit energetickou bilanci rodinného domku v Zaragoze (Španělsko). Společnost EndeF navrhla a realizovala instalaci systému se 6 hybridními fotovoltaicko-termickými kolektory Ecomech. Požadavky na instalovaný systém byly, aby zásoboval domek teplou vodou a pokryl určité procento elektrické spotřeby domku. [17]

Instalovaný systém se skládá z 6 polykrystalických panelů ECOMESH PVT s celkovou solární plochou 10 m² a maximálním elektrickým výkonem 1,38 kWp. Elektrická účinnost panelů při standardizovaných podmínkách (25 °C; 1000 W/m²) je 17 %. Systém je dále tvořen akumulční nádrží o objemu 2000 l, 3 mikrostrídače 0,5 kW a kotlem na biomasu, který slouží k vytápění a zásobování teplou vodou. Kolektory PVT byly instalovány na střechu se sklonem 65° a orientovány na jih. Princip systému je schematicky znázorněn na obrázku 8.1.1. [17]



Obrázek 8.1 Objekt s instalovaným systémem projektu ECOMESH 2 (Španělsko) [17]



Obrázek 8.1.1 Schématické znázornění systému [17]

Paralelně zapojené FVT kolektory zajišťují teplou vodu do akumulční nádrže. Kolektory slouží k přehřevu vody přibližně na 25 °C. Až pomocí kotle na biomasu je voda ohřáta na požadovaných 60 °C. Elektrický okruh FVT kolektorů je instalován pro vlastní spotřebu domu, což znamená, že síť slouží jako záložní systém pro chvíle bez elektrické produkce FVT kolektorů. Proto se neprodávají žádné přebytky vyrobené elektrické energie do sítě, anebo pouze minimum. [17]

9. Oyster Reach – Convert Energy Ltd

Projekt Oyster Reach je další z řady zahraničních instalací hybridních fotovoltaicko-termických systémů. Za tímto projektem stojí společnost Convert Energy Ltd, která je poradenskou firmou zaměřující se na obnovitelné zdroje. Jedná se o britskou firmu sídlící ve městě Canterbury. Convert Energy Ltd byla založena v roce 2015 a navrhuje systémy pro inteligentní budovy či pasivní domy. Tato firma zatím působí pouze na území Velké Británie, přesto má za sebou mnoho úspěšných projektů a mimo FVT systémy navrhuje fototermální a fotovoltaické systémy, projekty na akumulaci tepla, tepelná čerpadla, podlahové vytápění a hybridní bateriová uložení. [18, 19]

9.1 Oyster Reach

Oyster Reach je projekt 5 luxusních apartmánů v malém přímořském městě na jihovýchodě Anglie, Whistable. Cílem projektu bylo navrhnout systém zajišťující vytápění a ohřev vody pomocí solárních technologií. V původním plánu se počítalo s využitím klasických fotovoltaických panelů, to by ale znamenalo výrobu pouze elektrické energie, která by nabíjela elektrické boilers na TV. Tato myšlenka narazila na dva problémy. Prvním problémem byl vzhled a umístění objektu. Druhým problémem byl požadavek majitele objektu, aby každý apartmán měl výhled na moře. Tyto dva důležité faktory způsobily, že došlo k rapidnímu zmenšení využitelné plochy střechy na instalaci panelů. [19]

9.2 Návrh hybridních FVT kolektorů

Řešením problému s menší využitelnou plochou střechy, byla instalace FVT kolektorů. Firma Convert energy Ltd se rozhodla pro využití kolektorů PowerVolt a PowerTherm od společnosti Solimpeks, o kterých jsem psal v kapitole 4.1. Na východně orientovanou část střechy byly instalovány panely typu PowerVolt a na západně orientovanou část byly umístěny panely typu PowerTherm. Na základě energetických bilančních a ekonomických výpočtů bylo do systému instalováno 15 panelů PowerVolt a 15 panelů PowerTherm. [19]

Instalovaný systém zajišťuje teplo pomocí podlahového vytápění, které je elektricky napájeno z FVT kolektorů. Zároveň fotovoltaicko-termický systém zajišťuje produkci teplé vody, která je ohřívána ve dvou centrálních zásobnících, a odtud rozváděna do jednotlivých bytových jednotek, kde je následně dohřívána v elektrických boilerech. Špičkový elektrický výkon systému činí 5,7 kWp, zatímco špičkový tepelný výkon je třikrát větší, 17,1 kWp. Panely jsou ročně schopny vygenerovat 4 531 kWh elektrické energie a 5 144 kWh tepelné energie. [19]



Obrázek 9.2 Apartmány v Oyster Reach [19]



Obrázek 9.2.1 FVT kolektory v projektu Oyster Reach [19]

10. Zero energy bills (ZEB)

Poslední zde uvedený projekt je z roku 2015 a jde o jednu z prvních instalací FVT systému ve Velké Británii. Jedná se o rodinný dvojdoměk nacházející se ve městě Corby ve Velké Británii. Informace o tomto projektu jsou značně strohé, protože pocházejí ze zprávy BRE National Solar Centre, kde se snažili informovat veřejnost o technologii FVT kolektorů, nikoli o systémech. Systémy FVT kolektorů jsou zde uvedeny jen ve zkrácené podobě. [20]

Projekt rodinného domu v Corby si dal za cíl navrhnout systém, který z velké části pokryje elektrickou i tepelnou spotřebu domu. Instalovaný FVT systém je tvořen opět 15 panely PowerVolt (kap. 4.1) od firmy Solimpeks. Panely slouží k přehřevu teplé vody a vody na vytápění, dohřev je realizován pomocí plynového kotle. Špičkový elektrický výkon systému činí 3 kWp, zatímco špičkový tepelný výkon je cca dvakrát větší, 6,9 kWp. Objekt je vybaven i prvky inteligentních budov jako je monitoring elektrické energie nebo například správa domácí automatizace startu spotřebičů. [20]



Obrázek 10 Dvojdoměk v Corby (UK), projekt ZEB [20]

11. Využití technologie

Technologie hybridních FVT kolektorů je zatím teprve na začátku, ale i přesto už máme jistý model toho, kdy a kde můžeme o hybridní fotovoltaice uvažovat. Základní pravidla o tom, jak musí být orientována střecha domu či jaký je optimální sklon panelu, se víceméně neliší od klasické fotovoltaiky. Zato cílová skupina této technologie se liší určitě. [3]

11.1 Nízkoenergetické/pasivní/nulové domy

U nízkoenergetických nebo dokonce nulových budov je snaha o maximální energetickou úsporu budovy pomocí různých technických řešení a zbývající potřebu energie maximálně pokrýt obnovitelnými zdroji. U takových budov je určitě zajímavou volbou při výrobě tepla a elektrické energie využití FVT kolektorů. [3]

11.2 Integrace do obálky domu

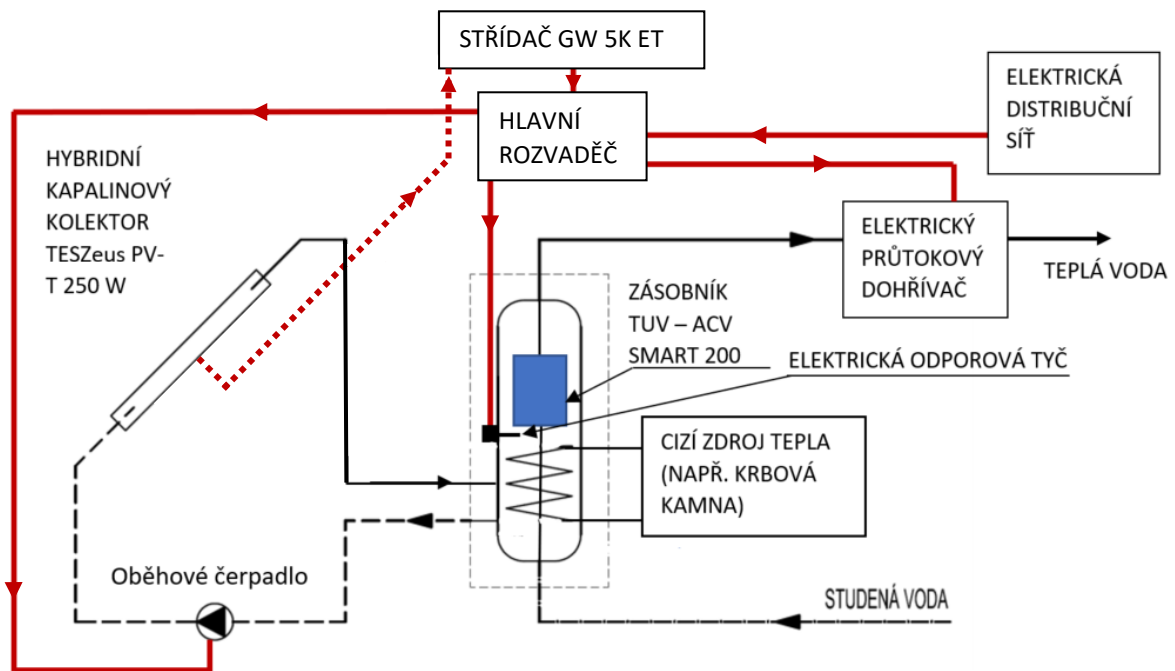
Tato aplikace je vhodná pro budovy například v Praze. Pokud máme budovu, kde chceme mít elektrickou energii z FV panelů, může být pro nás velkým problémem právě teplota panelu, který v letních měsících v Praze může být ještě vyšší než mimo Prahu. To samozřejmě bude snižovat výkon panelu. Proto je zde lepší uvažovat o hybridních kolektorech, jejichž teplota je díky oběhu kapaliny nižší a tím pádem může dojít ke zvýšení produkce až o 10 %. Zároveň získáme teplo pro předehřev studené vody. [3]

11.3 Budovy s omezenou plochou střechy

V dnešní době není neobvyklé, aby jedna budova měla fotovoltaiku a zároveň solární kolektory. Jenže toto řešení si mohou vzhledem k omezené využitelné ploše střechy dovolit jen některé budovy. Proto je lepší uvažovat o hybridních kolektorech, neboť bezpochyby dostaneme z 1 m² více energie (samozřejmě ve 2 formách). [3]

12. Ohřev TV s použitím hybridních FVT kolektorů

Způsob zapojení soustavy pro ohřev teplé vody za pomoci hybridních FVT kolektorů bude probíhat následujícím způsobem. V kapalinových hybridních kolektorech se bude kapalina ohřívat na přibližných 30 °C. Odtud bude kapalina svedena do zásobníků teplé vody, kde ohřívá již předeřátou studenou pitnou vodu v zásobníku. Tento ohřev bude proveden elektrickou energií získanou z těchto kolektorů (viz obr. 12.).



Obrázek 12 Schéma zapojení FVT kolektoru se zásobníkem TV

Pro jednoznačnost jsem do soustavy umístil kolektor TESZeus, který jsem detailně popsal již v kapitole 4.3.

Součástí tohoto zapojení je střídač Good Ee ET 5 kW (Hybrid 3F), který slouží k připojení či odpojení na distribuční elektrickou síť v případě, kdy hybridní fotovoltaické panely nedodávají elektrickou energii. Jedná se o klasický prvek, který se používá v instalacích pro rodinné domy. Přes Wifi připojení dokáže majiteli posílat do mobilní aplikace aktuální hodnoty proudu a umožňuje tak monitorovat elektrickou část systému pouze pomocí chytrého mobilního telefonu. GoodWe ET Series je třífázový hybridní střídač, který umožňuje zvyšovat energetickou nezávislost a soběstačnost pomocí funkce omezení přetoků do sítě, čímž snižuje účty za elektrickou energii. S rozsahem výkonu 5kW, 8kW a 10kW, ET Series umožňuje až 100% přetížení výstupního výkonu a funguje jako záložní zdroj energie (UPS) k indukčním zátěžím, jako jsou klimatizace nebo chladničky, s automatickým přepínacím časem kratším než 10 milisekund. [21]

Tabulka 12 Parametry měniče GoodWe 5K ET [21]

Parametry	GoodWE ET: 5kw (Hybrid 3F)
Max. povolený výkon FVE	13 000 W
Jmenovité vstupní napětí	620 V
Rozsah napětí	200–850 V
Max. účinnost	98 %
Jmenovitý výstupní výkon do rozvodné sítě	5 000 VA
Max. výstupní příkon z rozvodné sítě	10 000 VA
Rozměry	415 x 516 x 160 mm

Z řady elektronických zařízení, která v systému figurují, je také velice důležitý regulátor přetoků. Jedná se o řídicí automat, který zajišťuje, že se většina vyrobené elektrické energie maximálně využije v dané budově a tak se pouze minimum elektřiny prodává do sítě (nebo vůbec nic). Tyto regulátory jsou v dnešní době velice populární, neboť výkupní cena elektřiny z domácího fotovoltaického systému je příliš nízká. Regulátor WATTrouter ECO je díky své ceně a vlastnostem zajímavou volbou pro tento FVT systém. Disponuje systémem regulace podle součtu výkonů (sumárního přebytku) ze všech tří fází nebo podle přebytku v každé fázi a má 6 interních a 6 bezdrátových vstupů. Jedná se i o uživatelsky přívětivé zařízení, které do aplikace posílá denní, týdenní, měsíční a roční statistiky výroby, přebytků a spotřeby. [22]

Tabulka 12.1 Parametry regulátoru přetoků [22]

Parametry	WATTrouter ECO
Proudový měřicí rozsah	0–20 A
Proudová zatíženost měřicího modulu	0–40 A
Maximální spotřeba	4 W
Napájecí napětí	230 V, 50 Hz
Kategorie napětí	III
Teplotní rozsah provozu	-20 °C až +40 °C
Rozměry regulátoru	70x110x64 mm
Hmotnost	350 g

Dalším zařízením umístěným do této soustavy je oběhové čerpadlo. Podle různých zdrojů je dánská firma Grundfos špičkou ve svém oboru a tak jsem vybíral z produktů právě této firmy. Z hlediska ceny a výkonu jsem se rozhodl pro oběhové čerpadlo COMFORT UP 15-14B PM. Parametry tohoto čerpadla jsou uvedeny v tabulce 12. 2. [23]

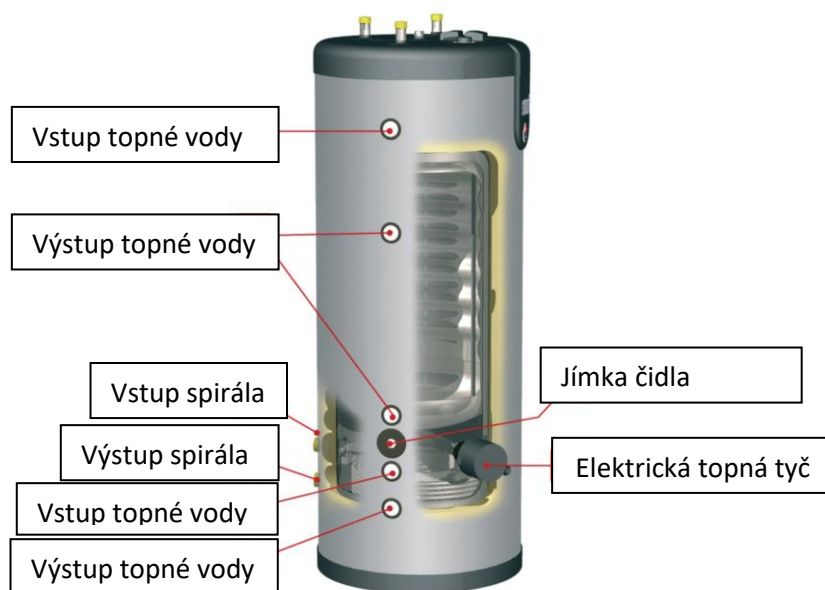
Tabulka 12.2 Parametry oběhového čerpadla [23]

Parametry	COMFORT UP 15-14BA PM
Dopravní výška čerpadla	1,2 m
Napájení čerpadla	230 VAC
Průtok čerpadla	0,5 m ³ /h
Stavební délka	80 mm
Světlost čerpadla	DN 15
Teplota kapaliny	95 °C
Tlak	10 bar
Typ připojení čerpadla	Vnitřní závit

Posledním zmíněným zařízením (pokud pomíneme různé senzory, na které se tato práce nezaměřuje) je zásobník teplé užitkové vody. Zásobník byl navržen pro zapojení se třemi hybridními fotovoltaickými kolektory TESZeus pro krátkodobou akumulaci tepla. Zásobník je elektricky napájen třemi FVT panely a je do něj svedena ohřátá voda z kolektorů. Zařízení se skládá ze dvou nádrží, přičemž menší uvnitř je určena pro pitnou vodu. Zásobník je samozřejmě elektrický a je od firmy ACV. Vybíral jsem takový zásobník, který bude ohřívat kapalinu uvnitř pomocí elektrických topných tyčí, který bude pracovat na principu „tank in tank“ a zároveň bude i přímo určen pro použití v solárních systémech. Těmto požadavkům vyhovoval model Smart ME 200, jehož parametry jsou v tabulce 12.3 a konstrukce na obrázku 12.1. [24]

Tabulka 12.3 Zásobník TV Smart ME 200 [24]

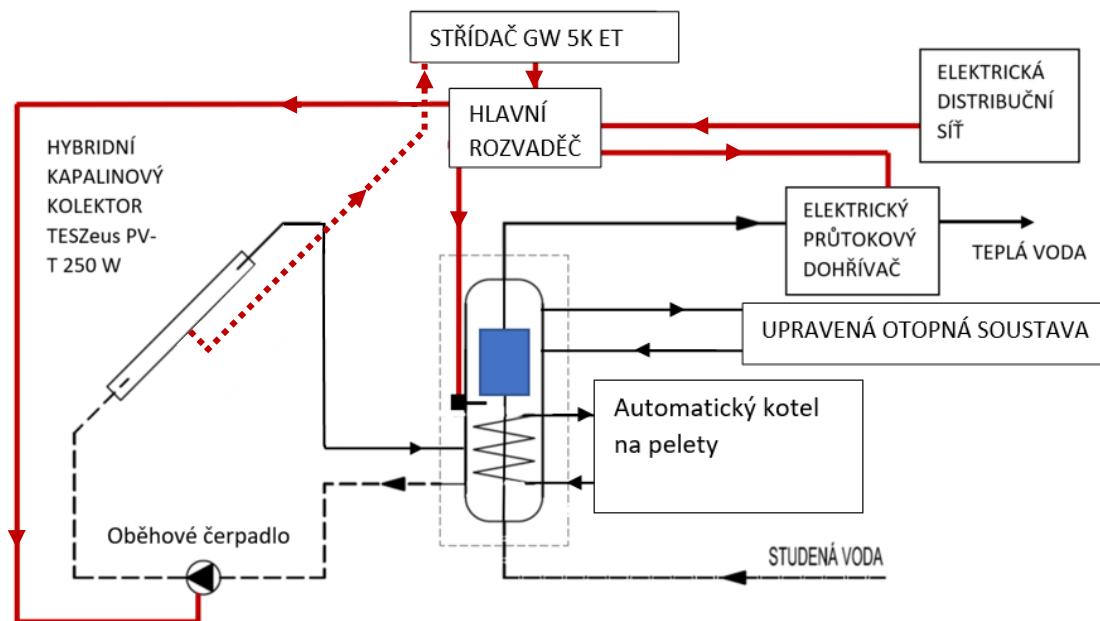
Parametry	Smart ME 200
Objem	203 l
Hmotnost (prázdný)	68 kg
Max. provozní teplota	90 °C
Max. provozní tlak	3 bar
Doba ohřátí	10 min
Účinnost opětného ohřevu	24,7 kW
Energetická třída	B
Jmenovitý průtok při 40 °C	890 l/h



Obrázek 12.1 Konstrukce zásobníku Smart ME 200 [24]

13. Vytápění rodinného domku s použitím hybridních FVT kolektorů

Podlahové vytápění napojené na solární systém je poměrně populární trend, který je nejčastěji viděn u rodinných domů. Podlahové vytápění má mnoho výhod, ale bohužel má i své nevýhody. Mezi nevýhody patří pomalá teplotní odezva, malý měrný výkon (max. 100 W/m²) a vysoké investiční náklady. Dalším hlavním rizikem může být přetopení vody v topném hadu, což může vést k odtržení od obklopující betonové vrstvy. Pokud tedy firma odvede špatně svoji práci, může dojít k poruše podlahy. Na druhou stranu je výhodou, že pokud systém je kvalitní, nepotřebuje žádnou údržbu. Zároveň podlahové vytápění napomáhá optimální vlhkosti vzduchu v obytných prostorech. Další výhodou může být zajištění tepelné pohody v místnosti při nižších teplotách vzduchu, což vede k úsporám energie. Schéma systému je na obrázku 13 (podlahové vytápění = upravená otopná soustava).



Obrázek 13 Schéma zapojení pro podlahové vytápění s použitím hybridních FVT kolektorů

II. Studie proveditelnosti projektu

14. Úvod do praktické části bakalářské práce

V předchozí části jsem se zaměřil na popis využívané technologie, průzkum současného trhu s hybridními kolektory a jednoduchý návrh možného zapojení hybridních fotovoltaických kolektorů do otopné soustavy rodinného domu.

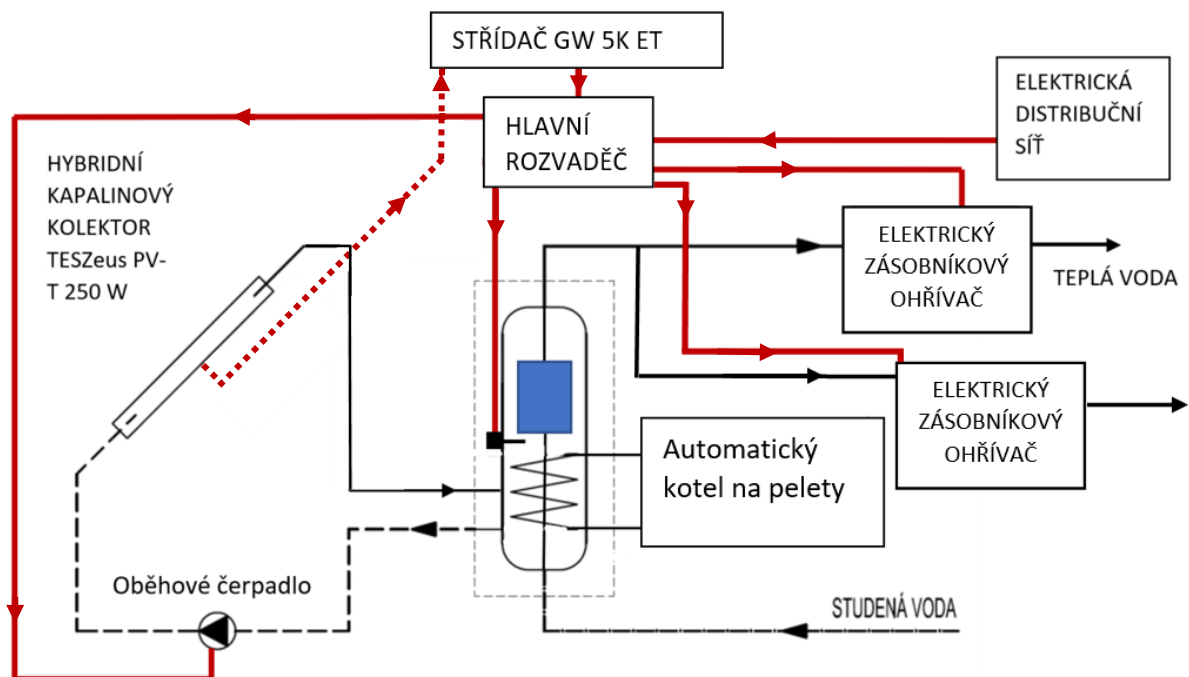
Tématem této bakalářské práce je použití hybridního fotovoltaického kolektoru na vylepšení energetické bilance RD. Budu se zabývat optimalizací zapojení otopné soustavy rodinného domu do tepelného okruhu hybridního fotovoltaického kolektoru. Dále se zaměřím i na tepelné a elektrické úpory za rok a provedu hrubou ekonomickou rozvahu zaměřenou na dobu návratnosti celé investice.

Ve své práci budu vycházet z dat, která byla zjištěna v rámci jiné práce zpracovávané na Fakultě strojní ČVUT, „Optimalizace způsobu vytápění rodinného domu“. Z této práce budu čerpat především informace o tepelných a energetických bilancích domu. [25]

15. Rodinný dům

Referenční dům se nachází v Ústí nad Labem ve Střekově a jedná se o dvoupodlažní dům, který je rozdělen na dvě samostatné bytové jednotky. V každém bytě žijí 4 osoby a každý byt je vybaven jedním umyvadlem, vanou a dřezem. Dům má jeden centrální zásobník teplé vody. Ze zásobníku je voda svedena do obou bytů s tím, že každý byt má vlastní průtokový elektrický ohřívač, který bude napájen elektrickou energií buď z elektrické distribuční sítě nebo z hybridního FVT kapalinového kolektoru.

Hybridní fotovoltaicko-tepelné kolektory budou dodávat teplo k predehřevu TV. Na obrázku 15 je vidět schéma zapojení do otopné soustavy.



Obrázek 15 Schéma soustavy s hybridním kapalinovým kolektorem

15.1. Tepelné ztráty v přechodných obdobích

Navrhovaný solární systém je především určený pro přechodné měsíce na jaře a na podzim. Proto je důležité znát tepelné ztráty v těchto měsících. Podle těchto údajů se bude následně navrhovat podlahové vytápění.

Tabulka 15.1 Tepelné ztráty budovy v jarních a podzimních měsících [25]

Pořadí měsíce	Měsíc	Q'_{zred} [W] Před zateplením	Q_{zred} [W] Po zateplení
3.	Březen	8557,84	3525,04
4.	Duben	6349,37	2615,35
5.	Květen	4048,87	1667,76
9.	Září	4140,89	1705,66
10.	Říjen	6349,37	2615,35
11.	Listopad	8741,88	3600,84

V tabulce 15.1.1 jsou vidět tepelné ztráty v jednotlivých místnostech, přičemž sloupec Q_{z3} označuje tepelné ztráty nejchladnějšího měsíce přechodného období (listopad) a Q_{z-12} označuje tepelné ztráty za předpokladu venkovní teploty $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ (oblastní výpočtová teplota). Z těchto hodnot budou vycházet při návrhu podlahového vytápění. [25]

Tabulka 15.1.1 Tepelné ztráty v jednotlivých místnostech [24]

	místnost	název místnosti	Q_{z-12} [W]	Q_{z3} [W]
1.NP	101	Obývací pokoj	1 240	693
	102	Ložnice	824	460
	103	Kuchyň	657	367
	104	Spíž	0	0
	105	Koupelna	670	374
	106	WC	179	100
	107	Hala	669	374
	108	Zádveří	689	385
2.NP	201	Obývací pokoj	1 240	693
	202	Ložnice	824	460
	203	Kuchyň	657	367
	204	Spíž	0	0
	205	Koupelna	670	374
	206	WC	179	100
	207	Hala	669	374
	208	Zádveří	689	385
		celkem	9 856	5 508

15.2 Návrh zásobníkových ohřivačů

Zásobníkové ohřivače budou sloužit k ohřevu vody z centrálního zásobníku z teploty 10 °C až na teplotu 60 °C. Tento stav by nastal, pokud by FVT systém nevyráběl elektrickou ani tepelnou energii, a tudíž by nepředehřival vodu v centrálním zásobníku TV na požadovaných 25°C. Pro návrh optimálních zásobníkových ohřivačů je klíčové zjistit celkovou spotřebu vody v jednotlivých bytových jednotkách. Je tedy nutné stanovit spotřebu teplé vody a tepla pro její přípravu. To lze jednoduše stanovit pomocí normy ČSN 06 0320. [26]

Tabulka 15.2 Spotřeba TV pro 1os. v bytové jednotce [26]

Potřeba TUV pro 1 osobu a den v bytovém objektu						Tab. č 4
Parametr	Značka	Jednotka	baterie			
			umyvadlo	dřez	sprcha	Vana
Počet dávek	n_d	-	3	0,8	1	0,3
Objem dávek	V_d	m^3	0,03	0,002	0,025	0,025
Teplo v dávkách	E_d	KWh	1,5	0,1	1,3	1,4
Součet objemu dávek	V_{2p}	m^3	0,082			
Součet tepla v dávkách	E_{2p}	kWh	4,3			

Průměrná denní potřeba vody:

$$\text{Jeden byt:} \quad Q_p = q \cdot n = 0,082 \cdot 4 = 0,382 \frac{m^3}{den}$$

(15.2)

$$\dot{m} = Q_p \cdot \rho$$

(15.2.1)

Výpočet vyjadřuje množství potřebné teplé vody na den, kde q je množství vody na osobu za den a n je počet obyvatel jedné bytové jednotky.

Denní potřeba tepla na ohřev teplé vody dle normy ČSN 06 0320:

- Spotřeba tepla na předehřev TV FVT kolektory:

Hustota vody je, při střední teplotě $t_{stř} = 17,5 \text{ °C}$, $\rho = 998,58 \text{ kg} \cdot m^{-3}$

$$Q_{TV} = \frac{Q_p \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3600} = \frac{0,382 \cdot 998,58 \cdot 4,183 \cdot (25 - 10)}{3600} = 6,65 \text{ kWh/den}$$

(15.2.2)

- Spotřeba tepla (el. energie) na dohřev TV v boileru:

Hustota vody je, při střední teplotě $t_{stř} = 42,5 \text{ °C}$, $\rho = 991,39 \text{ kg} \cdot m^{-3}$

$$Q_{TV} = \frac{Q_p \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3600} = \frac{0,382 \cdot 991,39 \cdot 4,182 \cdot (60 - 25)}{3600} = 15,4 \text{ kWh/den}$$

(15.2.3)

- Spotřeba tepla (el. energie) na dohřev TV v boileru, za předpokladu, že není přítomen FVT systém ani centrální zásobník s kotlem:

Hustota vody je, při střední teplotě $t_{stř} = 35\text{ °C}$, $\rho = 993,99\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$$Q_{TV} = \frac{Q_p \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3600} = \frac{0,382 \cdot 993,99 \cdot 4,182 \cdot (60 - 10)}{3600} = 22,06\text{ kWh/den}$$

(15.2.4)

Pokud tyto denní hodnoty vynásobím počtem dní v měsíci, mohu získat hrubý odhad potřebného tepla v celém měsíci. Tento výpočet je uskutečněn v tabulce 15.6.1.

Dále můžeme zjistit následující bilance, abychom zjistili možné denní extrémy.

Maximální denní potřeba vody:

$$Q_d = Q_p \cdot k_d = 0,382 \cdot 1,5 = 0,573\text{ m}^3/\text{den}$$

(15.2.5)

Určil jsem maximální denní spotřebu pomocí součinitele denní nerovnoměrnosti, který jsem převzal z normy ČSN 06 0320. [27]

Tabulka 15.2.1 Součinitel denní nerovnoměrnosti spotřeby vody [26]

počet obyvatel	k_d
do 1000	1,5
1000 - 5000	1,4
5000 - 20000	1,35
20000 - 100000	1,25
nad 100000	1,15

Podle těchto výpočtů jsem se rozhodl instalovat do každé bytové jednotky elektrický zásobníkový ohřivač OKHE 160-SMART od firmy DRAŽICE. [28]

Tabulka 15.2.2 Parametry ohřivače OKHE 160-SMART [28]

OKHE 160-SMART	Parametry
Objem	149 l
Teplotní rozsah	5–74 °C
Příkon topného tělesa	2 200 W
Třída energetické účinnosti	C
Výška ohřivače	1235 mm
Šířka ohřivače	520 mm
Hloubka ohřivače	550 mm

15.2.1 Hodinová spotřeba teplé vody

V předchozí kapitole jsem již zjistil, že čtyřčlenná domácnost bude mít denní spotřebu teplé vody 0,382 m³. Jednoduchou úvahou můžeme dojít k tomu, že spotřeba teplé vody v domácnosti, kterou obývají pouze dva lidé, bude 0,191 m³ za den. Celý referenční objekt ve Střekově v Ústí nad Labem má denní spotřebu přibližně 0,573 m³ za den. Je důležité si uvědomit, že se jedná pouze o odhad

spotřeby. Pokud bychom chtěli zjistit konkrétní a přesné hodnoty spotřeby, museli bychom provést měření nebo mít tyto hodnoty od majitele objektu.

Na základě těchto hodnot jsem vytvořil graf závislosti spotřeby TV na čase (graf 15.2.2 a graf 15.2.3). Grafy znázorňují spotřebu TV v obou bytových jednotkách. Při tvorbě grafů jsem pracoval s procentuálním rozložením spotřeby teplé vody (viz. tabulka 15.2.1 a tabulka 15.2.1.1). Získané grafy budou důležité při výpočtech energetických přebytků v letním období v podobě teplé vody.

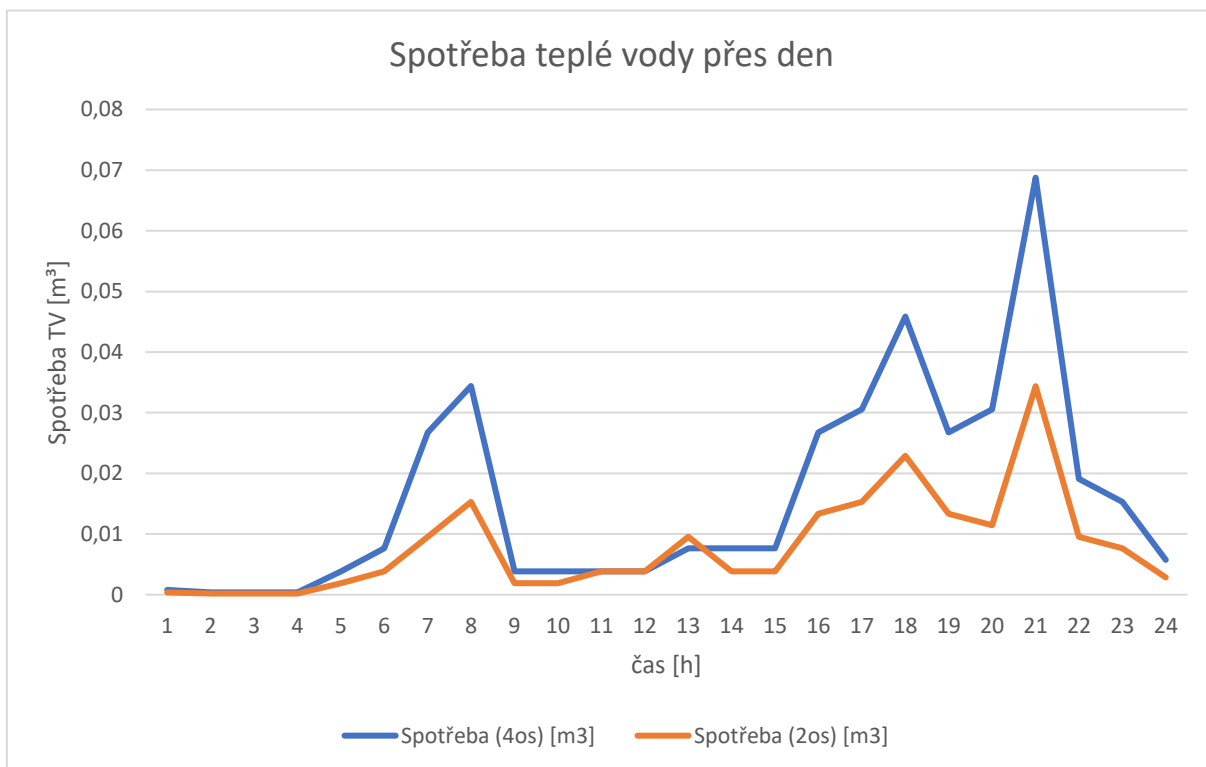
Tabulka 15.2.1 Hodinová spotřeba TV (2 osoby)

Čas	Spotřeba [%]	Čas	Spotřeba [%]
1	0,2	13	5
2	0,1	14	2
3	0,1	15	2
4	0,1	16	7
5	1	17	8
6	2	18	12
7	5	19	7
8	8	20	6
9	1	21	18
10	1	22	5
11	2	23	4
12	2	24	1,5

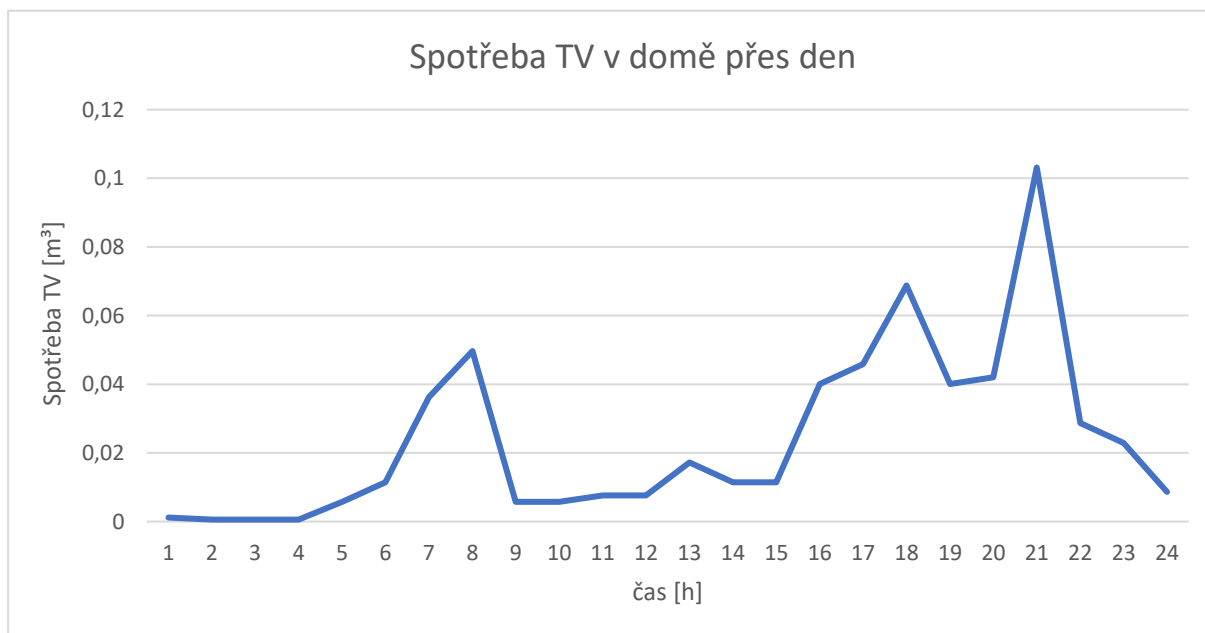
Tabulka 15.2.1.1 Hodinová spotřeba TV (4 osoby)

Čas	Spotřeba [%]	Čas	Spotřeba [%]
1	0,2	13	5
2	0,1	14	2
3	0,1	15	2
4	0,1	16	7
5	1	17	8
6	2	18	12
7	7	19	7
8	9	20	8
9	1	21	18
10	1	22	5
11	2	23	4
12	2	24	1,5

Procentuální spotřeba čtyřčlenné domácnosti se mírně liší od spotřeby dvoučlenné domácnosti. To je dáno tím, že ve čtyřčlenné domácnosti žijí dvě dospělé osoby a dvě děti, které jsou přes den buď v práci či ve škole, a tudíž je spotřeba teplé vody přes odpoledne minimální. Oproti tomu byt obývaný dvěma důchodci bude mít určitou spotřebu TV i v odpoledních hodinách, neboť ani jeden do práce již nechodí, a tudíž spotřebovávají TV i v těchto časech. V grafu 15.2.3 jsem následně spojil spotřeby obou bytových jednotek, abych zjistil celkovou spotřebu domu.



Graf 15.2.2 Grafické znázornění hodinové spotřeby teplé vody v referenčním domě



Graf 15.2.3 Grafické znázornění hodinové spotřeby teplé vody v obou bytových jednotkách

Tabulka 15.2.1.2 Hodinová spotřeba TV v obou bytových jednotkách

Hodinová spotřeba TV				
Čas [h]	Spotřeba [%]	4 osoby		2 osoby
		Spotřeba [m ³]	Spotřeba [%]	Spotřeba [m ³]
1	0,2	0,000764	0,2	0,000382
2	0,1	0,000382	0,1	0,000191
3	0,1	0,000382	0,1	0,000191
4	0,1	0,000382	0,1	0,000191
5	1	0,00382	1	0,00191
6	2	0,00764	2	0,00382
7	7	0,02674	5	0,00955
8	9	0,03438	8	0,01528
9	1	0,00382	1	0,00191
10	1	0,00382	1	0,00191
11	1	0,00382	2	0,00382
12	1	0,00382	2	0,00382
13	2	0,00764	5	0,00955
14	2	0,00764	2	0,00382
15	2	0,00764	2	0,00382
16	7	0,02674	7	0,01337
17	8	0,03056	8	0,01528
18	12	0,04584	12	0,02292
19	7	0,02674	7	0,01337
20	8	0,03056	6	0,01146
21	18	0,06876	18	0,03438
22	5	0,0191	5	0,00955
23	4	0,01528	4	0,00764
24	1,5	0,00573	1,5	0,002865
Celkem	100	0,382	100	0,191

Pro důkladnou analýzu současného řešení ohřevu teplé vody je důležité uvést i potřebné množství tepelné energie. Množství energie odpovídá ohřevu TV z 10 °C na 60 °C. Hodnoty jsou vypočteny pomocí jednoduché rovnice:

$$Q = M \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1)$$

(15.2.6)

, kde:

Q...potřebné množství tepla, [kJ]

M...hmotnost spotřebované vody [kg]

c_p...měrná tepelná kapacita vody [kJ/kg·K]

t₂ a t₁...teploty před a na konci ohřevu [°C]

Na základě tohoto výpočtu jsem získal hodnoty uvedené v tabulce 15.2.3, které jsem následně zanesl do grafu 15.2.4.

Tabulka 15.2.3 Spotřeba tepelné energie na ohřev TV přes den

Čas	Spotřeba TV v domě [kg]	Spotřeba tepla [kJ]
1	1,146	239,63
2	0,573	119,81
3	0,573	119,81
4	0,573	119,81
5	5,73	1 198,14
6	11,46	2 396,29
7	36,29	7 588,24
8	49,66	10 383,91
9	5,73	1 198,14
10	5,73	1 198,14
11	7,64	1 597,52
12	7,64	1 597,52
13	17,19	3 594,43
14	11,46	2 396,29
15	11,46	2 396,29
16	40,11	8 387,00
17	45,84	9 585,14
18	68,76	14 377,72
19	40,11	8 387,00
20	42,02	8 786,38
21	103,14	21 566,57
22	28,65	5 990,72
23	22,92	4 792,57
24	8,595	1 797,21
Celkem	573	119 814,3

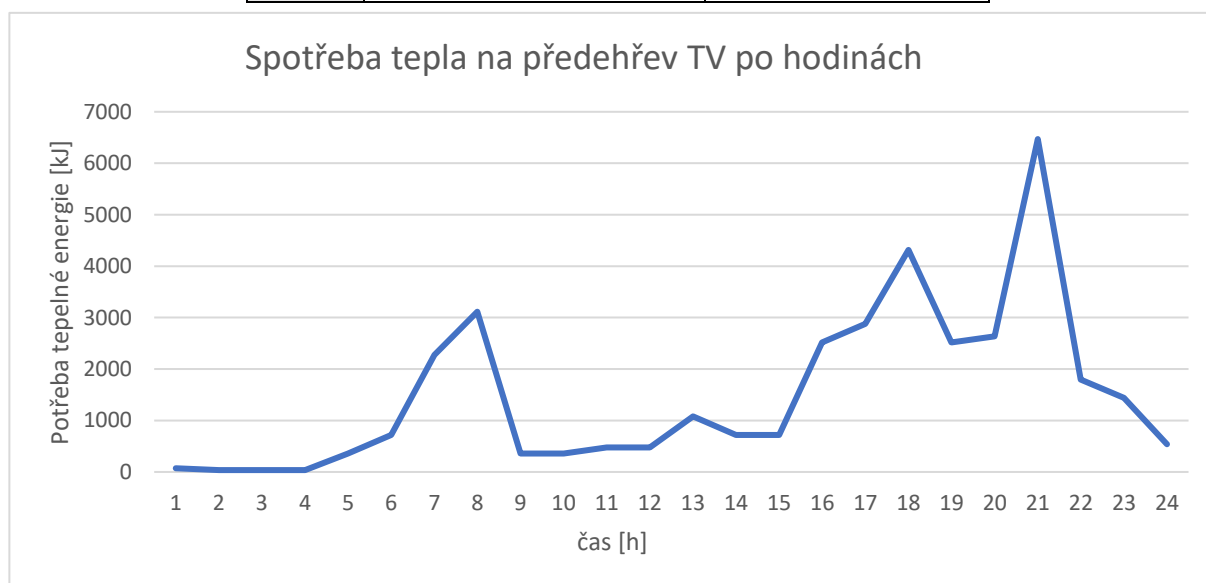


Graf 15.2.4 Graf spotřeby tepelné energie na ohřev TV v průběhu dne

Pro navrhované řešení provedeme stejný výpočet. V tomto případě uvažujeme přehřev z 10 °C na 25 °C. Teplá voda je následně dohřívána na požadovaných 60 °C.

Tabulka 15.2.4 Spotřeba tepelné energie na přehřev TV

Čas	Spotřeba TV v domě [kg]	Spotřeba tepla [kJ]
1	1,146	71,89
2	0,573	35,94
3	0,573	35,94
4	0,573	35,94
5	5,73	359,44
6	11,46	718,89
7	36,29	2 276,47
8	49,66	3 115,17
9	5,73	359,44
10	5,73	359,44
11	7,64	479,26
12	7,64	479,26
13	17,19	1 078,33
14	11,46	718,89
15	11,46	718,89
16	40,11	2 516,10
17	45,84	2 875,54
18	68,76	4 313,31
19	40,11	2 516,10
20	42,02	2 635,91
21	103,14	6 469,97
22	28,65	1 797,21
23	22,92	1 437,77
24	8,595	539,16
Celkem	573	35 944,29



Graf 15.2.4 Spotřeba tepelné energie na přehřev TV z 10 °C na 25 °C

Tento výpočet bude následně velice důležitý pro určování množství tepelných přebytků, které pravděpodobně budou generovat FVT kolektory v letních měsících.

15.3 Automatický kotel na pelety

Budova má jako další zdroj tepla jeden centrální automatický kotel na hnědé uhlí. V rámci většího využití obnovitelných zdrojů pro výrobu elektrické energie či tepla se i zde bude navrhovat nový kotel, respektive upravovat stávající kotel na spalování pelet.

Současný kotel je od firmy Galmet a jeho výkon činí 25 kW. Jedná se o klasický kotel na tuhá paliva a jeho předností je právě ono automatické přikládání paliva. Automatický kotel Galmet pracuje jako nízkoemisní zdroj a tím výrazně šetří životní prostředí. Ceny energií neustále rostou, což se dotýká i nákladů na vytápění. Spalování hnědého uhlí patří v současné době mezi ekonomicky nejvýhodnější a nejrozšířenější způsob vytápění. Díky automatickému kotli je energie z uhlí využívána efektivně, což má příznivý dopad na životní prostředí. Ale samozřejmě pelety jsou mnohem šetrnější k životnímu prostředí než hnědé uhlí, a i proto se bude dělat požadovaná úprava na spalované palivo. [29]

Tabulka 15.3 Automatický kotel Galmet 25 kW [29]

Parametry	Galmet 25 kW
Nominální tepelný výkon	25 kW
Provozní rozsah	5–26 kW
Výkon	černé uhlí 5–26 kW, hnědé uhlí 4–25 kW
Účinnost	83–85 %
Zásobník paliva	240 dm ³
Objem vodního kolte	71 dm ³
Topná plocha kotle	2,7 m ²
Plocha vytápěných místností	do 250 m ²
Interval provozních teplot	50–99 °C
Teplota spalin	88–205 °C
Rozměry (šxvxh)	1170x1485x955 mm

Tento kotel bude po úpravě sloužit k vytápění a ohřevu teplé užitkové vody především v zimních měsících.

15.4 Návrh hybridních fotovoltaicko-termických kolektorů

V této práci jsem se rozhodl, že vzhledem k parametrům je výhodné využít hybridní kolektory od firmy TES Group of companies, TESZeus PV-T 250 W. V této kapitole se budu zabývat počtem, nakloněním a celkovým situováním kolektorů v rámci referenčního domku. Počet potřebných kolektorů budu počítat k pokrytí energetických ztrát v nejztrátovějším přechodovém měsíci. Tímto měsícem je podle tabulky 14.1 listopad, kdy ztráty po zateplení budovy činí 3 600,84 W.

Hybridní fotovoltaika bude navržena na predehřev vody v zásobníku TV odporovou tyčí, zásobování teplem a v případě přebytků bude zásobovat jiné spotřebiče elektrickou energií.



Obrázek 15.4 Referenční dům z jižní strany [25]

Referenční dům ve Střekově má výhodu, že má plochou střechu, tudíž instalace FVT kolektorů není limitována orientací střechy (viz. obrázek 15.4). Nevýhodou ale je, že se musí dbát na správné rozestavení kolektorů v souvislosti s jejich vzájemným stíněním. Podle obrázku 15.4.1 jsem určil využitelnou plochu střechy, která činí 101,175 m² (viz. příloha 26).

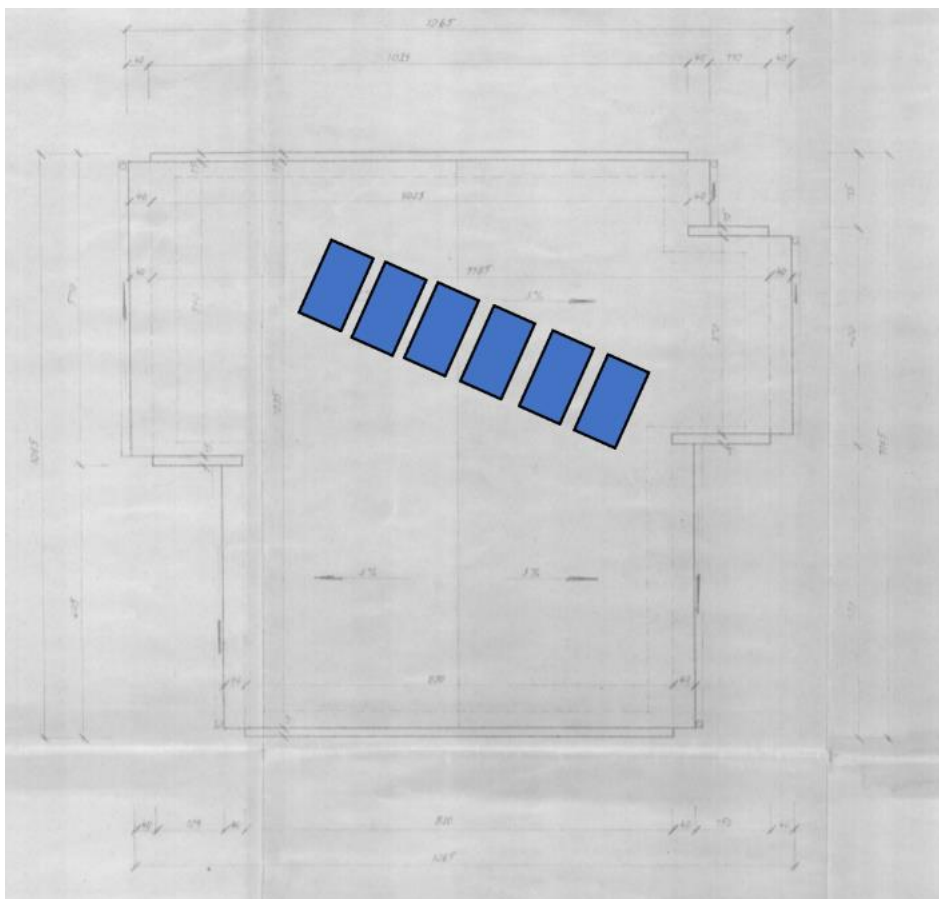
Pro zjištění potřebného počtu hybridních fotovoltaických panelů je potřeba využít následující vzorec:

$$z = \frac{Q_{zred}}{P_{tep}} = \frac{3600,84}{700} = 5,14$$

(15.4)

Z podílu tepelných ztrát v listopadu a špičkového tepelného výkonu panelu bylo zjištěno, že je zapotřebí minimálně 6 kolektorů/panelů na pokrytí tepelných ztrát domku v přechodovém měsíci listopadu. Zvolil jsem 6 kolektorů, aby byla větší pravděpodobnost pokrytí tepelných ztrát, protože ve vzorci, ze kterého vycházím, je využit špičkový výkon, kterého lze docílit pouze za omezených podmínek. Panel současně generuje elektrickou energii, která může být použita na predehřev vody za pomoci elektrické odporové tyče v zásobníku TV, nebo může pohánět průtokové/oběhové čerpadlo. Téma případných přebytků elektrické energie budu rozebírat v konkrétní kapitole.

Rozestavení panelu na střeše referenčního domu bude vypadat podle schématu 15.4.2. Hlavní problém, kterého se musíme při instalaci vyvarovat, je zastínění kolektoru, ať už jiným kolektorem či okolními předměty, jako je například komín. Další důležitý vliv na fungování celé fotovoltaiky je optimální natočení panelů k jihu. Vzhledem k tomu, že domek je orientován na jiho-východ, rozhodl jsem se, že panely budou vzhledem k půdorysu domu šikmo tak, aby byly orientovány právě na jih. [25]



Obrázek 15.4.1 Schematicky zobrazené panely orientované k jihu

Nejlepšího elektrického i tepelného výkonu dosahují panely orientované k jihu nakloněné pod úhlem 45° . Tento úhel však nemusíme striktně dodržovat, neboť panely mohou mít srovnatelný výkon až do úhlu 35° . Zároveň se při instalaci snažíme, aby nedocházelo k vizuálnímu znečištění budovy. V takové situaci už záleží na majiteli objektu, zda mu bude výsledná instalace vyhovovat z hlediska vzhledu budovy.

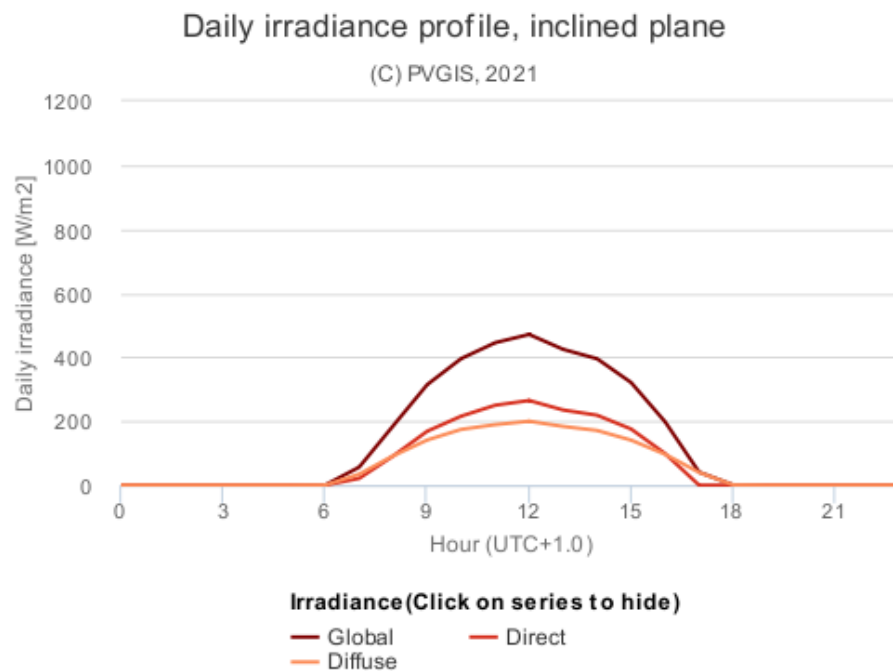
15.5 Bilancování elektrického a tepelného výkonu hybridní kolektorů

V této kapitole budu chtít vytvořit bilanční energetický model pro referenční domek. Z této bilance budu následně moci stanovit, kolik elektřiny a tepla je domek schopen ročně vyrobit. Výpočty budu provádět vzhledem k charakteristickému měsíci, respektive dni. Jako charakteristický den každého měsíce je většinou uváděn prostřední den každého měsíce. Ve výpočtech budu pracovat s průměrnými hodnotami pro daný měsíc. Tento postup si mohu dovolit z toho důvodu, že se jedná o studii proveditelnosti a nikoli o popis provozu systému/prováděcí projekt, kde by bylo zapotřebí zpřesnit výpočty. Tomuto přesnému zmapování provozu FVT systému se budu věnovat v navazujícím studiu, kde budu provoz FVT kolektorů mapovat pomocí hodinového kroku.

15.5.1 Bilancování elektrického a tepelného výkonu FVT kolektorů v přechodných obdobích

První referenční den, pro který budu zjišťovat množství vyrobené elektrické a tepelné energie, je průměrný den v březnu. Veškerá data čerpám z Photovoltaic geographical information system, což je vědecký orgán Evropské komise, která zaměstnává vědce, aby se zabývali poskytováním nezávislého vědeckého poradenství a podporou politiky EU. [30]

Březen



Obrázek 15.5.1 Hodinový průběh sluneční radiace dopadající do referenční lokality v březnu [30]

Hodnoty z grafu jsou přehledně uvedeny v tabulce 15.5.1. Pro výpočet množství vyrobené elektrické energie použiji vzorec [31]:

$$E_e = G_{z\acute{a}\check{r}} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{el} = 3\,268,74 \cdot 6 \cdot 1,15 \cdot 0,1736 = 3\,915,42 \text{ Wh/den}$$

(15.5.1)

$G_{z\acute{a}\check{r}}$ = dopadající sluneční záření za den = 3 268,74 W/m²

S_{akt} = aktivní plocha jednoho panelu = 1,15 m²

η_{el} = elektrická účinnost panelu = 17,36 %

Tabulka 15.5.1 Hodinový průběh dopadajícího záření [30]

t [hod]	Dopadající sluneční radiace [W/m ²]
0	0,00
1	0,00
2	0,00
3	0,00
4	0,00
5	0,44
6	60,17
7	185,15
8	313,14
9	394,09
10	441,54
11	471,71
12	423,45
13	391,11
14	317,57
15	211,67
16	57,84
17	0,86
18	0,00
19	0,00
20	0,00
21	0,00
22	0,00
23	0,00
Celkově	3 268,74 Wh/m²

Z výpočtu bylo zjištěno, že během průměrného březnového dne je instalovaná hybridní fotovoltaika schopná vyrobit až 3 915,42 Wh/den.

Pro výpočet tepelné bilance v referenčním dni využijí podobný vzorec jako v předešlém výpočtu. Hodnoty z grafu uvedené tabulce 15.5.1 využijí i při výpočtu tepelné bilance. Nejdříve jsem si musel vypočítat tepelnou účinnost panelu ze vzorce:

$$\eta_{tep} = \frac{\frac{P_{tep}}{S_{akt}}}{G_{referenční\ záření}} = \frac{\frac{651}{1,15}}{1000} = 0,566$$

(15.5.1.1)

$G_{referenční\ záření}$ = dopadající záření, při kterém dochází k maximálnímu výkonu = 1 000 W/m²

P_{tep} = tepelný maximální výkon panelu = 651 W

Vzorec pro výpočet získané tepelné energie pak vypadá následovně:

$$E_v = G_{z\acute{a}\acute{r}} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{tep} = 3\,268,74 \cdot 6 \cdot 1,15 \cdot 0,566 = 12\,765,74 \text{ Wh/den}$$

(15.5.1.2)

$$G_{z\acute{a}\acute{r}} = \text{dopadající sluneční záření za den} = 3\,268,74 \text{ W/m}^2$$

$$S_{akt} = \text{aktivní plocha jednoho panelu} = 1,15 \text{ m}^2$$

$$\eta_{tep} = \text{tepelná účinnost panelu} = 56,6 \%$$

Z těchto výpočtů bylo zjištěno, že během referenčního dne v březnu, může navrhovaný hybridní fotovoltaický systém vygenerovat 12,766 kWh tepelné energie a 3,915 kWh elektrické energie. Pro idealizaci výpočtu uvažuji, že těchto referenčních hodnot dosáhnu v každém dni měsíce:

$$E_v = 3\,915,42 \cdot 31 = 121\,378 \frac{\text{Wh}}{\text{měsíc}} = 121,378 \text{ kWh/měsíc}$$

(15.5.1.3)

$$E_e = 12\,765,74 \cdot 31 = 395\,737,94 \frac{\text{Wh}}{\text{měsíc}} = 395,738 \text{ kWh/měsíc}$$

(15.5.1.4)

Pomocí této jednoduché úvahy jsem došel k tomu, že by navrhovaný systém byl schopen vygenerovat 121,378 kWh elektrické energie a 395,738 kWh tepelné energie za březen.

Stejný bilanční výpočet provedu u všech měsíců v přechodných obdobích. V tabulce 15.5.1.1 jsou hodnoty dopadajícího slunečního záření v referenční den v jednotlivých měsících.

Tabulka 15.5.1.1 Úhrn dopadajícího záření v referenční dny v roce [30]

Měsíc	Úhrn dopadající sluneční radiace za den [Wh/m ²]
Leden	1 017,3
Únor	1 897,8
Březen	3 268,7
Duben	4 898,0
Květen	5 180,2
Červen	5 460,3
Červenec	5 423,8
Srpen	4 988,9
Září	4 162,6
Říjen	2 511,6
Listopad	1 173,1
Prosinec	935,6

Validace výpočtů

Vzhledem k tomu, že program PVGIS používám jako jediný zdroj pro simulaci slunečního záření ve zvolené lokalitě, je zapotřebí tyto získané hodnoty ověřit. Ke kontrole těchto výpočtů použiji normu ČSN 73 0548 - Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů a program Helioclim.

Norma ČSN 70 0548 mi umožní zjistit na základě sluneční konstanty, roční doby a polohy lokality, množství dopadajícího záření na FVT kolektory. Výpočty jsou vztahovány k charakteristickému dni v březnu (21. den měsíce). Zároveň je důležité zmínit, že výpočty jsou uváděny pro 50° severní šířky a 15° východní délky, ale vzhledem k tomu, že rozdíl mezi přesnou a touto referenční polohou by byl minimální, tento faktor můžeme zanedbat. Metoda dle výše uvedené normy spočívá ve výpočtu množství dopadajícího záření v každou jednotlivou hodinu v průběhu dne, a proto pro názornost uvádím výpočet dopadající sluneční radiace k osmé hodině ranní. [32]

1. Výpočet polohy slunce (ČSN 70 0548)

Sluneční deklinace

$$\delta = -23,5 \cdot \cos(30M) = -23,5 \cdot \cos(30 \cdot 3) = 0^\circ$$

(15.5.1.5)

M ... číslo měsíce (1-12)

Výška slunce nad obzorem

Pro 50° severní šířky (ČR) se určuje

$$\sin(h) = 0,766 \cdot \sin(\delta) - 0,643 \cdot \cos(15\tau) = 0,766 \cdot \sin(0) - 0,643 \cdot \cos(15 \cdot 8) = 0,3215$$

$$h = 18,754^\circ$$

(15.5.1.6)

τ ... sluneční čas [h], $\tau = 8$ h

Sluneční azimut

$$\sin(\alpha) = \frac{\sin(15\tau) \cdot \cos(\delta)}{\cos(h)} = \frac{\sin(15 \cdot 8) \cdot \cos(0)}{\cos(18,754)} = 0,9146$$

$$\alpha = 66,15^\circ$$

(15.5.1.7)

Úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků θ

$$\cos(\theta) = \sin(h) \cdot \cos(\alpha) + \cos(h) \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha - \gamma)$$

$$\cos(\theta) = \sin(18,754) \cdot \cos(35) + \cos(18,754) \cdot \sin(35) \cdot \cos(66,15 - 0) = 0,483$$

$$\theta = 61,12^\circ$$

(15.5.1.8)

α ... úhel stěny s vodorovnou rovinou, vzatý na odvrácené od slunce [°]

γ ... azimutový úhel normály stěny, vzatý od směru sever po směru otáčení hodinových ručiček [°]

2. Intenzita sluneční radiace (ČSN 70 0548)

Intenzita přímé sluneční radiace

$$I_D = I_0 \cdot e^{[-0,097 \cdot z \cdot (\sin(h))^{-0,8}]} = 1350 \cdot e^{[-0,097 \cdot 7 \cdot (\sin(18,754))^{-0,8}]} = 121,14 \text{ W/m}^2$$

(15.5.1.9)

I_0 ... sluneční konstanta [W/m²]

z... součinitel znečištění atmosféry, z=7 [-]

Součinitel znečištění atmosféry jsem zvolil výrazně vyšší než je v normě uváděno z důvodu stáří a charakteru normy. Norma ČSN 73 0548 byla vydána v roce 1986, takže hodnoty, na kterých závisí tento součinitel, jsou již dnes rozhodně jiné. Zároveň je důležité zmínit, že tato norma slouží primárně pro návrh klimatizací a vzduchotechniky, tudíž počítá s těmi nejnepříznivějšími podmínkami pro návrh vzduchotechniky, tedy s maximálními hodnotami oslunění daných ploch. O tom vypovídá i fakt, že v normě není žádným způsobem řešena oblačnost a jiné klimatické podmínky, které ovlivňují množství dopadajícího záření. Na základě těchto předpokladů tvrdím, že součinitel znečištění atmosféry opravdu mohou zvolit 7.

Intenzita přímé sluneční radiace dopadající na orientovanou plochu

$$I_{DS} = I_D \cdot \cos(\theta) = 250,81 \cdot \cos(61,12) = 121,14 \text{ W/m}^2$$

(15.5.1.10)

Intenzita difusní sluneční radiace

$$I_d = \left[1350 - I_D - (1080 - 1,4 \cdot I_D) \cdot \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \cdot \frac{\sin(h)}{3}$$

$$I_d = \left[1350 - 250,81 - (1080 - 1,4 \cdot 250,81) \cdot \sin^2\left(\frac{35}{2}\right) \right] \cdot \frac{\sin(18,754)}{3} = 110,73 \text{ W/m}^2$$

(15.5.1.11)

Intenzita celkové sluneční radiace

$$I_C = I_{DS} + I_d = 231,87 \text{ W/m}^2$$

(15.5.1.12)

3. Dopadající sluneční záření v průběhu celého dne (ČSN 70 0548)

Podle normy ČSN 73 0548 jsem provedl výpočet na zjištění intenzity celkové sluneční radiace v průběhu referenčního březnového dne. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v tabulce níže.

Tabulka V3 – Průběh dopadající sluneční radiace v průběhu dne (ČSN 70 0548) [32]

Čas [h]	Přímá sluneční radiace [W/m ²]	Difúzní sluneční radiace [W/m ²]	Celková sluneční radiace [W/m ²]
0:00:00	0	0	0
1:00:00	0	0	0
2:00:00	0	0	0
3:00:00	0	0	0
4:00:00	0	0	0
5:00:00	0	0	0
6:00:00	0	0	0
7:00:00	19,52	65,69	85,21
8:00:00	121,14	110,73	231,87
9:00:00	257,52	139,90	397,42
10:00:00	381,77	158,48	540,24
11:00:00	466,24	168,92	635,16
12:00:00	495,98	172,30	668,29
13:00:00	466,24	168,92	635,16
14:00:00	381,77	158,48	540,24
15:00:00	257,52	139,90	397,42
16:00:00	121,14	110,73	231,87
17:00:00	19,52	65,69	85,21
18:00:00	0	0	0
19:00:00	0	0	0
20:00:00	0	0	0
21:00:00	0	0	0
22:00:00	0	0	0
23:00:00	0	0	0
Celkové množství dopadající sluneční radiace			4 448,10 Wh/m ²

Z tabulky je na první pohled patrné, že množství dopadajícího slunečního záření dle normy ČSN 73 0548 je větší než hodnoty z programu PVGIS. To je zapříčiněno tím, že tato metoda není primárně určena pro tento druh aplikace a navíc se jedná pouze o numerickou metodu. Program PVGIS pracuje s hodnotami určených z dat naměřených na meteorologických stanicích.

4. Validace – Helioclim

Další způsob možné validace hodnot z programu PVGIS je ověření pomocí programu Helioclim, který funguje na obdobném principu jako PVGIS. Společnost SoDa (Solar radiation Data) je zprostředkovatelem seznamu služeb a webových služeb, tj. nabízí jednorázový přístup k velkému množství informací týkajících se slunečního záření a jeho využití. Služba SoDa vytváří odkazy na další zdroje, které se nacházejí v různých zemích. SoDa vytvořila právě program Helioclim, jehož demo verze je veřejně přístupná (pouze data mezi roky 2004-2006). Do programu jsem zadal stejné vstupní parametry jako v PVGIS a zjistil hodnotu dopadajícího záření v průměrný den v březnu roku 2005. Výsledky jsou uvedeny v tabulce níže. Podrobný hodinový rozpis sluneční radiace v měsíci březnu je uveden v příloze 12. [33, 34]

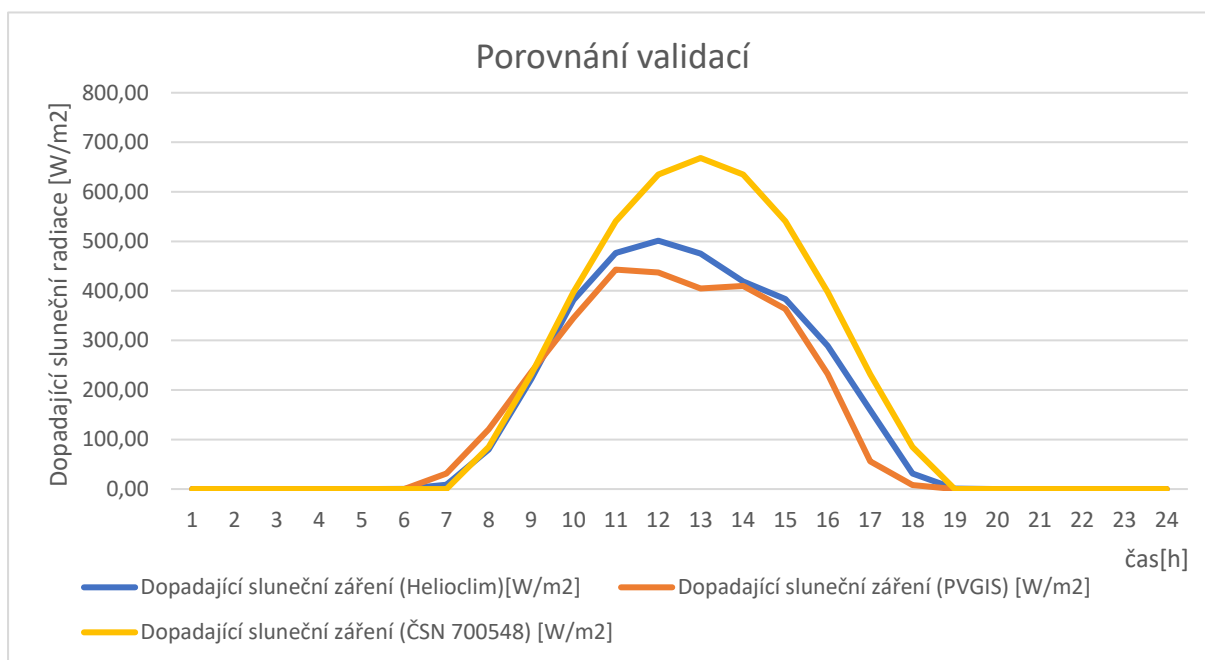
Tabulka V4 Dopadající sluneční radiace v průměrný den v březnu (Helioclim) [33]

Čas [h]	Celková sluneční radiace [W/m ²]
0:00:00	0
1:00:00	0
2:00:00	0
3:00:00	0
4:00:00	0
5:00:00	0,032
6:00:00	8,68
7:00:00	79,61
8:00:00	221,81
9:00:00	381,55
10:00:00	476,35
11:00:00	501,35
12:00:00	475
13:00:00	419,32
14:00:00	383,19
15:00:00	289,26
16:00:00	159,55
17:00:00	31,16
18:00:00	0,97
19:00:00	0
20:00:00	0
21:00:00	0
22:00:00	0
23:00:00	0
Celkem	3427,84 Wh/m ²

Pokud porovnáme hodnoty dopadající sluneční radiace z programu PVGIS (hodnoty z roku 2005 březen) a z programu Helioclim, zjistíme, že hodnota z PVGIS je o 338,86 Wh/m² nižší než z Helioclimu, což je rozdíl 9,9 %. Tato odchylka může být zapříčiněna jinými zdroji reálných dat dopadající sluneční radiace obou programů nebo oblačností v dané lokalitě. Oba programy pracují na principu interpolace sluneční radiace na základě reálných hodnot z měřících stanic a protože nelze zjistit data, ze kterých dat program čerpá, je obtížné posoudit, který z programů se nejvíce blíží realitě. Nejlepší možnou metodou, jak ověřit hodnoty z PVGIS, by bylo měsíční měření v dané lokalitě pomocí pyranometru (zařízení na měření sluneční radiace). Výsledky validací pomocí programu Helioclim a normy ČSN 70 0548 v porovnání s výsledky programu PVGIS jsou uvedeny v tabulce a grafu níže.

Tabulka V4.1 Porovnání dat validací [30, 32, 33]

Čas [h]	Dopadající sluneční záření (ČSN 700548) [W/m ²]	Dopadající sluneční záření (PVGIS) [W/m ²]	Dopadající sluneční záření (Helioclim)[W/m ²]
0:00:00	0	0	0
1:00:00	0	0	0
2:00:00	0	0	0
3:00:00	0	0	0
4:00:00	0	0	0
5:00:00	0	0	0,06
6:00:00	0	31,61	10,55
7:00:00	85,21	120,50	93,23
8:00:00	231,87	236,39	277,39
9:00:00	397,42	345,59	405,32
10:00:00	540,24	442,97	472,35
11:00:00	635,16	437,30	470,23
12:00:00	668,29	405,07	411,23
13:00:00	635,16	410,00	345,68
14:00:00	540,24	363,69	351,39
15:00:00	397,42	232,30	284,39
16:00:00	231,87	55,66	140,65
17:00:00	85,21	7,90	27,45
18:00:00	0	0	0,81
19:00:00	0	0	0
20:00:00	0	0	0
21:00:00	0	0	0
22:00:00	0	0	0
23:00:00	0	0	0
Celkem	4 448,08 Wh/m²	3 088,98 Wh/m²	3 427,84 Wh/m²



Obrázek V4 Porovnání validací [30, 32, 33]

Výsledky validace považuji za dostačující, neboť jsem došel k závěru, že hodnoty z programu PVGIS jsou mírně poddimenzované oproti hodnotám z Helioclimu, tudíž jsou z hlediska energetických bilancí na straně bezpečnosti. Zároveň mají křivky velmi podobný průběh. Touto validací jsem ověřil, že hodnoty z programu PVGIS jsou správné a mohu na nich dále stavět.

Na základě úspěšné validace výsledků programu PVGIS mohou pokračovat v bilančních výpočtech v přechodných obdobích. Výpočty jsou uvedeny v přílohách 1, 2, 6, 7, 8 a výsledky jsou vypsány v tabulce 15.5.1.2. Na první pohled je patrné, že nejvíce využitelné energie systém vygeneruje v prvním přechodném období, tudíž v období na přelomu zimy a jara.

Tabulka 15.5.1.2 Odhad energetických zisků v přechodných obdobích

Měsíc	Získaná elektrická energie [kWh/měsíc]	Získaná tepelná energie [kWh/měsíc]
Březen	121,38	395,74
Duben	175,31	571,57
Květen	191,63	624,78
Září	150,01	489,08
Říjen	94,96	309,61
Listopad	42,38	138,18

15.5.2 Bilancování elektrického a tepelného výkonu hybridních kolektorů v létě a zimě

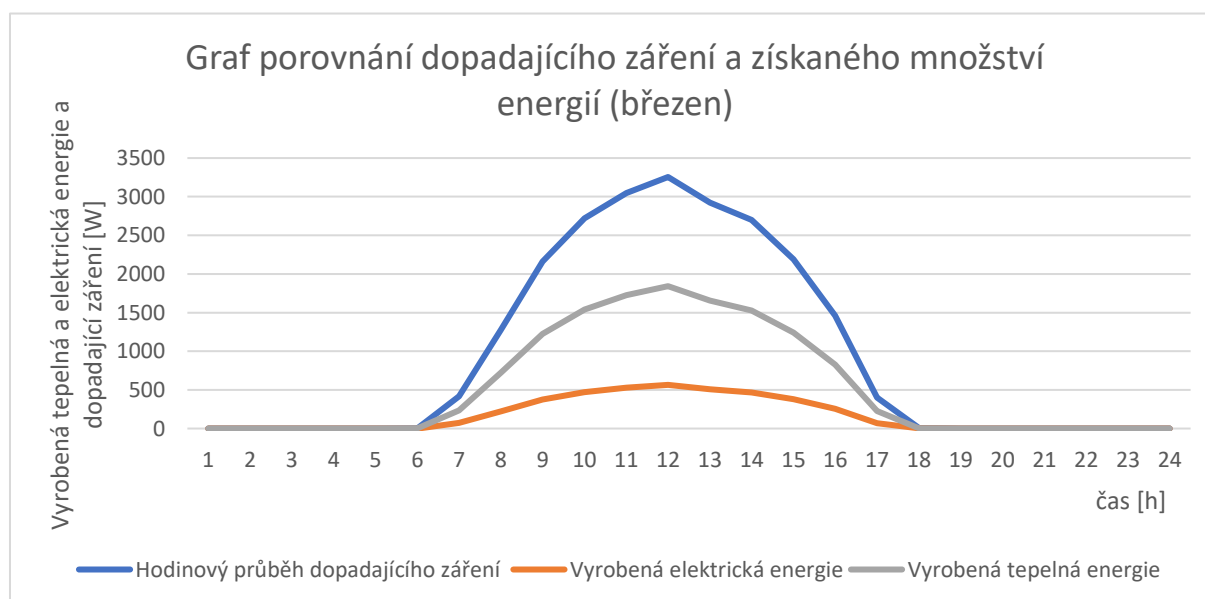
Tento hybridní fotovoltaicko-termický systém je navrhován na přechodná období v roce, kdy jsme schopni efektivně využít elektrickou, ale hlavně i tepelnou energii (předeřev TV). Avšak v ostatních měsících v roce jsou buď energetické zisky minimální nebo naopak mohou být poměrně vysoké a v takovém případě nastane problém s ukládáním energetických přebytků. Nedostatky nebudou v této práci řešeny, protože veškeré energetické nedostatky budou řešeny pomocí kotle na pelety (viz. kapitola 15.3). V této podkapitole byly zjištěny energetické zisky v těchto měsících (výpočty jsou v přílohách 3, 4, 5, 9, 10, 11). Výsledky bilancí v celém roce jsou uvedeny v tabulce 15.5.2.

Tab. 15.5.2 Odhad energetických zisků v celém roce

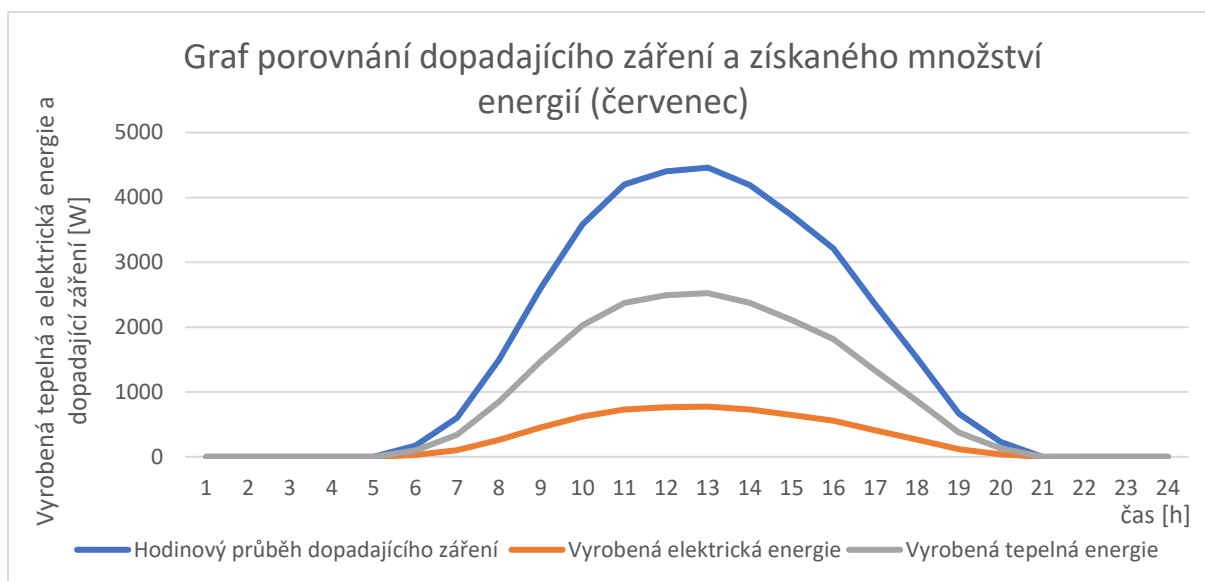
Měsíc	Získaná elektrická energie [kWh/měsíc]	Získaná tepelná energie [kWh/měsíc]
Leden	37,43	122,04
Únor	64,752	211,12
Březen	121,38	395,74
Duben	175,31	571,57
Květen	191,63	624,78
Červen	185,18	603,76
Červenec	201,65	657,45
Srpen	184,87	602,73
Září	150,01	489,08
Říjen	94,96	309,61
Listopad	42,38	138,18
Prosinec	34,56	112,68

Z výpočtů je patrné, že mimo přechodná období je systém buď méně výkonný nebo naopak vyrábí přebytky. Ale je důležité dodat, že tyto výpočty jsou brány pouze jako hrubá energetická bilance, protože v nich pracuji s průměrnými hodnotami. Pro zpřesnění výpočtů by bylo zapotřebí pro každý den v měsíci zjistit dopadající dávku sluneční radiace po hodinách, neboť zejména v přechodových měsících, kdy se prodlužují, respektive zkracují, dny, se může denní dávka sluneční radiace lišit výrazně na začátku a konci měsíce. To je důvod, proč výpočet musíme brát pouze jako orientační.

Pro dostatečné znázornění rozdílu mezi přechodným a letním obdobím z hlediska energetických zisků zde uvádím následující grafy. Grafy znázorňují hodinový průběh dopadajícího slunečního záření a energetických zisků v charakteristický den v měsíci. Na první pohled je patrné, že v důsledku mnohem většího množství dopadajícího, záření budou letní měsíce energeticky bohatší nežli zbývající část roku. Výsledky z ostatních měsíců jsou graficky znázorněny v přílohách



Obrázek 15.5.12 Porovnání dopadajícího záření a energetických zisků (březnový den)



Obrázek 15.5.13 Porovnání dopadajícího záření a energetických zisků (červencový den)

15.6 Výpočet energetických přebytků a nedostatků

V této části budu porovnávat odhadovaná množství vyrobené tepelné a elektrické energie s měsíčními spotřebami rodinného domku. Údaje o spotřebě elektrické energie jsem čerpal již ze zhotovené bakalářské práce, ve které je na stejnou budovu navrhován jiný energetický systém.

V bilančních výpočtech počítám elektrickou spotřebu domu s variantou, že v obou kuchyních je plynový sporák, což výrazně ovlivňuje spotřebu domu. Zároveň neberu v potaz ani podlahové vytápění, protože to budu využívat až v případě energetických přebytků. Ve výpočtech uvažuji, že by solární systém zásoboval teplem centrální zásobník TV, a proto by se voda dohřívala z 25 °C na 60 °C. V elektrických bilancích domku tedy počítám s potřebným příkonem o velikosti 2,2 kW. Jedná se o hrubou bilanci, protože uvažuji optimální průměrné solární podmínky v průběhu roku.

Tabulka 15.6.1 Porovnání energetických zisků a spotřeby elektrické energie

Měsíc	Výroba elektrická energie [kWh/měsíc]	Spotřeba elektrické energie [kWh/měsíc]	Bilance elektrické energie [kWh/měsíc]	Procentuální pokrytí el. energie FVT kolektory [%]
Leden	37,431	753,018	-715,587	4,97
Únor	64,752	680,146	-615,394	9,52
Březen	121,378	753,018	-631,640	16,12
Duben	175,308	728,727	-553,419	24,057
Květen	191,627	753,018	-561,391	25,45
Červen	185,18	728,727	-543,547	25,41
Červenec	201,65	753,018	-551,368	26,78
Srpen	184,865	753,018	-568,153	24,55
Září	150,008	728,727	-578,719	20,58
Říjen	94,962	753,018	-658,056	12,61
Listopad	42,382	728,727	-686,345	5,82
Prosinec	34,561	753,018	-718,457	4,59

Energetickou bilanci elektřiny počítám se spotřebou celého objektu, který se skládá ze dvou samostatných bytových jednotek. Z tabulky 15.6.1 je na první pohled jasné, že spotřebu domku není možné pokrýt navrhovaným množstvím hybridních fotovoltaicko-tepelných kolektorů.

Tabulka 15.6.2 Porovnání energetických zisků a spotřeby tepelné energie

Měsíc	Výroba tepelné energie [kWh/měsíc]	Spotřeba tepelné energie [kWh/měsíc]	Bilance tepelné energie [kWh/měsíc]	Procentuální pokrytí tep. energie FVT kolektory [%]
Leden	122,04	477,4	-355,36	25,56
Únor	211,116	431,2	-220,084	48,96
Březen	395,738	477,4	-81,662	82,89
Duben	571,569	462	109,569	123,72
Květen	624,776	477,4	147,376	130,87
Červen	603,756	462	141,756	130,68
Červenec	657,454	477,4	180,054	137,72
Srpen	602,729	477,4	125,329	126,25
Září	489,08	462	27,08	105,86
Říjen	309,612	477,4	-167,788	64,85
Listopad	138,18	462	-323,82	29,91
Prosinec	112,682	477,4	-364,718	23,60

15.7 Řešení energetických přebytků

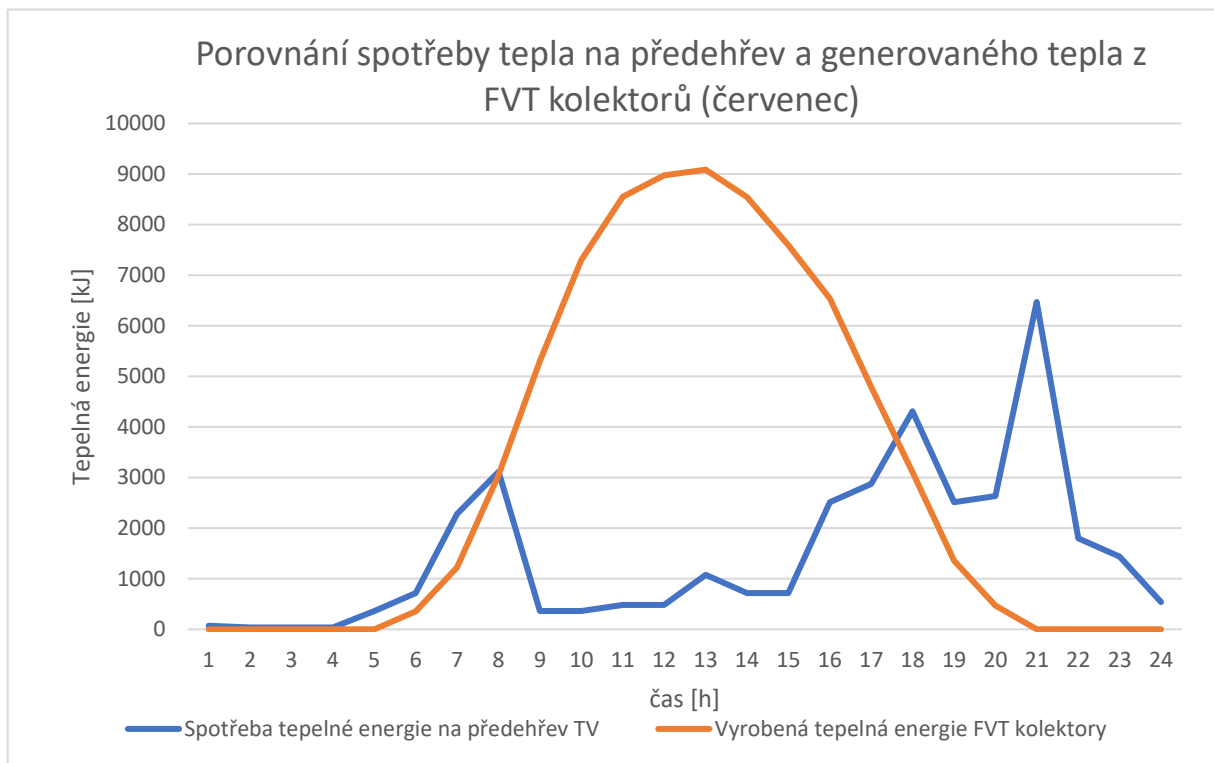
V této kapitole se budu podrobněji věnovat energetickým přebytkům, které bude systém generovat v letních měsících.

Z bilančních výpočtů bylo zjištěno, že spotřebu elektrické energie nelze pokrýt vyrobenou elektřinou z FVT kolektorů. Dokonce i v letních měsících, kdy na kolektory bude dopadat největší množství slunečního záření, bude systém schopen pokrýt maximálně 25% elektrické spotřeby domu. Zároveň bude systém schopen vyrábět dostatečné množství tepla v podobě teplé vody. V 6 měsících v roce se bude systém potýkat s tepelnými přebytky (resp. duben, květen, červen, červenec, srpen, září).

V přechodových měsících bych volil využití tepelných přebytků v podlahovém vytápění. V dubnu, květnu, částečně srpnu a září se jedná o optimální řešení. V těchto měsících by podlahové vytápění, podporované tepelnou energií z FVT kolektorů, vytvářelo ideální vnitřní prostředí z hlediska pocitové teploty.

V letních měsících, kdy je ve vnitřních prostorách domku příjemné chladnější prostředí v porovnání s venkovními teplotami, bych volil využití přebytků tepla v ohřevu vody ve venkovním bazénu. V ranních či večerních hodinách, kdy může být teplota vody venkovního bazénu nižší, by tak teplo z kolektorů prodlužovalo dobu, kdy by bylo možné bazén využívat.

V následujícím grafu je porovnání potřebného množství tepelné energie na předehřev teplé vody z 10 °C na 25°C. Z tohoto grafu je jasné patrné, kdy v průběhu dne bude systém generovat přebytky a naopak, kdy bude tepelné energie na předehřev nedostatek. Pro názornost zde uvádím graf pro měsíc červenec, protože se jedná o měsíc, ve kterém systém generuje největší množství tepelných přebytků. Zbývající grafy letních měsíců jsou uvedeny v přílohách 23, 24 a 25.



Obrázek 15.7 Porovnání spotřeby tepla na předehřev a generovaného tepla z FVT kolektorů (červenec)

Tento graf je klíčový pro výpočet množství ohřáté vody z kolektorů, kterou bude zapotřebí akumulovat. Na základě těchto výpočtů následně určím množství potřebných zásobníků TV. Výpočet množství ohřáté vody FVT kolektory:

$$V = Q_{FVT} \cdot \frac{1000 \cdot \tau}{\rho \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1)}$$

(15.7)

Q_{FVT} ... tepelný výkon FVT kolektorů v danou hodinu [W]

τ ... čas ohřevu vody [s]

ρ ... hustota vody [kg/m^3]

c_p ... měrná tepelná kapacita vody [$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$]

t_2, t_1 ... rozdíl před a po ohřevu vody FVT kolektory [$^{\circ}\text{C}$]

Z bilančních výpočtů již vím, že největší tepelné přebytky bude systém generovat v červenci. Tudíž výpočet množství ohřáté vody, kterou bude zapotřebí akumulovat, provedu pro referenční den v měsíci červenci. Výsledky tohoto výpočtu jsou uvedeny v tabulce 15.7.

Tabulka 15.7 Množství ohřáté vody FVT kolektory v ref. den (červenec)

Čas	Množství TV [l]	Čas	Množství TV [l]
1	0	13	136,59
2	0	14	121,47
3	0	15	104,60
4	0	16	76,64
5	5,66	17	49,71
6	19,58	18	21,64
7	48,77	19	7,50
8	84,83	20	0,01
9	116,70	21	0
10	136,77	22	0
11	143,52	23	0
12	145,30	24	0
Celkem		1 219 l	

Z tabulky 15.8 víme, jak velké množství vody přehřejší FVT kolektory v průběhu referenčního dne v červenci z 10 °C na 25 °C. Tyto hodnoty jsou do jisté míry nepřesné, protože nezahrnují tepelné ztráty v systému. Zároveň je důležité uvést ještě jednu tabulku, ve které je proveden stejný výpočet, zahrnující i spotřebu TV v průběhu dne (tab. 15.7.1).

Tabulka 15.7.1 Množství ohřáté vody FVT kolektory v ref. den se zahrnutou spotřebou TV (červenec)

Čas	Množství TV [l]	Čas	Množství TV [l]
1	-0,57	13	125,13
2	-0,57	14	110,01
3	-0,57	15	64,49
4	-5,73	16	30,80
5	-5,80	17	-19,05
6	-16,71	18	-18,47
7	-0,89	19	-34,52
8	79,10	20	-103,13
9	110,97	21	-28,65
10	129,13	22	-22,92
11	135,88	23	-8,60
12	128,11	24	-1,15
Přebytky celkem		913,61 l	
Celková denní bilance		646,28 l	

Na základě této tabulky již mohou říct, že mezi 8:00 až 16:00 systém vygeneruje 913,61 litrů vody o teplotě 25°C. Toto množství ohřáté vody je zapotřebí akumulovat, což zajistí více akumulačních nádob, než jsem se domníval v kapitole 12. Kvůli velkému objemu ohřáté vody bude zapotřebí zabudovat do systému čtyři zásobníky od firmy Dražice (Družstevní závody Dražice-Strojírna s.r.o.) o objemu 250 litrů. Systém budou tvořit 4 zásobníky od firmy Dražice a 1 zásobník od firmy ACV o celkové kapacitě 1 200 litrů. Kapacita je mírně předdimenzovaná, aby byla schopna akumulovat teplo i

v době, kdy bude nižší odběr TV oproti průměrným hodnotám. Parametry nově zvolených zásobníků jsou uvedeny v příloze 28. [35]

Tento systém akumulačních nádob při nulovém odběru (př. dovolená) umí akumulovat zhruba pětidenní sluneční radiaci v době nejnepříznivějšího měsíce července. Na konci takového krizového období by teplota vody v zásobnících byla okolo 75 °C, což je hraniční teplota, při jejímž překročení by mohlo dojít k poškození laminace kolektorů a jiných technologií. Po překročení těchto limitních hodnot je již nutné zakrýt plochu kolektorů roletami. Dále je možné zakrýt pouze určitý počet kolektorů, aby nedošlo k úplné ztrátě fotovoltaické funkce FVT kolektorů.

15.8 Ekonomika projektu

V ekonomické části jsem se zaměřil na hrubý odhad počáteční investice, roční finanční úspory a dobu návratnosti.

15.8.1 Roční úspory energií

V následujících výpočtech zjistím roční finanční úsporu, které dosáhnou pomocí navrhovaného systému. V kapitole 11.6 vidíme, že tento systém by byl schopen ročně vyrobit 1 484,104 kWh elektrické energie a 4 838,732 kWh tepelné energie.

Elektrická energie

Referenční dům odebírá elektrickou energii od ČEZ Prodej, a. s. Protože neznám reálnou roční platbu za elektrickou energii, rozhodl jsem se zvolit, na základě zjištěných dat v předchozích výpočtech, optimální tarif, který je uveden v příloze 27 – Smlouva na dva roky Standard.

Elektrická spotřeba referenčního rodinného domku je 8 841,89 kWh za rok, jak je uvedeno v tabulce 15.8.1. Z dostupných materiálů neznám konkrétní tarif ani finanční toky spojené s dodávkou elektrické energie ze sítě, proto jsem na základě zjištěných hodnot nucen zvolit optimální tarif pro referenční dům. Vzhledem k nízkému elektrickému výkonu FVT kolektorů je podíl akumulačního a elektrického výkonu minimální, a proto jsem se rozhodl zvolit jednotarifový tarif Standard. Veškeré položky celkové ceny elektřiny podle zvoleného tarifu od společnosti ČEZ Prodej a.s. jsou uvedeny v tabulce 15.8. [36]

Tabulka 15.8 Položky ceny elektřiny od ČEZ Prodej, a. s. [36]

Vysoký tarif	4,39	Kč/kWh
Stálá platba	119,79	Kč/měsíc
Distribuce	2,61	Kč/kWh
Platba za rezervovaný příkon podle jističe	64,13	Kč/měsíc
Daň z elektřiny	0,034	Kč/kWh
Systémové služby	0,14	Kč/kWh
Činnost OTE	5,08	Kč/měsíc
Podpora výkupu elektřiny z OZE	0,599	Kč/kWh

Tabulka 15.8.1 Vypočtená spotřeba elektřiny a odpovídající cena [36]

	Spotřeba [kWh/rok]	Cena [Kč/rok]
Vysoký tarif	8 841,89	70 950,7

Od této vypočtené hodnoty lze odečíst získanou elektrickou a tepelnou energii, a tudíž i zjistit finanční úspory.

$$S = S_D - E_D = 8\,841,8928 - 1\,484,104 = 7\,357,79 \text{ kWh/rok}$$

(15.8.1)

S_D ...roční spotřeba elektrické energie rodinného domku

E_D ...množství vyrobené elektrické energie z FVT kolektorů za rok

Tabulka 15.8.1.1 Vypočtené spotřeby elektřiny a odpovídající ceny v závislosti na FVT kolektorech [36]

	Spotřeba [kWh/rok]	Cena [Kč/rok]
Vysoký tarif	7 357,79	59 422,3

Pokud porovnáme obě tabulky, zjistíme, že vyrobená elektrická energie z FVT kolektorů nám ušetří 11 528,3 Kč ročně.

Tepelná energie – ohřev TV

Z předchozích výpočtů již vím, že spotřeba tepelné energie na výrobu TV v referenčním rodinném domku činí 5 621 kWh ročně. Instalované FVT kolektory by byly schopny vyrobit ročně až 4 838,732 kWh tepelné energie v podobě teplé vody.

Výpočet úspory na výrobě teplé vody je idealizovaný, ale i přesto velice užitečný při zjišťování doby návratnosti vstupní investice projektu. Pomocí vyrobené tepelné energie z FVT kolektorů, mohou finančně vyčíslit úsporu elektrické energie, která by za současných okolností byla potřeba na předeřev TV z 10 °C na 25 °C. K vyčíslení úspor elektrické energie používám stejný tarif jako v předchozích výpočtech.

Tabulka 15.8.1.2 Spotřebovaná tepelná energie za rok a její odpovídající cena [36]

	Spotřeba [kWh/rok]	Cena [Kč/rok]
Vysoký tarif	5 621	45 931

Od této vypočtené hodnoty budu nyní moci odečíst získanou tepelnou energii v podobě TV, a tudíž i finanční úspory.

$$Q = S_d - Q_D = 5621 - 4\,838,732 = 782,27 \text{ kWh/rok}$$

(15.7.1.1)

S_d ...roční spotřeba tepla na výrobu TV rodinného domku

Q_D ...množství vyrobené tepelné energie z FVT kolektorů za rok

Tabulka 15.8.1.3 Vypočtená spotřeba tepelné energie a odpovídající cena v závislosti na FVT kolektorech [36]

	Spotřeba [kWh/rok]	Cena [Kč/rok]
Vysoký tarif	782,27	8 344,56

Z porovnání tabulek 15.8.1.2 a 15.8.1.3 je patrné, že roční úspora na tepelné energii k výrobě TV, by v ideálním případě mohla dosahovat až 37 586,6 Kč za rok. Jedná se pouze o hrubý výpočet, který nebere v potaz roční období.

Úspora na elektřině a tepelné energii za rok činí: 11 528,3 + 37 586,6 = 49 115 Kč.

15.8.2 Počáteční investice

Pro zjištění celkové počáteční investice počítám s veškerými potřebnými komponenty systému (viz. Obrázek 15). Jednotlivé položky jsou uvedeny v tabulce 15.8.2.

Tabulka 15.8.2 – Vstupní náklady investice [20] [21] [22] [23] [35]

Položka	Množství [-]	Cena za kus [Kč]
TESZeus PV-T 250 W	6	8 462
Zásobník ACV Smart 200	1	37 450
Zásobník Dražice OKCE 250 S	4	20 401
Zásobníkový ohřívač OKHE Smart 160	2	10 948
Oběhové čerpadlo COMFORT UP 15-14BA PM	2	5 350
Střídač GoodWe 5K ET	1	48 990
Regulátor přetoků WATTrouter ECO	1	5 929
Montáž (včetně materiálu)	1	85 000
Uvedení do provozu, elektromateriál, zapojení	1	16 800
Revize elektroinstalace	1	2 600
CELKEM	19	361 525

V tabulce 15.8.2 jsou uvedené ceny jednotlivých položek nutných pro navrhovaný systém. Jedná se pouze o hrubou kalkulaci, například i kvůli ceně montáže, která by se mohla v konečném důsledku lišit z důvodu specifčnosti instalace, kterou hybridní fotovoltaický systém představuje.

15.8.3 Prostá návratnost investice

V předchozích kapitolách bylo zjištěno vše potřebné k tomu, abych nyní mohl provést prostou návratnost celé investice.

$$T_s = \frac{IN}{CF} = \frac{361\,525}{49\,115} = 7,36 \text{ let}$$

(15.8.3)

T_s ...doba návratnosti [Kč]

IN ...investiční náklady [Kč]

CF ...roční úspora nákladů [Kč]

Prostá návratnost investice vychází v horizontu necelých 8 let.

15.8.4 Diskontovaná návratnost investice

Diskontovaná návratnost oproti prosté neuvažuje konstantní peněžní tok, tudíž je logické, že vyjde větší nežli prostá.

$$SH = BH \cdot \frac{1}{(1+i)^n}$$

(15.8.4)

SH = současná hodnota (diskontovaná úspora)

BH = budoucí hodnota (roční úspora)

i = diskontní faktor (4 %)

n = počet let

Tabulka 15.8.4 Diskontovaná návratnost

1. rok	47 225 Kč
2. rok	45 409 Kč
3. rok	43 663 Kč
4. rok	41 983 Kč
5. rok	40 368 Kč
6. rok	38 816 Kč
7. rok	37 323 Kč
8. rok	35 888 Kč
9. rok	34 508 Kč
Celkem	365 186 Kč

Diskontovaná návratnost vstupní investice vychází na necelých 9 let. S rostoucí cenou elektřiny a tepla, v důsledku evropského a téměř celosvětového přechodu na bezuhlíkovou energetiku, lze odhadovat, že prostá i diskontovaná návratnost této investice by mohla být v obou případech nižší.

15.8.5 Finanční zisk z projektu

V předchozích kapitolách 15.8.3 a 15.8.4 bylo zjištěno, že doba návratnosti investice se bude pohybovat v rozmezí 7 až 9 let. Po uplynutí této doby bude systém minimálně dalších 16 let fungovat, a tudíž bude generovat finanční zisk majiteli objektu. Pro zjednodušení výpočtu nebudu uvažovat pokles výkonu, proto bude vypočítaný zisk pouze orientační.

$$SH = BH \cdot \frac{1}{(1 + i)^n}$$

(15.8.5)

SH = současná hodnota (diskontovaná úspora)

BH = budoucí hodnota (roční úspora)

i = diskontní faktor (4 %)

n = počet let

Tabulka 15.8.5 Finanční zisk projektu

9. rok	34 507	19. rok	23 312
10. rok	33 180	20. rok	22 415
11. rok	31 904	21. rok	21 553
12. rok	30 677	22. rok	20 724
13. rok	29 497	23. rok	19 927
14. rok	28 362	24. rok	19 160
15. rok	27 271	25. rok	18 423
16. rok	26 222	CELKEM	436 600 Kč
17. rok	25 214		
18. rok	24 244		

Na základě výpočtu pro diskontovanou návratnost bylo zjištěno, že hrubý zisk by mohl činit 548 627 Kč za celou dobu života FVT systému. Ale je možné, že by se zisk mohl pohybovat i ve vyšších číslech v důsledku vyšší ceny elektřiny v následujících letech a možné delší životnosti FVT panelů.

15.8.6 Citlivostní analýza

Kompletní studie proveditelnosti projektu je v mnoha ohledech snadno ovlivnitelná vstupními parametry. V dřívějších kapitolách jsem zde již zmiňoval, že do projektu vstupuje výrazně cena elektřiny, která bude v následujících letech jistě růst. Další ze vstupních parametrů, který by výrazně ovlivnil výpočty, je volba lokality a objektu, kde bychom chtěli tento projekt realizovat. Hodnoty denní sluneční radiace se totiž výrazně liší, pokud porovnáme hodnoty získané v charakteristický den ve Střekově (Ústí nad Labem) a oblasti jižní Moravy jako je například vesnice Buchlovice ve Zlínském kraji.

Tabulka 15.8.6 Porovnání dopadající energie ve formě slunečního záření v různých lokalitách v ČR [30]

Lokalita v ČR	Úhrn dopadající sluneční radiace za den [Wh/m ²]
Buchlovice (Zlínský kraj)	3 645,8
Střekov (Ústecký kraj)	3 268,7

Úhrn dopadající sluneční radiace za den je v Buchlovicích vinou jižnější polohy o 11,54 % vyšší než ve Střekově (Ústí nad Labem). Změna lokality by v tomto případě mohla znamenat zvýšení elektrických i tepelných zisků oproti původní lokalitě a tím by se i změnil ekonomické kalkulace.

Následující vstupní parametr je těžké posoudit z hlediska ovlivnitelnosti výpočtů. Tím parametrem je cena komponent instalovaného systému. Cena komponent by se mohla s rozrůstajícím se trhem s hybridními FVT kolektory (systémy) snižovat v závislosti na rostoucí konkurenci. Na druhou stranu je možné, že s narůstající inflací bude i cena těchto specifických komponent vyšší. Zároveň je důležité zohlednit pandemii Covidu-19, která velice negativně ovlivnila ekonomiku celého světa. Další událostí, která neblaze ovlivnila ekonomiku v poslední době, je válečný konflikt na Ukrajině. Z těchto důvodů je složité posoudit, jakým způsobem by tento parametr mohl ovlivnit projekt v budoucnu.

Vliv na celý projekt by měla zajisté i volba jiného druhu FVT kolektorů. V navrhovaném systému uvažují monokrystalické panely. U těchto panelů je známo, že mají nepatrně vyšší účinnost při přímém svitu slunce, tedy například v létě, oproti polykrystalickým panelům. Rozdíl je však nepatrný, řádově 1-2 % výkonu. Polykrystalické panely dosahují lepších výsledků při difúzním záření (obloha pod mrakem), kdy jsou schopné lépe využít nepřímého osvitů oproti monokrystalickým panelům. Je tedy možné, že, pokud bychom zvolili polykrystalické FVT kolektory, mohly by produkovat vyšší elektrické zisky v přechodných obdobích, kdy lze počítat s vyšší mírou difúzního záření v důsledku oblačnosti.

Předposledním vstupním parametrem, který bych zde rád uvedl, je počet osob v objektu, pro který systém navrhujeme. Počet osob v referenčním domku silně ovlivní spotřebu teplé vody i elektrické energie.

Poslední faktor, který by silně ovlivnil provoz tohoto systému, a tudíž i celou ekonomiku projektu, je okolní teplota vzduchu v zimním a letním období. Do systému je zakomponováno 6 FVT kolektorů TESZeus PV-T 250 W. Jedná se o nezasklené kapalinové kolektory což znamená, že ohřev kapaliny proudící kolektorem, je silně závislý na venkovní teplotě, neboť kolektory nemají zasklení, které by fungovalo jako izolace. Z tohoto důvodu je pravděpodobné, že reálné hodnoty tepelných zisků v zimě, by mohly být nižší než hodnoty výpočtové. Naopak v letních měsících by mohly být reálné tepelné zisky vyšší než výpočtové hodnoty.

16. Závěr

V první části této bakalářské práce byla provedena detailní rešerše fotovoltaicko – termických kolektorů a systémů s hybridními FVT kolektory. V této části je vysvětlen princip fungování všech možných variant FVT kolektorů. Jsou zde uvedeni výrobci kapalinových a vzduchových kolektorů ze světa i z České republiky. Zároveň jsou v rešerších popsány nezbytné komponenty pro FVT systémy. Důležitou část rešerší tvoří popis reálných instalací FVT systémů v ČR i ve světě, protože na základě těchto uskutečněných projektů jsem zjistil, že tyto systémy jsou provozu schopné, a tudíž postup návrhu systému v praktické části, který jsem zvolil, je správný.

Praktická část mojí bakalářské práce zastupuje v praxi prováděnou studii proveditelnosti. V této části jsem navrhl fotovoltaicko-termický systém na vylepšení energetické bilance RD. Systém je navržen pro rodinný dům ve Střekově, Ústí nad Labem. Systém byl navržen na pokrytí tepelných ztrát objektu. Tímto přístupem jsem zamezil předimenzování systému z hlediska tepelných zisků především v letních měsících. Dále jsem zjistil průměrnou denní spotřebu tepelné energie (ohřev TV) a elektřiny, abych posléze mohl provést bilanční výpočty. Tepelné a elektrické zisky FVT kolektorů jsem zjistil na základě simulace dopadající solární radiace ve zvolené lokalitě pomocí programu PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). Výsledky z programu PVGIS jsem ověřil validací pomocí normy ČSN 73 0548 a programu Helioclim. Výsledky považuji za dostačující, a proto jsem mohl ve výpočtech tepelných a elektrických zisků pokračovat. Při mapování sluneční radiace byl použit měsíční krok na základě referenčního dne. Tato zvolená metoda není příliš přesná v porovnání s hodinovým intervalem. Tímto přesnějším postupem se budu zabývat v rámci svého navazujícího magisterského studia a diplomové práce. Daná zjednodušená metoda byla použita pro účely studie proveditelnosti, která ukázala, že navrhované zařízení je technicky i ekonomicky použitelné. V ekonomickém hodnocení jsem došel k závěru, že navrhovaný systém zlepšuje energetickou bilanci RD. Diskontovaná návratnost vstupní investice projektu vychází necelých 9 let a po uplynutí této doby by systém dalších 16 let mohl fungovat a generovat finanční zisk. V budoucnu lze předpokládat trend rostoucí ceny elektřiny a tepelné energie, což bude mít pozitivní efekt na dobu návratnosti počáteční investice.

V kontextu neustále se zvyšujících cen elektřiny, zemního plynu a dálkového tepla lze očekávat, že podobných instalací bude přibývat a trh s hybridními fotovoltaicko – termickými kolektory se bude nadále rozvíjet a jejich jednotková cena bude klesat.

Zdroje

- [1] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [2] POKORNÝ, Nikola a Tomáš MATUŠKA. Hybridní fotovoltaicko-tepelné kolektory ve světle nové statistiky. *TZB-info* [online]. 19. prosinec 2019 [vid. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/20002-hybridni-fotovoltaicko-tepelne-kolektory-ve-svetle-nove-statistiky>
- [3] BUCHTA, Luboš. Solární hybridní fotovoltaicko-tepelné kolektory - přehled. *TZB-info* [online]. 8. říjen 2012 [vid. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9138-solarni-hybridni-fotovoltaicko-tepelne-kolektory-prehled>
- [4] *AZE2-P7_Hybridni_FVT.pdf* [online]. [vid. 2022-03-01]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2020/04/AZE2-P7_Hybridni_FVT.pdf
- [5] STAFF, Solar Choice. Solimpeks Hybrid PV-Thermal solar panels in Australia. *Solar Choice* [online]. 15. červenec 2013 [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.solarchoice.net.au/blog/solimpeks-hybrid-pv-thermal-solar-panels-in-australia/>
- [6] *Solator - use the sun twice: PV+THERM ONROOF* [online]. [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: <http://www.solator.cc/en/products/collectors/pv-therm-onroof/>
- [7] *TESZEUS PV-T Photovoltaic Thermal Hybrid Solar Collector - Solar Water Heaters - Zhuhai Tianke Energy-Saving Equipment Manufacture Co., Ltd.* [online]. [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: http://www.tessolarwater.com/index_en.html?zeuspv-t.html&2
- [8] *Solar-Angel.pdf* [online]. [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.epcbuildings.co.uk/wp-content/uploads/2018/10/Solar-Angel.pdf>
- [9] *Products - Power Panel® IND* [online]. 7. září 2020 [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://in.powerpanel.com/products/>, <https://in.powerpanel.com/products/>
- [10] HORČÍK, Jan. *Tesla představila nové solární střešní tašky – jsou jednodušší a levnější* [online]. 4. listopad 2019 [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/tesla-predstavila-nove-solarni-stresni-tasky-jsou-jednodussi-levnejsi/>
- [11] TWINSOLAR. *Grammer Solar GmbH* [online]. [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.grammer-solar.com/de/solarluft/solarluft-kollektoren/twinsolar.html>
- [12] [HTTPS://WWW.MEDIAHEROES.CZ](https://www.mediaheroes.cz), Michal Hanč-Media Heroes s r o. *Teplovzdušný solární panel SolarVenti - SV14 A SlimLine (70m2)* [online]. [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.solarventi.cz/produkt/sv14-a-slimline-9.html>
- [13] NAKED ENERGY. Presentation: Solar redefined. UK. 26. listopad 2020.
- [14] NAKED ENERGY. Presentation: VirtuPVT Specifications. UK. 26. listopad 2020.
- [15] MATUŠKA, Tomáš. *Odborná zpráva o postupuprací a dosažených výsledcích za roky 2015-2017*. TA04021195. B.m.: TAČR. nedatováno.

- [16] Company. *Endef* [online]. [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://endef.com/en/company/>
- [17] RAMSCHAK, Thomas. */ieashc-task60-2020-0001* [online]. B.m.: IEA SHC Task 60. 2020 [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: doi:10.18777/ieashc-task60-2020-0001
- [18] *Convert Energy | About Us* [online]. [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.convertenergy.co.uk/about>
- [19] *Convert Energy Projects* [online]. [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.convertenergy.co.uk/case-studies>
- [20] *Solar_PVT_FINAL__1_.pdf* [online]. [vid. 2022-03-03]. Dostupné z: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/545246/Solar_PVT_FINAL__1_.pdf
- [21] SHOP, Smíchov Expo. GoodWe ET: 5 / 8 / 10 kW (Hybrid 3F) [asymetrický] Goodwe Solax krajiczech Canadian Solar Pylontech Sunpro AEG EON Renusol Fronius Varta Solarwatt Inverter Battery Střídače Baterie - Smíchov Expo Shop. *smichovexpo.shop* [online]. [vid. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://www.smichovexpo.shop/goodwe-10k-et-2x-mppt/>
- [22] Regulátor WATTrouter ECO bez měřicího modulu. *ECO PRODUKT s. r. o.* [online]. [vid. 2022-03-05]. Dostupné z: https://ecoprodukt.cz/p/76824-regulator-wattrouter-eco-bez-mericiho-modulu-17201?gclid=Cj0KQCjwp86EBhD7ARIsAFkgakji1eVoycVwAG7EtcRWk5wLNmGz4bw3TT6X3fLbI54ps1sellEYISEaAvZ3EALw_wcB
- [23] [HTTP://WEBOVY-SERVIS.CZ](http://webovy-servis.cz), Webový servis-. Bola. *Bola* [online]. [vid. 2022-03-05]. Dostupné z: https://www.bola.cz/cirkulacni-cerpadlo-grundfos-comfort-up-15-14b-pm?gclid=CjwKCAiAwrf-BRA9EiwAUWwKXoQ2dc3Lqgv_aS8Y3zA_prPKVPA4FJnDtyq3H7ItAK1hDXtPocb5hBoCUIAQAvD_BwE
- [24] *Smart ME 200 - Produkt - ACV* [online]. [vid. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://www.acv.com/cz/product/06625101-461/smart-me-200#specifications>
- [25] ŠLEFR, Libor. *Optimalizace způsobu vytápění rodinného domu*
- [26] *Projekční podklady a pomůcky* [online]. [vid. 2022-03-05]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&id=3>
- [27] KUČERA, Tomáš a Dušan KADULA. Stanovení potřeby vody v případě malých spotřebičů. *TZB-info* [online]. [vid. 2022-03-08]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/8156-stanoveni-potreby-vody-v-pripade-malych-spotrebist>
- [28] *OKHE SMART - Ohříváče a zásobníky teplé vody Dražice* [online]. [vid. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://www.dzd.cz/ohrivace-a-zasobniky-teple-vody/elektricke/zavesne/okhe-smart#technicke-parametry>
- [29] *Galmet EKO-SG 25 M KWP - Automatický kotel Galmet EKO SG 25 M (pravý) - Automatické kote typ EKO SG M | Ohřej.se - tepelná technika, solární systémy, zásobníky, nádrže, regulace,* [online]. [vid. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://www.ohrej.se/galmet-eko-sg-25-m-kwp-automaticky-kotel-galmet-eko-sg-25-m-pravy-eanGA07252000-skup1G10000101.php>

- [30] *JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission* [online]. [vid. 2022-03-05]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR
- [31] *Fotovoltaika* [online]. [vid. 2022-03-05]. Dostupné z: <http://www.spvez.cz/pages/OZE/fotovoltaika.htm>
- [32] ZMRHAL, Vladimír. *Projekt III - Vzduchotechnika*. B.m.: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí. Popis výpočtu tepelné zátěže klimatizovaných prostor podle ČSN
- [33] HelioClim-3 Archives demo. *SoDa* [online]. [vid. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://www.soda-pro.com>
- [34] ABOUT US. *SoDa* [online]. [vid. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.soda-pro.com>
- [35] *OKCE S - Ohřivače a zásobníky teplé vody Dražice* [online]. [vid. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://www.dzd.cz/ohrivace-a-zasobniky-teple-vody/elektricke/stacionarni/okce-s#technicke-parametry>
- [36] *new-cenik_elektrina_na-2-roky_moo_2022_cezdi_web.pdf* [online]. [vid. 2022-04-15]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2022/moo/new-cenik_elektrina_na-2-roky_moo_2022_cezdi_web.pdf

Seznam příloh

Příloha 1: Výpočet energetických zisků – duben

Příloha 2: Výpočet energetických zisků – květen

Příloha 3: Výpočet energetických zisků – červen

Příloha 4: Výpočet energetických zisků – červenec

Příloha 5: Výpočet energetických zisků – srpen

Příloha 6: Výpočet energetických zisků – září

Příloha 7: Výpočet energetických zisků – říjen

Příloha 8: Výpočet energetických zisků – listopad

Příloha 9: Výpočet energetických zisků – prosinec

Příloha 10: Výpočet energetických zisků – leden

Příloha 11: Výpočet energetických zisků – únor

Příloha 12: Průměrný březnový den z dat Helioclimu

Příloha 13: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – lednový den

Příloha 14: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – únorový den

Příloha 15: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – dubnový den

Příloha 16: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – květnový den

Příloha 17: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – červnový den

Příloha 18: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – srpnový den

Příloha 19: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – zářijový den

Příloha 20: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – říjnový den

Příloha 21: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – listopadový den

Příloha 22: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – prosincový den

Příloha 23: Porovnání spotřeby tepla na předeřev a generovaného tepla z FVT kolektorů (květen)

Příloha 24: Porovnání spotřeby tepla na předeřev a generovaného tepla z FVT kolektorů (červen)

Příloha 25: Porovnání spotřeby tepla na předeřev a generovaného tepla z FVT kolektorů (srpen)

Příloha 26: Výkres střechy referenčního domu

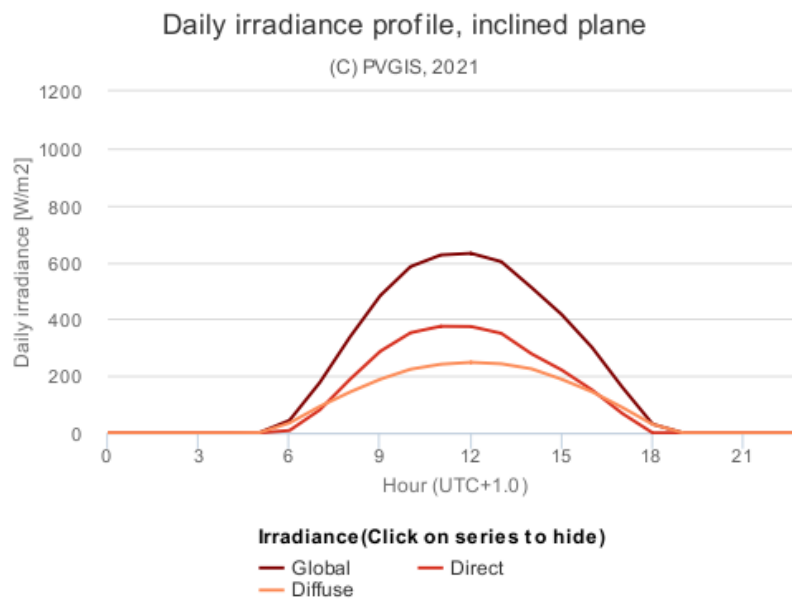
Příloha 27: Ceník elektřiny od ČEZ Prodej, a. s. – Smlouva na 2 roky

Příloha 28: Parametry zásobníkového ohříváče OKCE 250 S (Dražice)

Přílohy

Příloha 1: Výpočet energetických zisků – duben

Duben



Obrázek 15.5.2 Hodinový průběh sluneční radiace dopadající do referenční lokality v dubnu [30]

Elektrická energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_e = G_{zár} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{el} \cdot z \cdot d = 175,308 \text{ kWh/měsíc}$$

(15.5.1.13)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Tepelná energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_v = G_{zár} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{tep} \cdot z \cdot d = 571,569 \text{ kWh/měsíc}$$

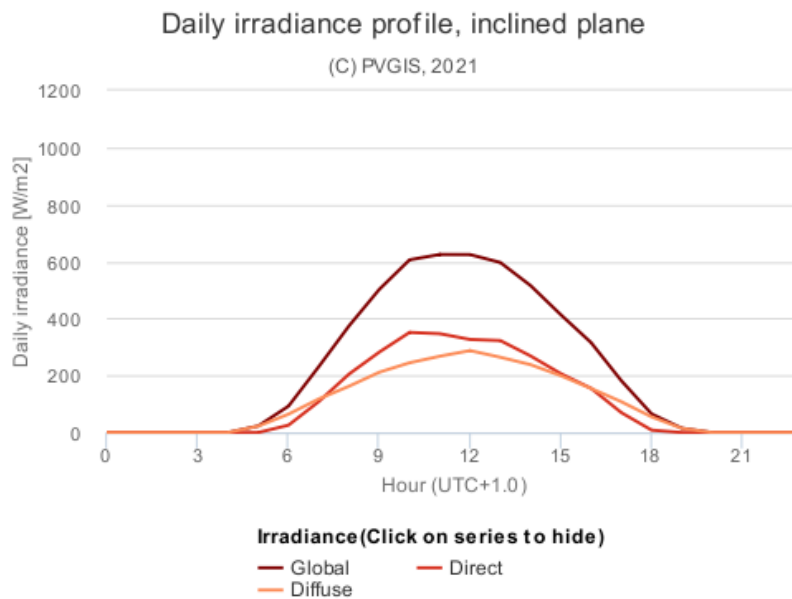
(15.5.1.14)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Příloha 2: Výpočet energetických zisků – květen

Květen



Obrázek 15.5.3 Hodinový průběh sluneční radiace dopadající do referenční lokality v květnu [30]

Elektrická energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_e = G_{zár} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{el} \cdot z \cdot d = 191,627 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

(15.5.1.15)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Tepelná energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_v = G_{zár} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{tep} \cdot z \cdot d = 624,776 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

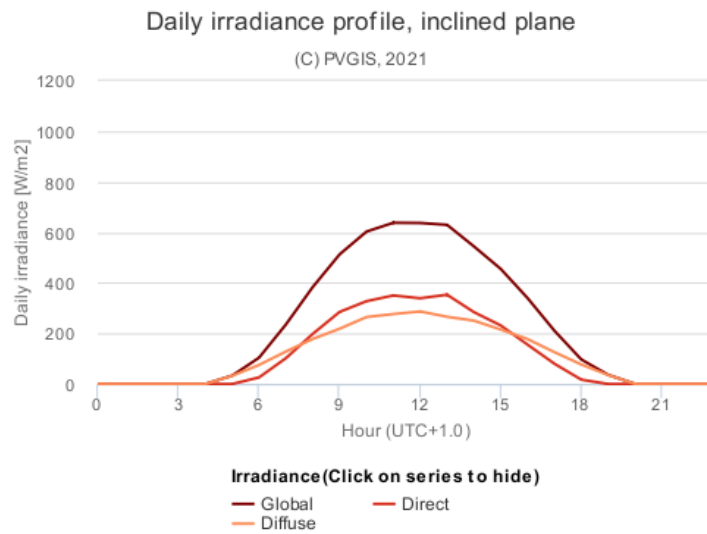
(15.5.1.16)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Příloha 3: Výpočet energetických zisků – červen

Červen



Obrázek 15.5.9 Hodinový průběh sluneční radiace dopadající do referenční lokality v červnu [30]

Elektrická energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_e = G_{zár} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{el} \cdot z \cdot d = 185,18 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

(15.5.1.29)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Tepelná energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_v = G_{zár} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{tep} \cdot z \cdot d = 603,756 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

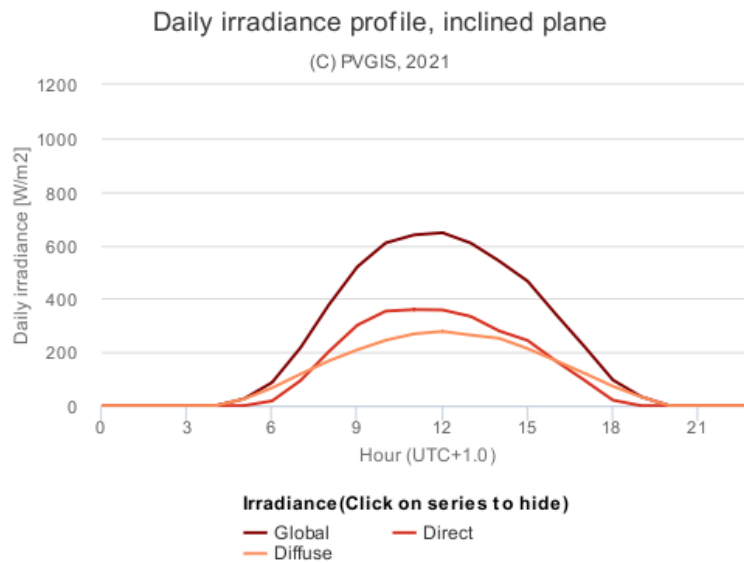
(15.5.1.30)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Příloha 4: Výpočet energetických zisků – červenec

Červenec



Obrázek 15. 5. 10 Hodinový průběh sluneční radiace dopadající do referenční lokality v červenci [30]

Elektrická energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_e = G_{zár} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{el} \cdot z \cdot d = 201,65 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

(15.5.1.31)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Tepelná energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_v = G_{zár} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{tep} \cdot z \cdot d = 657,454 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

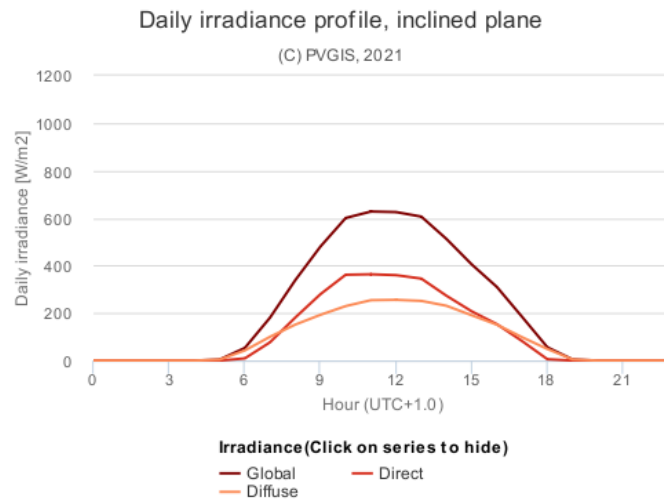
(15.5.1.32)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Příloha 5: Výpočet energetických zisků – srpen

Srpen



Obrázek 15. 5. 11 Hodinový průběh sluneční radiace dopadající do referenční lokality v srpnu [30]

Elektrická energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_e = G_{z\acute{a}\ddot{r}} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{el} \cdot z \cdot d = 184,865 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

(15.5.1.33)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Tepelná energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_v = G_{z\acute{a}\ddot{r}} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{tep} \cdot z \cdot d = 602,729 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

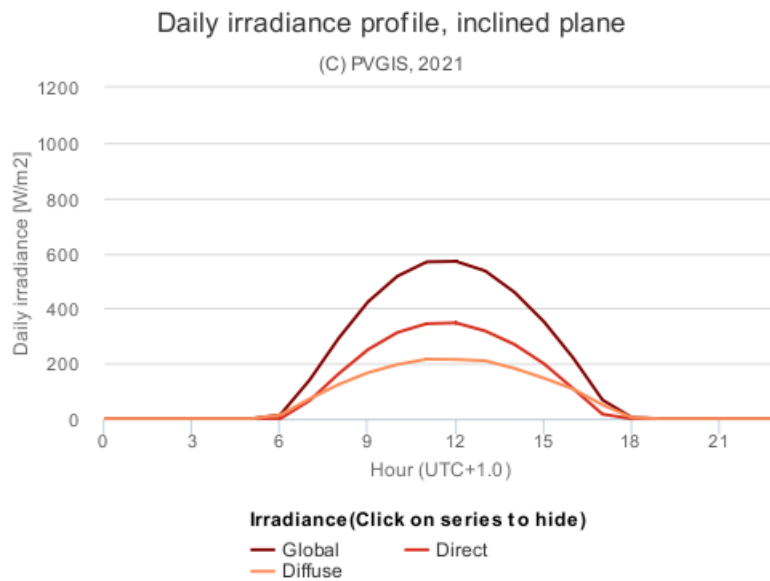
(15.5.1.34)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Příloha 6: Výpočet energetických zisků – září

Září



Obrázek 15.5.4 Hodinový průběh sluneční radiace dopadající do referenční lokality v září [30]

Elektrická energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_e = G_{zár} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{el} \cdot z \cdot d = 150,008 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

(15.5.1.17)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Tepelná energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_v = G_{zár} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{tep} \cdot z \cdot d = 489,08 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

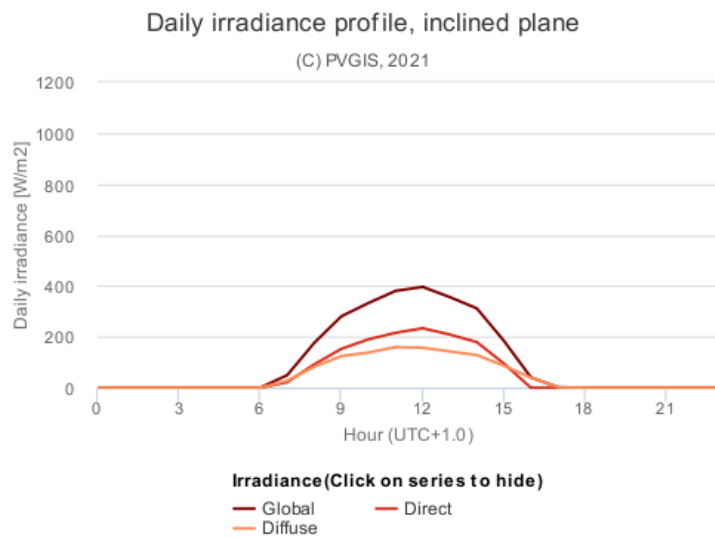
(15.5.1.18)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Příloha 7: Výpočet energetických zisků – říjen

Říjen



Obrázek 15.5.5 Hodinový průběh sluneční radiace dopadající do referenční lokality v říjnu [30]

Elektrická energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_e = G_{zár} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{el} \cdot z \cdot d = 94,962 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

(15.5.1.19)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Tepelná energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_v = G_{zár} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{tep} \cdot z \cdot d = 309,612 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

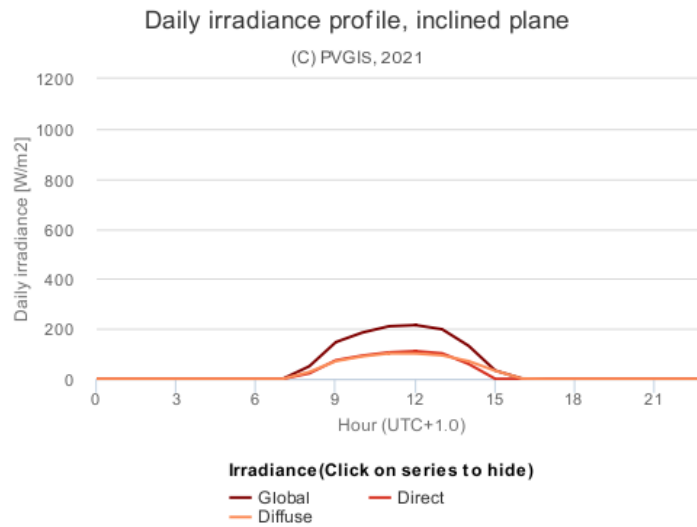
(15.5.1.20)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Příloha 8: Výpočet energetických zisků – listopad

Listopad



Obrázek 15.5.5 Hodinový průběh sluneční radiace dopadající do referenční lokality v listopadu [30]

Elektrická energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_e = G_{zár} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{el} \cdot z \cdot d = 42,382 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

(15.5.1.21)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Tepelná energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_v = G_{zár} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{tep} \cdot z \cdot d = 138,18 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

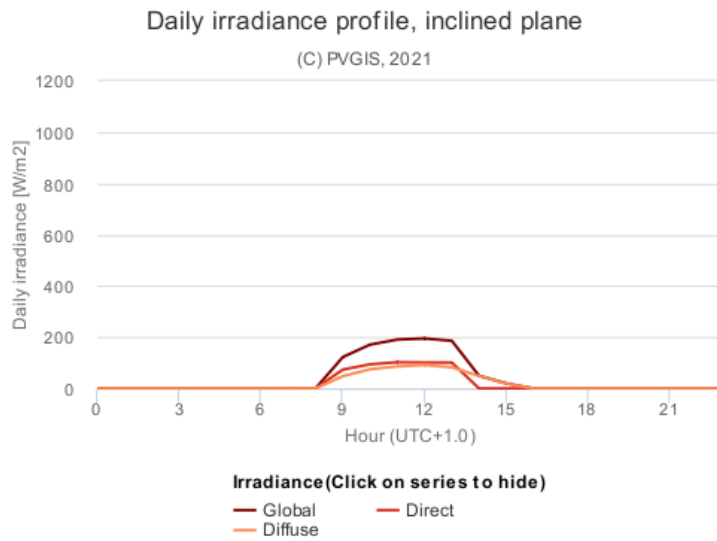
(15.5.1.22)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Příloha 9: Výpočet energetických zisků – prosinec

Prosinec



Obrázek 15.5.6 Hodinový průběh sluneční radiace dopadající do referenční lokality v prosinci [30]

Elektrická energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_e = G_{zár} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{el} \cdot z \cdot d = 34,561 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

(15.5.1.23)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Tepelná energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_v = G_{zár} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{tep} \cdot z \cdot d = 112,682 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

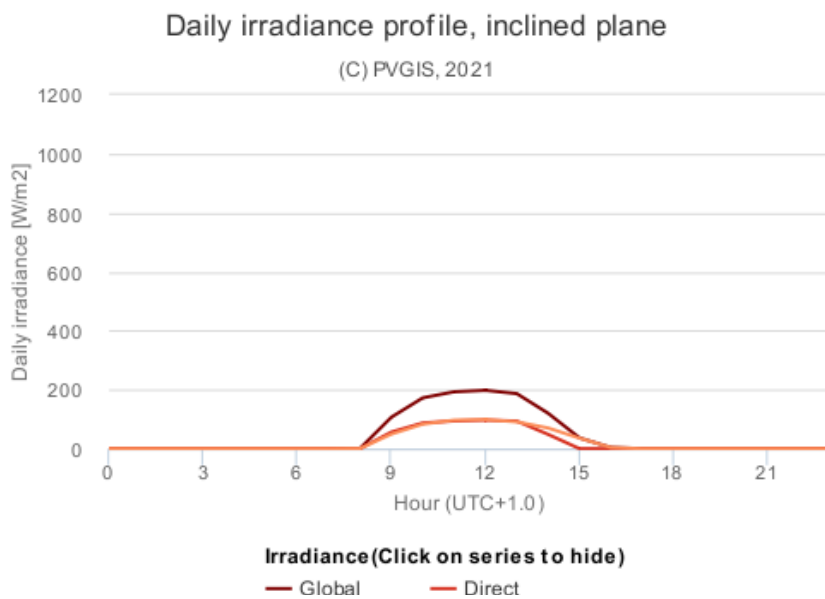
(15.5.1.24)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Příloha 10: Výpočet energetických zisků – leden

Leden



Obrázek 15.5.7 Hodinový průběh sluneční radiace dopadající do referenční lokality v lednu [30]

Elektrická energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_e = G_{zár} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{el} \cdot z \cdot d = 37,431 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

(15.5.1.25)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Tepelná energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_v = G_{zár} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{tep} \cdot z \cdot d = 122,04 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

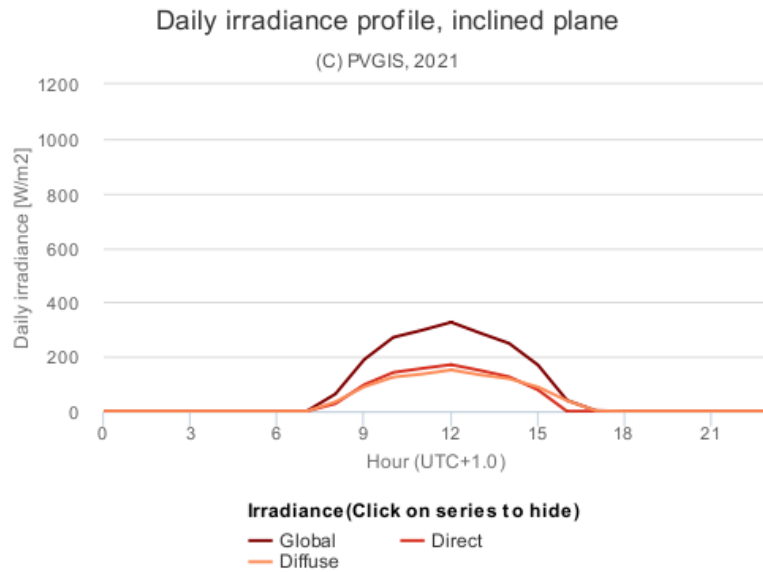
(15.5.1.26)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Příloha 11: Výpočet energetických zisků – únor

Únor



Obrázek 15.5.8 Hodinový průběh sluneční radiace dopadající do referenční lokality v únoru [30]

Elektrická energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_e = G_{zář} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{el} \cdot z \cdot d = 64,752 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

(15.5.1.27)

z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

Tepelná energie vygenerovaná za měsíc:

$$E_v = G_{zář} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{tep} \cdot z \cdot d = 211,116 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

(15.5.1.28)

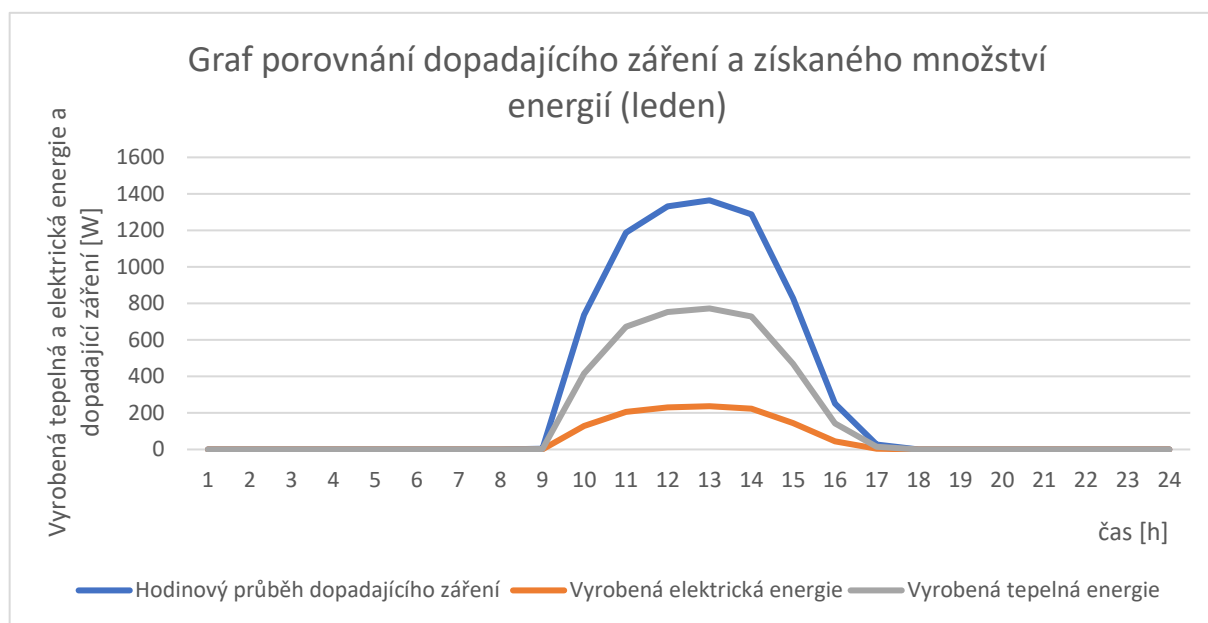
z = počet panelů

d = počet dnů v měsíci

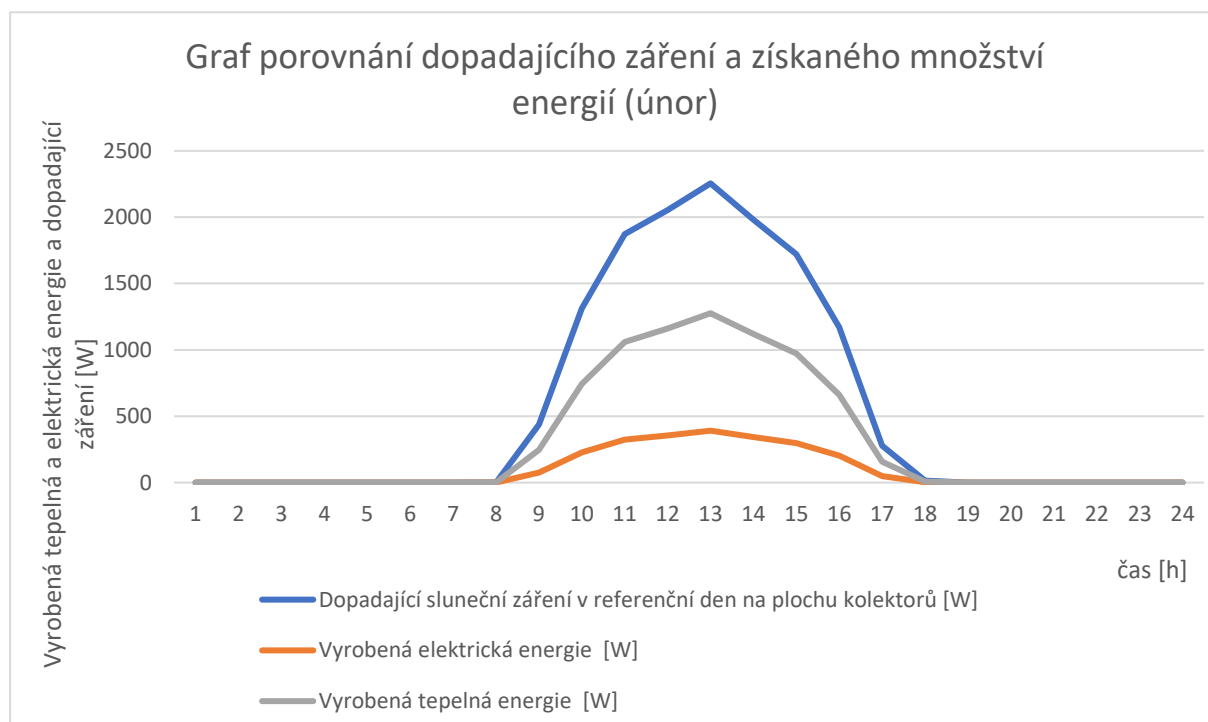
Příloha 12: Průměrný březnový den z dat Helioclimu

Čas [h]	01.03	02.03	03.03	04.03	05.03	06.03	07.03	08.03	09.03	10.03	11.03	12.03	13.03	14.03	15.03	16.03	17.03	18.03	19.03	20.03	21.03	22.03	23.03	24.03	25.03	26.03	27.03	28.03	29.03	30.03	31.03	Průměr			
0:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00		
1:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00		
2:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00		
3:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00		
4:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00		
5:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03		
6:00:00	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	4	2	3	4	3	4	4	9	7	7	16	16	18	8	9	17	9	12	24	13	18	54	8,68		
7:00:00	34	71	69	36	29	24	52	30	28	130	29	39	44	34	47	38	137	59	45	216	199	221	40	43	117	37	45	125	71	87	292	79,61			
8:00:00	180	350	329	171	112	90	143	174	62	431	66	147	78	77	229	196	397	169	109	510	479	502	74	86	279	92	89	196	196	301	562	221,81			
9:00:00	446	574	539	469	234	341	235	188	125	621	101	292	178	157	411	487	536	308	191	755	717	740	159	136	608	128	117	309	319	605	802	381,55			
10:00:00	457	667	616	607	503	320	284	178	143	683	160	236	156	293	580	300	178	570	624	941	904	926	284	193	828	106	119	603	464	874	970	476,35			
11:00:00	415	728	687	685	418	297	282	119	161	753	152	185	141	212	528	168	619	175	675	1038	1003	1018	267	772	853	90	142	308	629	963	1059	501,35			
12:00:00	408	688	600	629	332	229	248	106	247	713	136	106	125	120	674	641	280	113	326	1053	1019	1031	279	901	823	98	183	146	491	913	1067	475,00			
13:00:00	236	524	441	384	151	172	100	92	124	643	119	124	104	126	696	427	121	305	598	980	951	965	213	836	712	105	222	245	483	810	990	419,32			
14:00:00	253	430	338	372	225	168	131	81	102	598	97	147	91	137	692	682	92	115	799	825	804	809	154	689	536	285	223	243	252	661	848	383,19			
15:00:00	197	207	194	212	143	116	131	73	76	406	68	112	160	123	534	523	69	94	590	602	585	566	99	477	254	174	376	471	183	529	623	289,26			
16:00:00	69	86	95	91	91	45	45	46	47	138	44	90	203	106	241	244	50	53	322	327	320	284	60	238	137	80	169	278	257	327	363	159,55			
17:00:00	9	10	10	10	13	8	9	10	11	18	10	16	23	19	25	26	15	19	47	53	57	56	19	50	49	35	45	63	62	80	89	31,16			
18:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	5	6	0,97		
19:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
20:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
21:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
22:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
23:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
																																			3427,84
																																			Wh/m2

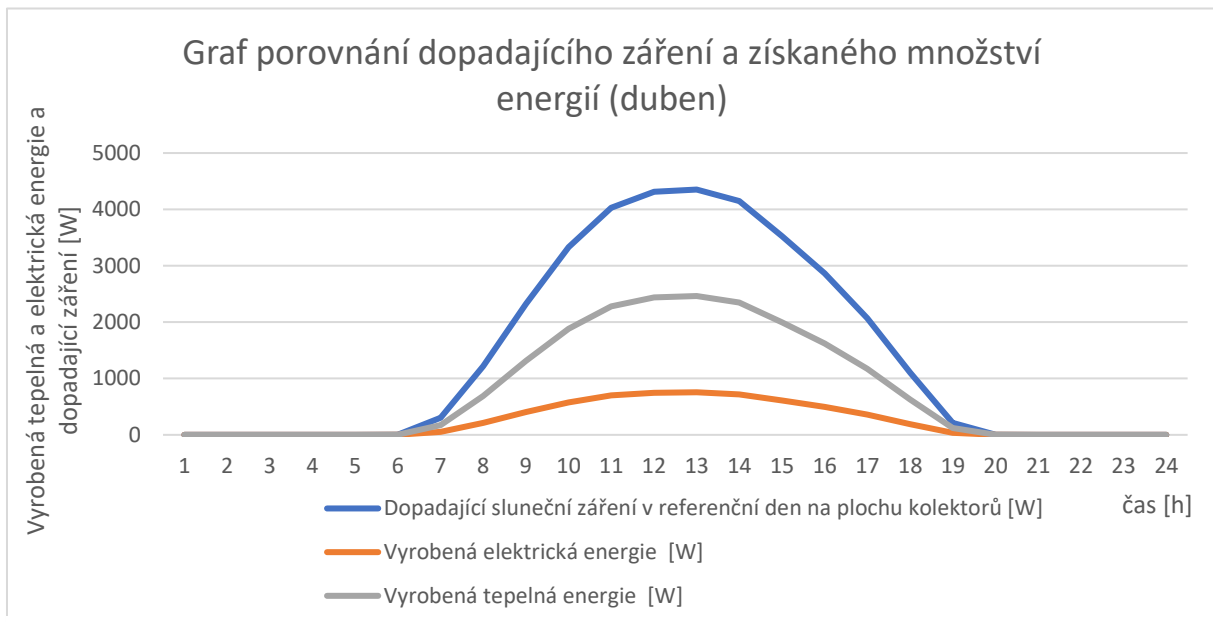
Příloha 13: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – lednový den



Příloha 14: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – únorový den

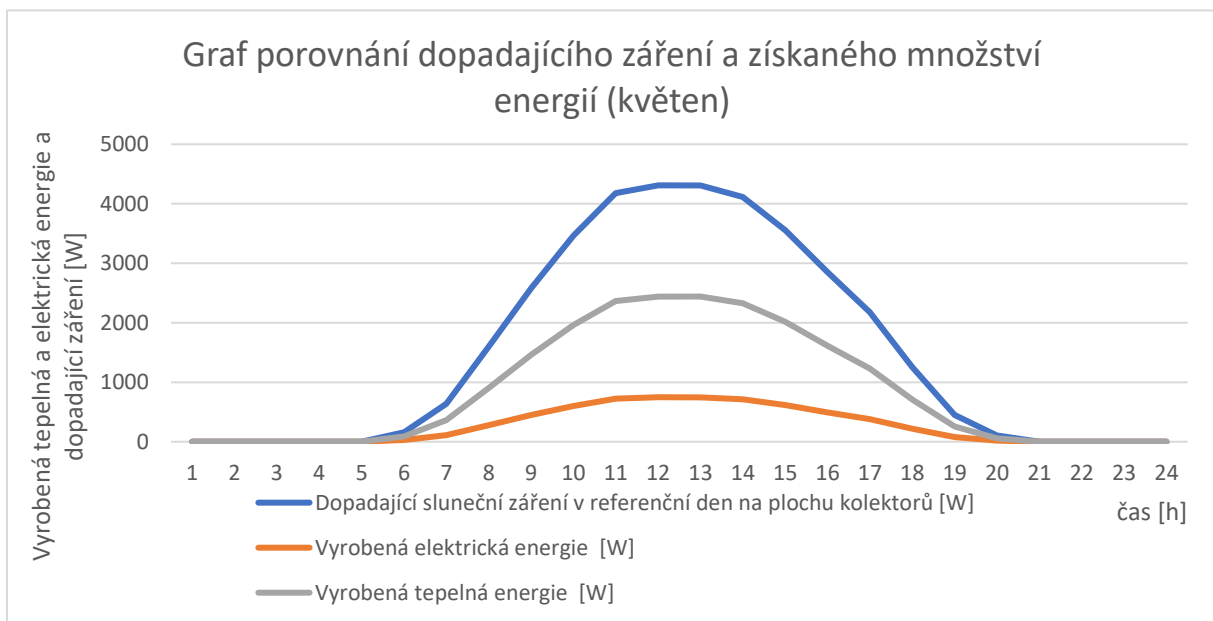


Příloha 15: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – dubnový den



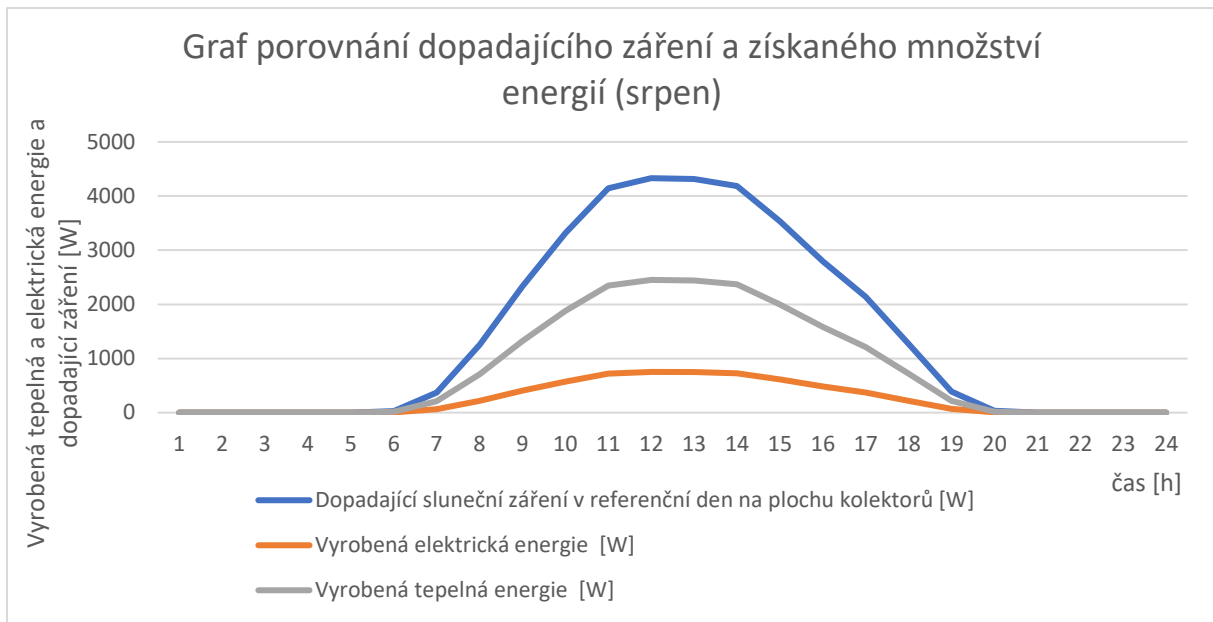
Obrázek 15.5.16 Porovnání dopadajícího záření a energetických zisků (dubnový den)

Příloha 16: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – květnový den



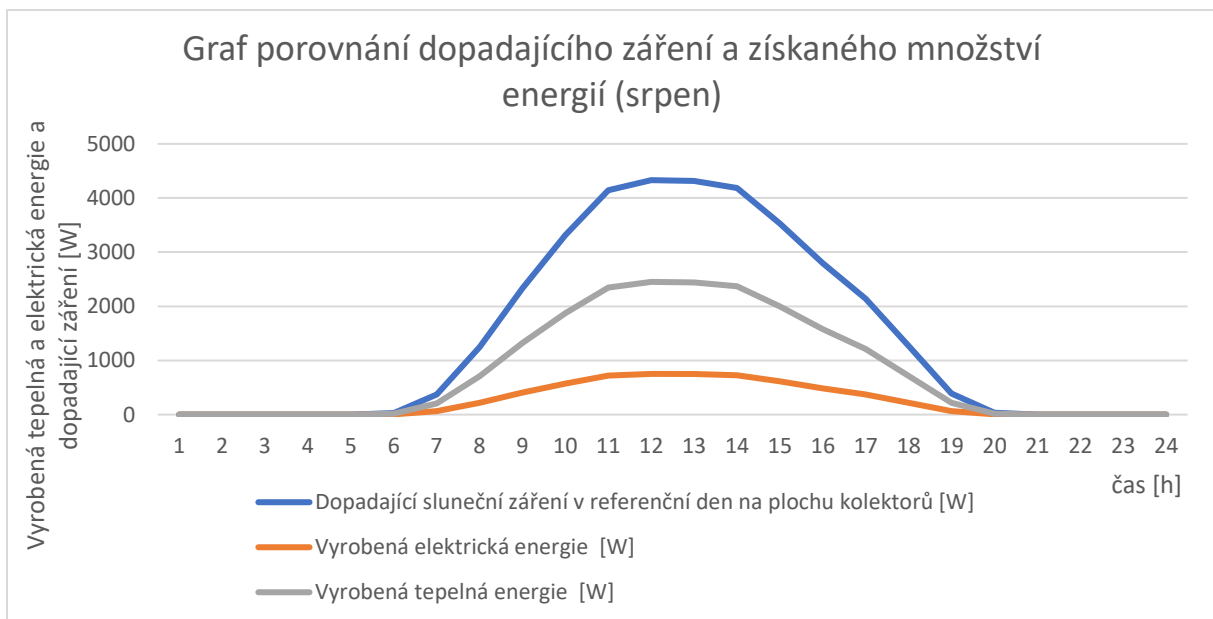
Obrázek 15.5.17 Porovnání dopadajícího záření a energetických zisků (květnový den)

Příloha 17: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – červnový den



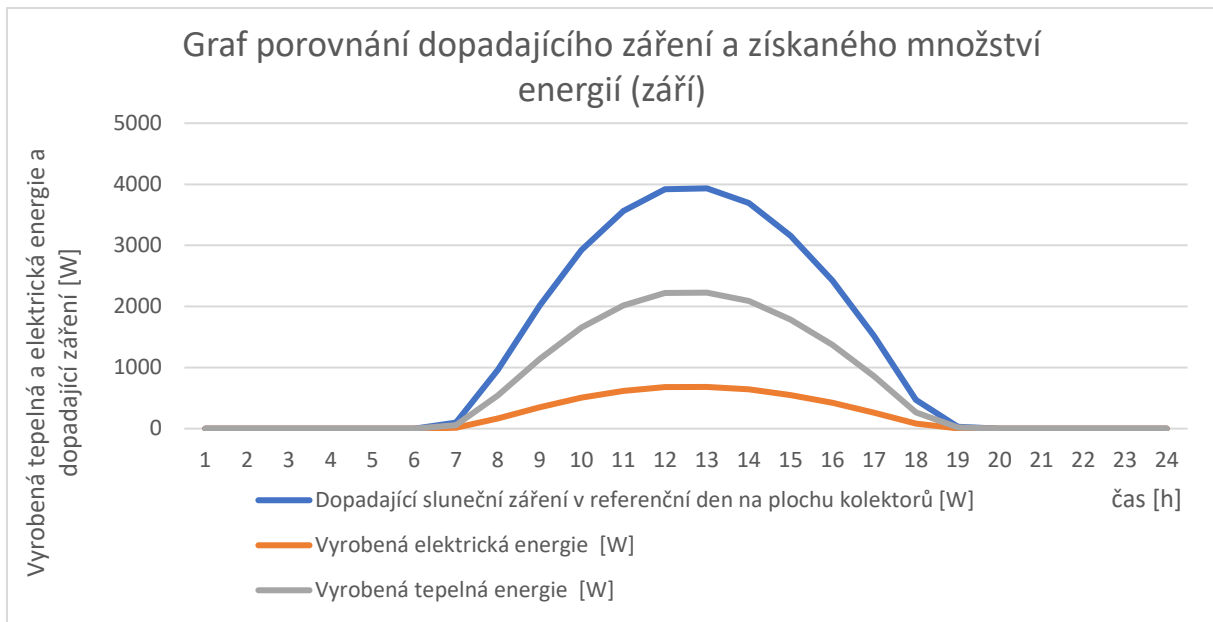
Obrázek 15.5.18 Porovnání dopadajícího záření a energetických zisků (červnový den)

Příloha 18: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – srpnový den



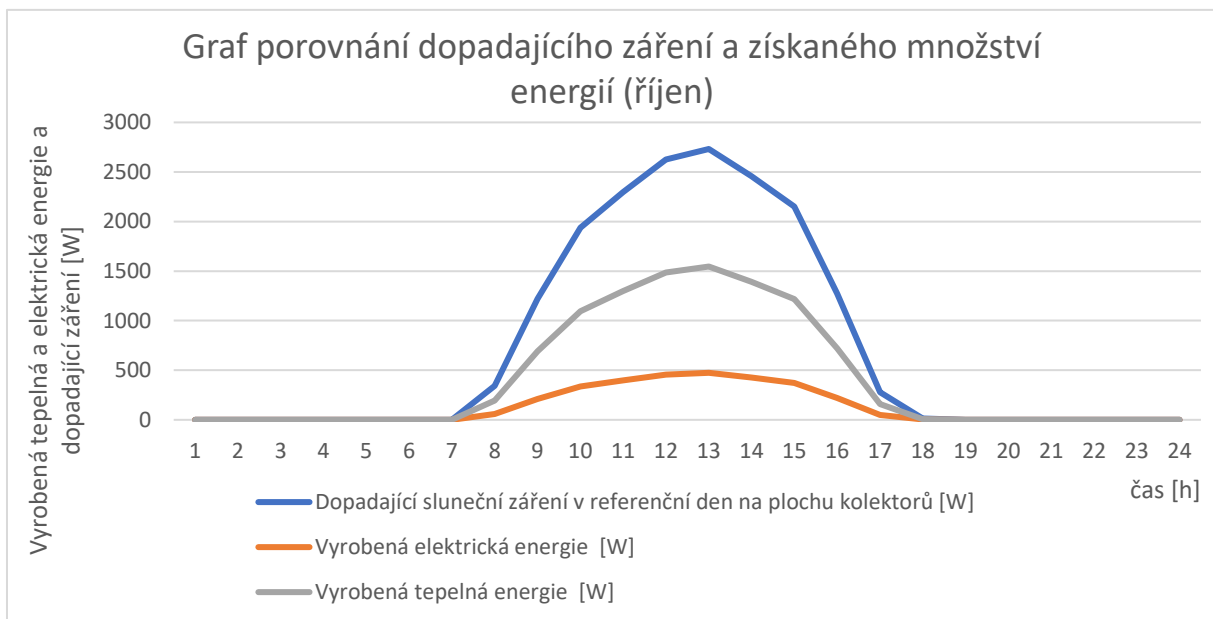
Obrázek 15.5.19 Porovnání dopadajícího záření a energetických zisků (srpnový den)

Příloha 19: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – zářijový den



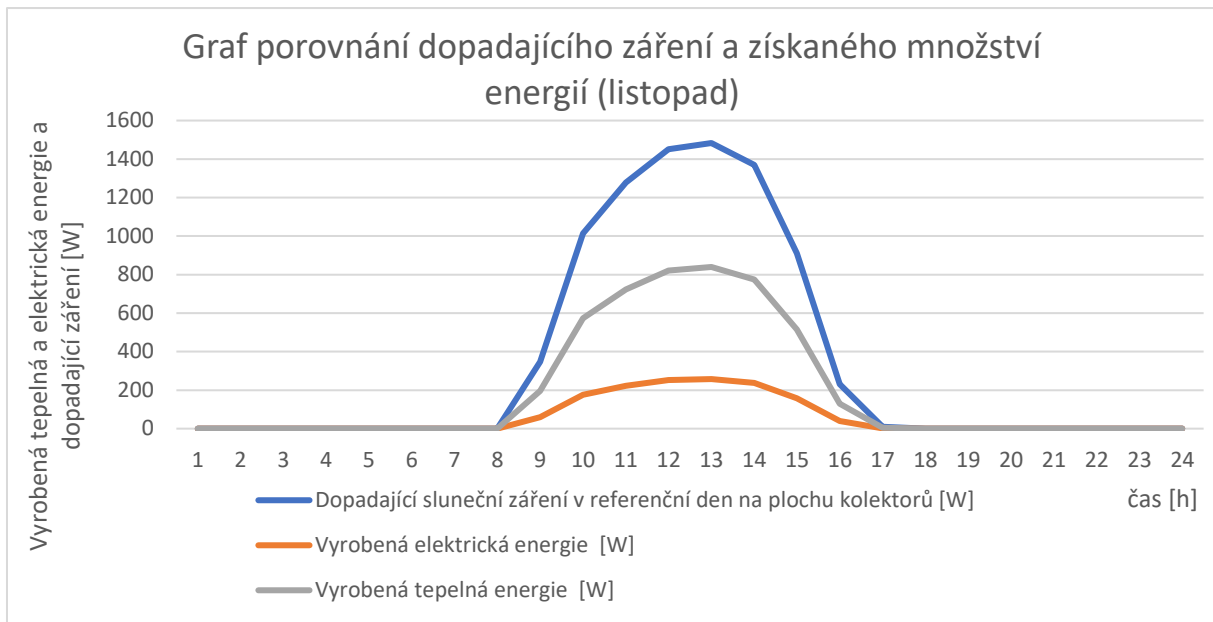
Obrázek 15.5.20 Porovnání dopadajícího záření a energetických zisků (zářijový den)

Příloha 20: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – říjnový den



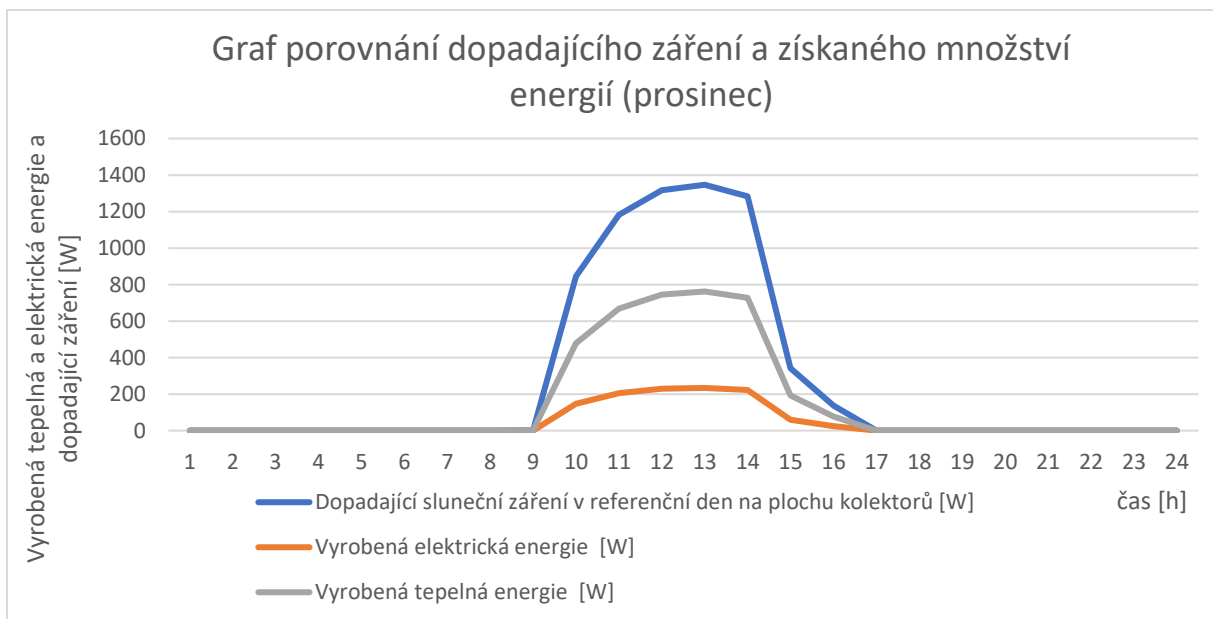
Obrázek 15.5.21 Porovnání dopadajícího záření a energetických zisků (říjnový den)

Příloha 21: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – listopadový den



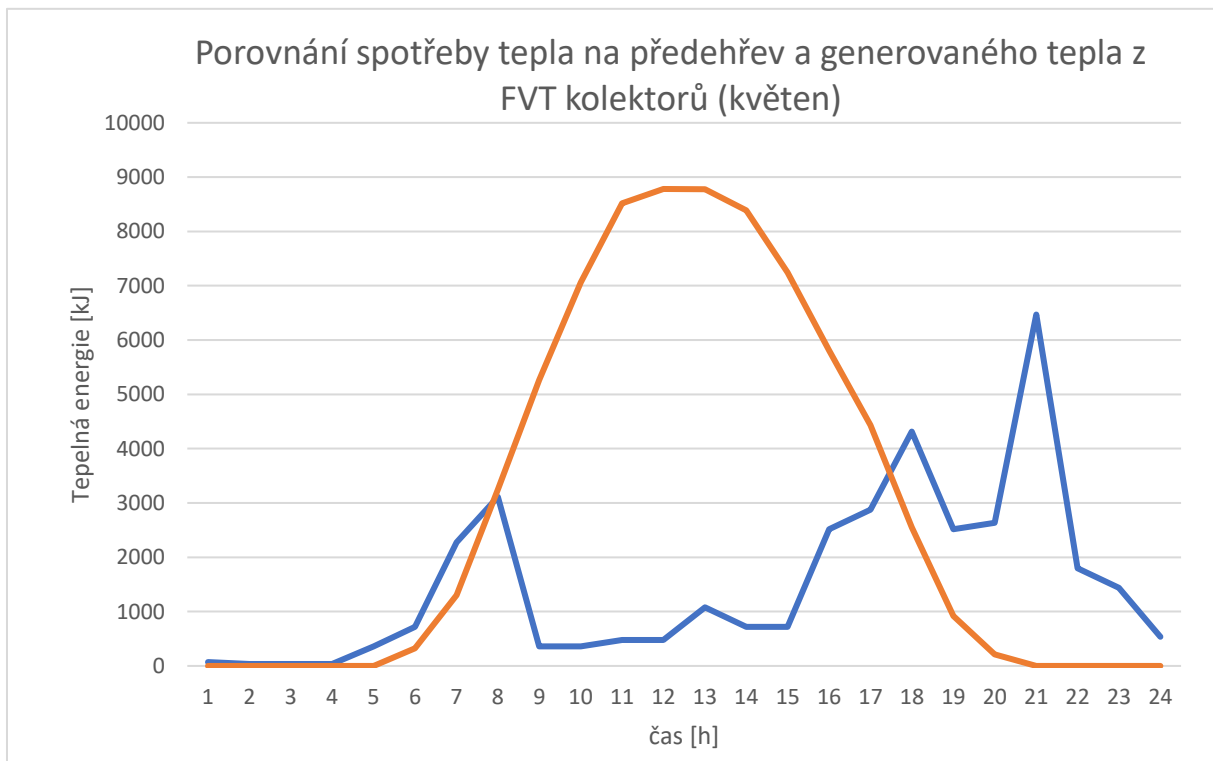
Obrázek 15.5.22 Porovnání dopadajícího záření a energetických zisků (listopadový den)

Příloha 22: Graf porovnání dopadajícího záření a energetických zisků – prosincový den



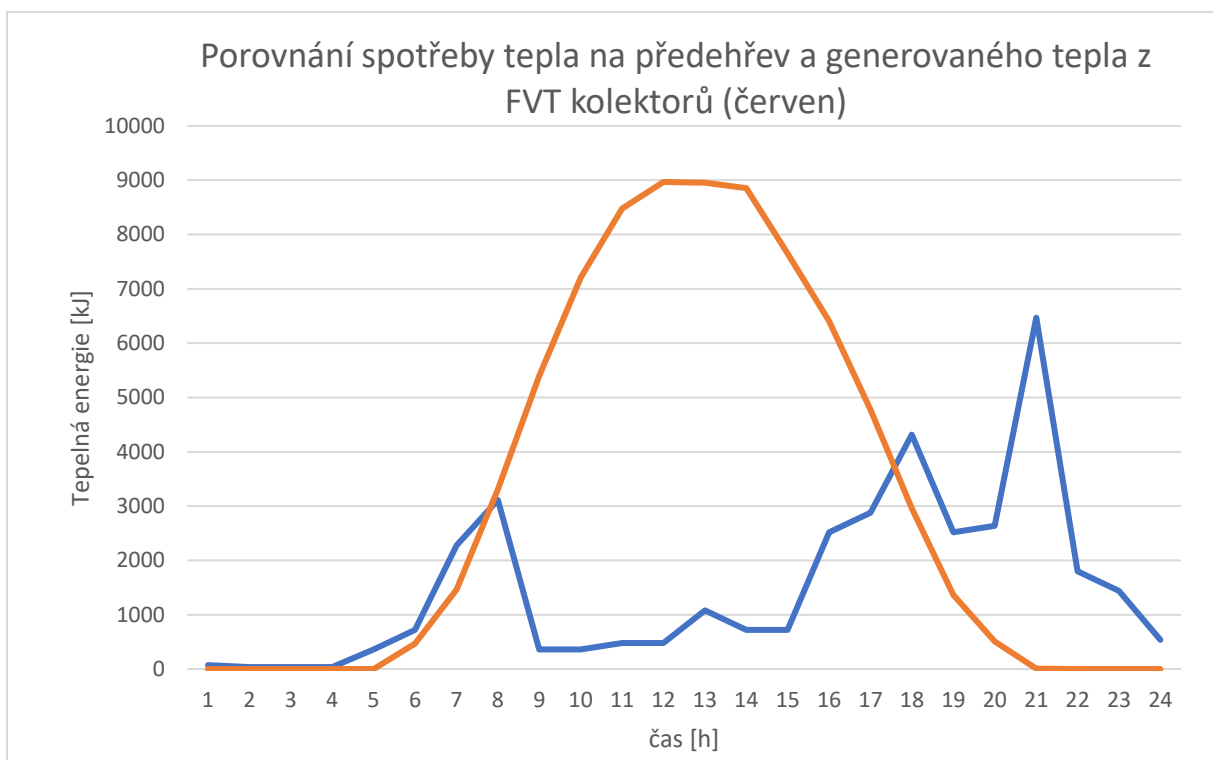
Obrázek 15.5.23 Porovnání dopadajícího záření a energetických zisků (prosincový den)

Příloha 23: Porovnání spotřeby tepla na předehřev a generovaného tepla z FVT kolektorů (květen)



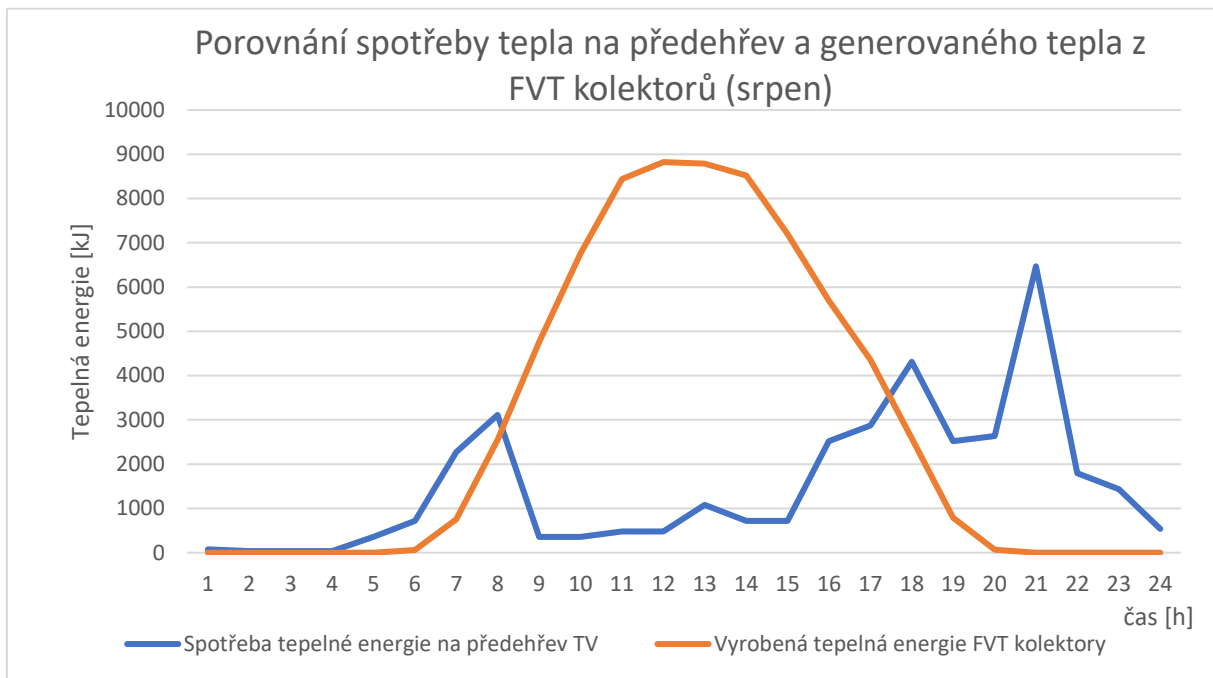
Obrázek 15.8 Porovnání spotřeby tepla na předehřev a generovaného tepla z FVT kolektorů (květen)

Příloha 24: Porovnání spotřeby tepla na předehřev a generovaného tepla z FVT kolektorů (červen)



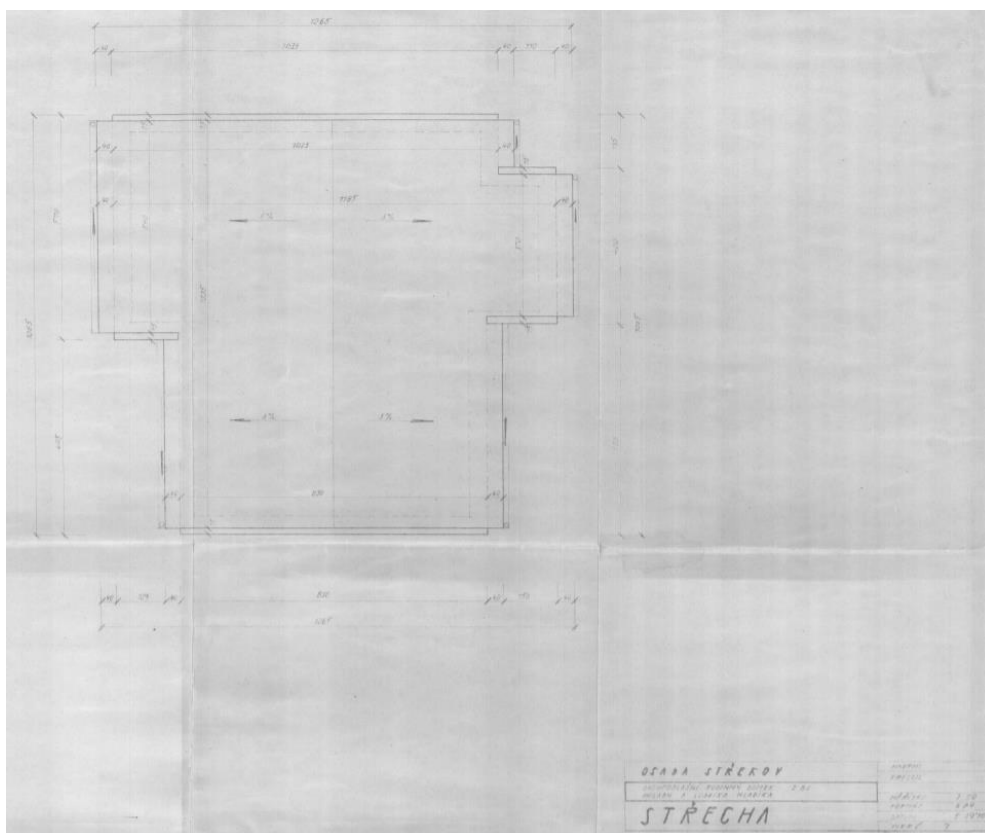
Obrázek 15.8.1 Porovnání spotřeby tepla na předehřev a generovaného tepla z FVT kolektorů (červen)

Příloha 25: Porovnání spotřeby tepla na přehřev a generovaného tepla z FVT kolektorů (srpen)



Obrázek 15.8.3 Porovnání spotřeby tepla na přehřev a generovaného tepla z FVT kolektorů (srpen)

Příloha 26: Výkres střechy referenčního domu



Obrázek 15.4.1 Výkres střechy referenčního domu

Příloha 27: Ceník elektřiny od ČEZ Prodej, a. s. – Smlouva na 2 roky

ELEKTRINA NA 2 ROKY smlouva na 2 roky	TYP DISTRIBUČNÍ SAZBY		STANDARD		AKUMULACE 8		ELEKTRO-MOBILITA		AKUMULACE 16		PŘÍMOTOP		TEPELNÉ ČERPADLO		ELEKTRICKÉ TOPENÍ		VIKEND			
	distribuční sazba		D01d	D03g	D25d	D26d	D27d	D35d	D45d	D55d	D57d	D61d	D55d	D57d	D55d	D57d	D61d	D55d	D61d	
OBCHODNÍ ČÁST CENY																				
cena za dodávku elektřiny																				
1	vysoký tarif	K€/MWh	4 992,30	(3 830,00)	4 992,30	(3 830,00)	4 380,20	(3 620,00)	4 222,90	(3 480,00)	4 319,70	(3 570,00)	4 222,90	(3 490,00)	4 222,90	(3 490,00)	4 222,90	(3 490,00)	4 222,90	(3 490,00)
2	nizký tarif	K€/MWh	-	-	4 247,10	(3 510,00)	4 247,10	(3 510,00)	4 041,40	(3 340,00)	4 319,70	(3 570,00)	4 222,90	(3 490,00)	4 222,90	(3 490,00)	4 041,40	(3 340,00)	4 041,40	(3 340,00)
3	stálá platba	K€/měsíc	119,79	(99,00)	119,79	(99,00)	107,69	(89,00)	107,69	(89,00)	107,69	(89,00)	107,69	(89,00)	107,69	(89,00)	107,69	(89,00)	107,69	(89,00)
cena za distribuci elektřiny																				
4	vysoký tarif	K€/MWh	2 805,01	(2 152,90)	2 805,01	(2 152,90)	2 061,36	(1 703,80)	2 061,36	(1 703,80)	2 061,36	(1 703,80)	2 061,36	(1 703,80)	2 061,36	(1 703,80)	2 061,36	(1 703,80)	2 061,36	(1 703,80)
5	nizký tarif	K€/MWh	-	-	2 105,52	(1 733,98)	2 105,52	(1 733,98)	2 105,52	(1 733,98)	2 105,52	(1 733,98)	2 105,52	(1 733,98)	2 105,52	(1 733,98)	2 105,52	(1 733,98)	2 105,52	(1 733,98)
stálá platba za rezervovaný výkon podle jističe																				
6	do 3 × 10 A a do 1 × 25 A včetně	K€/měsíc	25,41	(21,00)	66,55	(65,00)	111,32	(82,00)	75,02	(62,00)	111,32	(82,00)	141,57	(107,00)	164,56	(136,00)	164,56	(136,00)	164,56	(136,00)
7	nad 3 × 10 A do 3 × 16 A včetně	K€/měsíc	41,14	(34,00)	106,48	(88,00)	119,79	(99,00)	119,79	(99,00)	177,87	(147,00)	226,27	(187,00)	262,57	(217,00)	262,57	(217,00)	262,57	(217,00)
8	nad 3 × 16 A do 3 × 20 A včetně	K€/měsíc	50,82	(42,00)	133,10	(110,00)	150,04	(124,00)	150,04	(124,00)	222,64	(184,00)	281,93	(233,00)	329,12	(272,00)	329,12	(272,00)	329,12	(272,00)
9	nad 3 × 20 A do 3 × 25 A včetně	K€/měsíc	64,13	(53,00)	165,77	(137,00)	187,55	(155,00)	187,55	(155,00)	278,30	(230,00)	353,32	(292,00)	411,40	(340,00)	411,40	(340,00)	411,40	(340,00)
10	nad 3 × 25 A do 3 × 32 A včetně	K€/měsíc	81,07	(67,00)	212,96	(176,00)	239,58	(198,00)	239,58	(198,00)	356,95	(295,00)	451,33	(373,00)	526,35	(435,00)	526,35	(435,00)	526,35	(435,00)
11	nad 3 × 32 A do 3 × 40 A včetně	K€/měsíc	101,64	(84,00)	266,20	(220,00)	298,87	(247,00)	298,87	(247,00)	445,28	(368,00)	565,07	(467,00)	658,24	(544,00)	658,24	(544,00)	658,24	(544,00)
12	nad 3 × 40 A do 3 × 50 A včetně	K€/měsíc	127,05	(105,00)	332,75	(275,00)	373,89	(309,00)	373,89	(309,00)	557,81	(461,00)	706,64	(584,00)	822,80	(680,00)	822,80	(680,00)	822,80	(680,00)
13	nad 3 × 50 A do 3 × 63 A včetně	K€/měsíc	159,72	(132,00)	418,66	(346,00)	470,69	(389,00)	470,69	(389,00)	701,80	(580,00)	889,35	(735,00)	1 035,76	(856,00)	1 035,76	(856,00)	1 035,76	(856,00)
14	nad 3 × 63 A do 3 × 80 A včetně	K€/měsíc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15	nad 3 × 80 A do 3 × 100 A včetně	K€/měsíc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16	nad 3 × 100 A do 3 × 125 A včetně	K€/měsíc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17	nad 3 × 125 A do 3 × 160 A včetně	K€/měsíc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	nad 3 × 160 A za každý 1 A	K€/měsíc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19	nad 3 × 63 A za každý 1 A	K€/měsíc	2,54	(2,10)	6,64	(6,49)	7,48	(6,18)	11,14	(8,21)	7,10	(5,87)	14,12	(13,59)	16,44	(13,59)	16,44	(13,59)	16,44	(13,59)
20	nad 1 × 25 A za každý 1 A	K€/měsíc	0,85	(0,70)	2,21	(1,83)	2,49	(2,06)	3,71	(3,07)	2,37	(1,96)	4,71	(3,89)	5,48	(4,53)	5,48	(4,53)	5,48	(4,53)
21	daň z elektřiny	K€/MWh	34,24	(28,30)	34,24	(28,30)	34,24	(28,30)	34,24	(28,30)	34,24	(28,30)	34,24	(28,30)	34,24	(28,30)	34,24	(28,30)	34,24	(28,30)
22	systémové služby	K€/MWh	137,37	(113,53)	137,37	(113,53)	137,37	(113,53)	137,37	(113,53)	137,37	(113,53)	137,37	(113,53)	137,37	(113,53)	137,37	(113,53)	137,37	(113,53)
23	činnost OTE	K€/měsíc	5,08	(4,20)	5,08	(4,20)	5,08	(4,20)	5,08	(4,20)	5,08	(4,20)	5,08	(4,20)	5,08	(4,20)	5,08	(4,20)	5,08	(4,20)
podpora výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE)																				
24	podle jističe	K€/A-roční tůž	14,33	(11,84)	14,33	(11,84)	14,33	(11,84)	14,33	(11,84)	14,33	(11,84)	14,33	(11,84)	14,33	(11,84)	14,33	(11,84)	14,33	(11,84)
25	podle spotřeby	K€/MWh	598,95	(495,00)	598,95	(495,00)	598,95	(495,00)	598,95	(495,00)	598,95	(495,00)	598,95	(495,00)	598,95	(495,00)	598,95	(495,00)	598,95	(495,00)
celková jednotková cena za elektřinu včetně daně z elektřiny a systémových služeb																				
26	vysoký tarif (řádky 1 + 4 + 21 + 22)	K€/MWh	7 168,92	(5 924,73)	6 540,52	(5 405,39)	6 613,17	(5 465,43)	5 308,35	(4 387,07)	6 455,67	(5 365,43)	4 950,78	(4 091,55)	4 696,68	(3 981,55)	4 671,39	(3 981,55)	4 671,39	(3 981,55)
27	nizký tarif (řádky 2 + 15 + 21 + 22)	K€/MWh	-	-	4 629,23	(3 825,81)	4 629,23	(3 825,81)	4 423,53	(3 655,81)	4 423,53	(3 655,81)	4 762,33	(3 935,81)	4 701,83	(3 935,81)	4 605,03	(3 805,81)	4 605,03	(3 805,81)
28	měsíční platby	K€/měsíc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
poplatek na podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE)																				
29	podle jističe	K€/MWh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30	podle spotřeby	K€/MWh	598,95	(495,00)	598,95	(495,00)	598,95	(495,00)	598,95	(495,00)	598,95	(495,00)	598,95	(495,00)	598,95	(495,00)	598,95	(495,00)	598,95	(495,00)
VÝPOČET CELKOVÉ ROČNÍ PLATBY ZA ELEKTRINU																				
roční spotřeba v MWh ve vysokém tarifu × řádek 26																				
+ roční spotřeba v MWh v nízkém tarifu × řádek 27																				
+ nižší výsledek z výpočtu POZE podle jističe: 12 měsíců × řádek 29, nebo podle spotřeby: spotřeba v MWh ve vysokém a nízkém tarifu × řádek 30																				

Příloha 28: Parametry zásobníkového ohřivače OKCE 250 S (Dražice)

Typ	OKCE 160 S	OKCE 200 S	OKCE 250 S
Objem (l)	157	210	250
Příkon topného tělesa (W)			
Třída energetické účinnosti			
Výška ohřivače (mm)	1045	1355	1537
Průměr ohřivače (mm)	584	584	584