

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**NÁVRH KONCEPCE
ÚSTŘEDNÍHO VYTÁPĚNÍ
RODINNÉHO DOMU PRO
POUŽITÍ HYBRIDNÍCH
FOTOVOLTAICKÝCH KOLEKTORŮ
VE SPOJENÍ S TEPELNÝM
ČERPADLEM**

2020/21

**ZDENĚK
PROKOPEC**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s tím, že její výsledky mohou být dále použity podle uvážení vedoucího diplomové práce jako jejího spoluautora. Souhlasím také s případnou publikací výsledků diplomové práce nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

Dne

Podpis

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Prokopec** Jméno: **Zdeněk** Osobní číslo: **459604**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav energetiky**
Studijní program: **Energetika a procesní inženýrství**
Specializace: **Energetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh koncepce ústředního vytápění rodinného domu pro použití hybridních fotovoltaických kolektorů ve spojení s tepelným čerpadlem

Název diplomové práce anglicky:

Design of the central heating for family house for heat pump and hybrid photovoltaic collectors utilisation

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte optimalizovanou soustavu ústředního vytápění rodinného domu pro použití tepelného čerpadla ve spojení s hybridními FV kolektory. Cílem návrhu je zajištění tepelné pohody ve vytápěných prostorách a maximální využití tepelné a elektrické energie generované hybridními fotovoltaickými kolektory. Součástí návrhu je stanovení investiční náročnosti projektu a doby návratnosti vložených investic.

Seznam doporučené literatury:

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

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

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

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

Datum zadání diplomové práce: **22.04.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **04.06.2021**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2022**

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

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Anotační list

Jméno autora:	Bc. Zdeněk Prokopec
Název DP:	Návrh koncepce ústředního vytápění rodinného domu pro použití hybridních fotovoltaických kolektorů ve spojení s tepelným čerpadlem
Anglický název:	Design of the central heating for family house for heat pump and hybrid photovoltaic collectors utilisation
Akademický rok:	2020/2021
Ústav/Odbor:	Ústav Energetiky/ Energetika a procesní inženýrství
Vedoucí DP:	Ing. Martin Neuzil, Ph.D.
Bibliografické údaje:	Počet stran: 70 Počet obrázků: 29 Počet tabulek: 29 Počet grafů: 19 Počet příloh: 0
Klíčová slova:	Vytápění, hybridní fotovoltaický kolektor, tepelné čerpadlo, koncepce, energie, elektřina, teplo
Keywords:	Heating, hybrid photovoltaic collectors, heat pump, utilization, energy, electricity
Anotace:	Diplomová práce se zabývá návrhem optimalizované soustavy ústředního vytápění rodinného domu pro použití tepelného čerpadla v kombinaci s hybridními fotovoltaickými kolektory. Cílem práce je zajištění tepelné pohody ve vytápěných místnostech a maximální možné využití tepelné a elektrické energie. Součástí práce je stanovení investiční náročnosti projektu a doby návratnosti vložených investic.
Abstract:	The diploma thesis contains a proposal for central heating of a family house for the use of hybrid photovoltaic collectors in conjunction with a heat pump for the purpose of covering and reducing the energy intensity of the entire building. The diploma thesis contains a description of the process design, including its dimensioning and optimization of the entire operation. The work solves the economic evaluation of the whole construction, including the supply of the electricity.

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat všem, kteří mi při vytváření této práce pomáhali. Především děkuji svému vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Nežilovi, PhD. za věnovaný čas a věcné připomínky.

Abstrakt

Diplomová práce obsahuje návrh koncepce ústředního vytápění rodinného domu pro použití hybridních fotovoltaických kolektorů ve spojení s tepelným čerpadlem pro účel krytí a snížení energetické náročnosti celého objektu. Diplomová práce obsahuje popis návrhu technologie včetně jejího dimenzování a optimalizace celého provozu. V závěru práce řeší ekonomické hodnocení celé výstavby včetně dodávky elektrické energie, stanovení prosté doby návratnosti a diskontované doby návratnosti.

Abstract

The diploma thesis contains a proposal for central heating of a family house for the use of hybrid photovoltaic collectors in conjunction with a heat pump for the purpose of covering and reducing the energy intensity of the entire building. The diploma thesis contains a description of the process design, including its dimensioning and optimization of the entire operation. The work solves the economic evaluation of the whole construction, including the supply of the electricity, the determination of static payback period and the dynamic payback period at the end.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Hybridní FV/T kolektory	2
2.1	Zasklené FV/T kolektory	2
2.2	Nezasklené FV/T kolektory	3
3	Výrobci.....	3
3.1	Volther PowerTherm	4
3.2	Volther Powervolt	5
3.3	SolarAngel	6
3.4	DualSUN Spring	7
4	Účinnost FV/T kolektorů a ovlivňující parametry	8
4.1	Účinnost termické části kolektoru	8
4.2	Účinnost fotovoltaické části kolektoru	9
5	Referenční objekt	10
5.1	Výkresová dokumentace	10
5.2	Situační pohledy.....	11
6	Klimatické podmínky	12
6.1	Venkovní teploty dle PVGIS	13
6.2	Sluneční radiace dle PVGIS.....	16
6.3	Měsíční úhrn slunečního svitu dle PVGIS.....	18
7	Výpočet tepelné ztráty.....	19
7.1	Konstrukce a rozdělení ztrát mezi konstrukce	19
7.2	Tepelný výkon (rozdělen dle jednotlivých místností)	20
7.3	Tepelný výkon (rozdělení na jednotlivá patra)	21
7.4	Měrná tepelná ztráta, tepelná charakteristika (rozdělen dle jednotlivých místností).	22
7.5	Rozložení tepelného výkonu do jednotlivých měsíců	23
7.6	Roční potřeba energií na vytápění a ohřev vody	24
8	Ohřev vody a produkce elektřiny FV/T kolektory	24
8.1	Výpočet dle ČSN EN 15316-4-6 (produkce elektřiny).....	24
8.2	Výpočet dle TNI 73 0302 (produkce tepla)	29
8.3	Celková bilance FV/T kolektoru.....	32
9	Vytápění objektu tepelným čerpadlem.....	34
9.1	Tepelné čerpadlo	34
9.2	Dimenzování výkonu tepelného čerpadla	36
9.3	Energetická bilance tepelného čerpadla v přechodném období.....	40
9.4	Systém topného okruhu.....	42
10	Schéma zapojení.....	43

10.1	Varianta 1 - Vlastní optimalizovaný návrh.....	43
10.2	Varianta 2 - Elektrokotel.....	44
11	Návrh ústředního vytápění	45
11.1	Tabulka přepočtu výkonů	45
11.2	Podlahové vytápění.....	46
11.3	Nízkoteplotní radiátory	47
12	Vizualizace	48
12.1	Umístění tepelného čerpadla (orientace - severní strana).....	48
12.2	Umístění FV/T kolektorů (orientace - jižní strana).....	48
13	Ekonomické zhodnocení	49
13.1	Výpočet nákladů na spotřebovanou elektřinu.....	49
13.2	Investiční náklady na jednotlivé technologie.....	50
13.3	Výpočet ceny za elektřinu.....	53
13.4	Prostá doba návratnosti	54
13.5	Diskontovaná doba návratnosti.....	56
14	Závěr.....	57

Použité značky

η_{ref}	[-]	Účinnost článku při STC
A	[m ²]	Plocha panelu, plocha místnosti
A/V	[m ² /m ³]	Objemový faktor tvaru budovy
E _{PV}	[kWh/rok]	Elektrická energie dodaná FV systémem
F'	[-]	Účinnostní součinitel kolektoru
G	[W/m ²]	Referenční hodnota slunečního záření
H	[W/K]	Součinitel tepelné ztráty
H _T	[kWh/m ²]	Měsíční úhrn slunečního svitu
I _{mpp}	[A]	MPP proud FV panelu
K _{pk}	[kW/m ²]	Součinitel špičkového výkonu
q	[W/m ³]	Měrná tepelná ztráta (objektu, místnosti)
Q _{cm}	[W]	Celková tepelná ztráta: $\Phi_{\text{HLm}} + Q_z$
q _{cm}	[W/m ²]	Měrná tepelná ztráta vztažená na m ²
q _{cn}	[W/ (m ³ .K)]	Celková tepelná charakteristika
Q _{k,u}	[kWh/rok]	Teoretický možný zisk ze solárních kolektorů pro ohřev TV
Q _{p,c}	[kWh/rok]	Spotřeba TV
q _{red}	[W/ (m ³ .K)]	Redukovaná tepelná charakteristika
q _{ss,u}	[kWh/m ² .rok]	Měrný využitelný zisk solární soustavy
Q _{ss,u}	[kWh/rok]	Celkový využitelný zisk solární soustavy pro ohřev TV
Q _z	[W]	Tepelný zisk
t _e	[°C]	Teplota okolí
t _i	[-]	Teplota interiéru
t _{k1}	[°C]	Teplota teplosměnné kapaliny vstupující do kolektoru
t _{k2}	[°C]	Teplota teplosměnné kapaliny vystupující z kolektoru
t _m	[°C]	Střední teplota teplosměnné kapaliny v kolektoru
U	[W/ (m ² .K)]	Součinitel prostupu tepla kolektorem
U	[W/ (m ² .K)]	Součinitel prostupu tepla
U _{mpp}	[V]	MPP napětí FV panelu
η	[-]	Termická účinnost kolektoru
ρ	[-]	Odrazivost
τ	[-]	Propustnost
Φ _{HLm}	[W]	Celkový návrhový tepelný výkon místnosti
Φ _{Tm}	[W]	Tepelná ztráta místnosti prostupem tepla
Φ _{Vm}	[W]	Tepelná ztráta místnosti větráním
Ψ	[W/ (m.K)]	Lineární součinitel prostupu tepla
α	[-]	Pohltivost

1 Úvod

V této diplomové práci jsou aplikovány moderní technologie na referenční objekt, tj. hybridní fotovoltaické kolektory a tepelné čerpadlo. Dané technologie jsou použity za účelem snížení energetické náročnosti rodinného domu a nahrazení stávajícího dosluhujícího zdroje tepla. Cílem této diplomové práce je koncepce ústředního vytápění rodinného domu pro použití hybridních fotovoltaických kolektorů ve spojení s tepelným čerpadlem.

Stávající zdroj tepelné energie je automatický uhelný kotel a soustava ústředního vytápění s použitím článkových otopných těles.

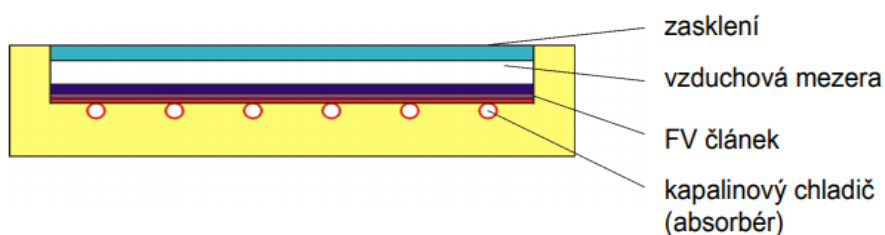
2 Hybridní FV/T kolektory

V případě FV/T kolektorů je látkou odvádějící teplo kapalina (nemrznoucí směs), která proudí trubkami nebo kanálky absorberu. Obvykle se používá nucený oběh kapaliny. Využíváme teplo, které se odvádí ze zadní strany FV panelu. Velmi důležité je vhodně izolovat fotovoltaickou část od absorberu s kapalinou, aby mezi nimi docházelo k co možná nejvyšší výměně tepla. To se provádí pomocí tepelně vodivých lepidel. Kapalinové kolektory je možné díky nemrznoucí směsi využívat celoročně například pro ohřev vody nebo v kombinaci s tepelným čerpadlem. [1]

Odvod tepla z FV článků s využitím kapaliny má několik příznivých vlivů, a mezi ně patří snížení teplot článků, které cirkulující kapalina chrání před tepelnou zátěží a prodlužuje tak životnost FV článků. Mezi další výhody patří také zvýšení elektrické účinnosti FV článků a zvýšení celkové produkce elektrické energie. Životnost této technologie je 25 až 30 let.

2.1 Zasklené FV/T kolektory

Zasklené kolektory mají nižší tepelné ztráty a vyšší tepelnou účinnost než kolektory bez zasklení. Zasklení také poskytuje další možnosti, jako zvýšení teplotní úrovně a následné použití například pro ohřev teplé vody. Maximální teploty, které FV/T kolektor snese se pohybují kolem 58 °C, poté dochází k degradaci a rozkladu laminace fotovoltaických článků, které navíc mohou korozivně ovlivnit kontakty v kolektoru.

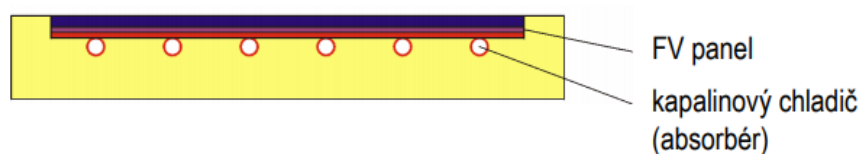


Obrázek 1 zasklený FV/T kolektor [6]

Největší výhodou zaskleného provedení kolektorů je souběžná výroba tepla a elektřiny ze stejné plochy. [1] Prioritou tohoto typu hybridního FV/T kolektoru je produkce tepla, vyšší provozní teploty ale je nutné počítat s nižší produkcí elektrické energie.

2.2 Nezasklené FV/T kolektory

Hlavní rozdíl způsobený absencí ochranného zasklení je, že se mezi laminací fotovoltaických článků a chybějícím sklem nemůže vytvořit vzduchová mezera a dochází tak velkým tepelným ztrátám. Ztráty lze redukovat tepelnou izolací na zadní straně kolektoru, nebo zakomponování kolektoru do obálky budovy. Vzhledem k vysokým tepelným ztrátám je primární funkcí tohoto typu kolektoru výroba elektrické energie. Kolektor samozřejmě produkuje i nízkopotencionální teplo, které může sloužit k předehřevu studené vody do teplot 20 °C, ohřev bazénu, případně lze teplo využít v primárním okruhu tepelných čerpadel. [1]



Obrázek 2 nezasklený FV/T kolektor [6]

Tento druh nejvíce používáme pro primární okruhy tepelných čerpadel (0-10 °C), předehřev studené vody (10-20 °C celoročně) a ohřev bazénové vody (25-30 °C).

3 Výrobci

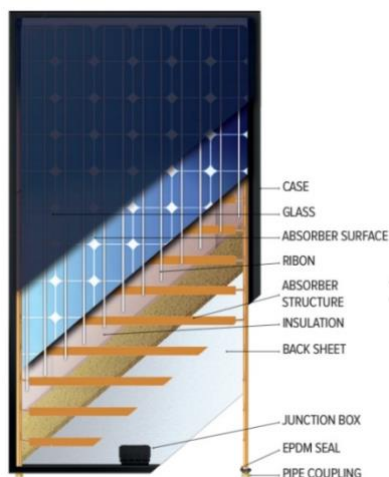
FV/T kolektory kombinují výrobu elektřiny a tepla v jednom kolektoru, čímž můžeme dosáhnout vyšších výnosů na m². Toto je zvláště důležité, pokud je k dispozici pouze malá plocha střechy. Trh s FV/T kolektory získává pozornost více a více lidí na evropském trhu a v několika evropských zemích. V posledních letech roste počet dodavatelů těchto technologií. V níže uvedené tabulce uvádím přehled současných výrobců kapalinových FV/T kolektorů. Vysvětlivky k jednotlivým zkratkám: STC – standardní testovací podmínky (příkon 1000 W/m², spektrum AM1,5 Global, teplota 25 °C). Hybridní panely níže uvedených výrobců generují elektřinu efektivně, a to z důvodu chlazení teplosměnnou látkou procházející panelem. Solární panely pracují nejlépe za optimální teploty. Díky lepšímu chlazení panelu roste i elektrická účinnost. Nevýhodou je menší generovaný tepelný výkon oproti solárním tepelným kolektorům.

Výrobce	Model / Řada	Výkon (STC) elektrický/ tepelný [W]	A [m ²]	Dodavatel v ČR
VOLTHER (TR)	POWERVOLT	200 / 630	1,32	✓
	POWER THERM	180 / 680	1,35	✓
SOLARANGEL (UK)	DG-01	250 / 648	1,61	-
DUALSUN (FR)	SPRING	310 / 642	1,65	-

Tabulka 1 Přehled výrobců FV/T

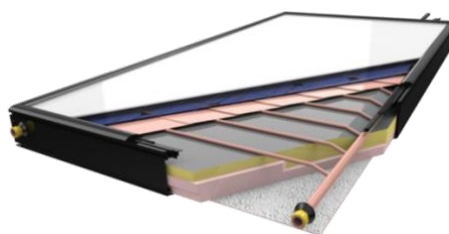
3.1 Volther PowerTherm

Vývoj PowerTherm FV/T kolektoru je optimalizován pro dosažení maximálního tepelného výkonu. Maximální elektrický a tepelný výkon FV/T kolektoru je 180 W a 680 W. Tento hybridní kolektor se skládá z dvou hlavních vrstev. První vrstva je tvořena z monokrystalických článků umístěných pod PV sklem. Tyto články jsou schopné z dopadajícího slunečního záření (do 700nm) díky fotoelektrickému jevu vytvořit jednosměrný elektrický proud, který je následně dále využíván ve formě střídavého elektrického proudu. Druhá vrstva obsahuje absorbér, který má za funkci produkci tepla. Absorbuje totiž neviditelné infračervené záření (nad 700 nm), z kterého následně získáváme teplo, které následně předáváme proudícímu médium (teplosměnné kapalině).



PowerTherm (PV- T Glazed)	
Product Code	MA- 0014
Dimensions (mm)	828x 1640 x 110
Gross Area (m ²)	1,474
Aperture Area (m ²)	1,427
Absorber Area (m ²)	1,270
Weight (kg)	34,4
Liquid Content	1,21
Absorber Panel	Mono-Crystalline
Number of Cells	72
Cell Dimensions (mm)	125 x 125
WP (W) Nominal Power	180
Imp (A) Nominal Current	5,12 A
Isc (V) Short Circuit Current	5,55 A
Vmp (V) Nominal Current	35,15 V
Voc (V) Open Circuit Voltage	43,39
Heat Exchanger	Copper
Internal Piping	Copper
Test Pressure (bar)	13
Maximum Operating Pressure (bar)	6
Cover Glass	Extra Low Iron Tempered Glass
Sealing	EPDM & Silicone
Maximum Temperature	134°C
Base Sheeting	Embossed - Finished Aluminum
Rear Side	Aluminum
Product Warranty	10 Years
Production Guarantee	%90<10 years, %80<20 years

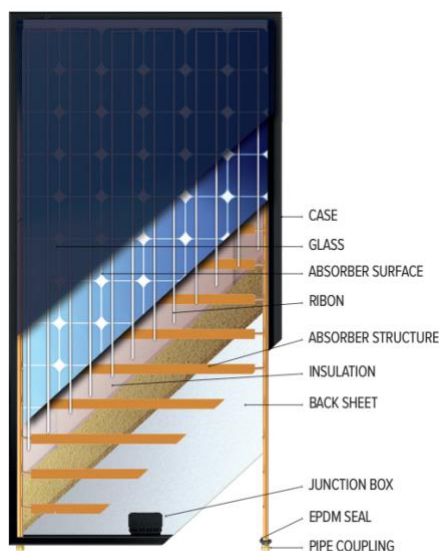
PowerTherm (PV- T Glazed)	
Product Code	MA- 0014
Temperature coefficient of Isc	0.06%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.34%/°C
Temperature coefficient of Pmax	-0.45%/°C
Power Tolerance	±3%
Module electrical efficiency	12.90%
η_0 (Zero Loss Collector Efficiency)	0.486
a_1 (first order heat loss)	4.028
a_2 (second order heat loss)	0.067
MC4 connector (brand / model)	JMTHY / PV-JM601
WP (W) Thermal Power	680
Recommended flow rate (L/Hr)	65
Country of manufacture	Turkey
Manufacturer	Solimpeks Solar Energy Corp.



Obrázek 3 Technické parametry FV/T kolektoru značky PowerVolt MA-0014

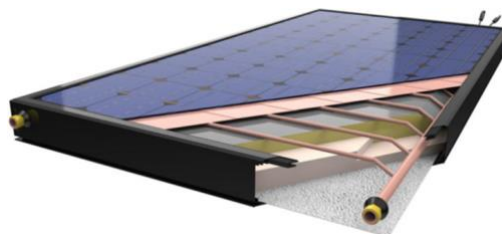
3.2 Volther Powervolt

Tyto kolektory jsou vhodné pro střechy rodinných domů. Vyznačují se plochou 1,326 m², díky které při dobrém slunečním osvětlení dokážou produkovat elektrický výkon až 200 W s tepelným výkonem 630 W.



PowerVolt	
Product Code	MA- 0013
Dimensions (mm)	828x1601x90
Gross Area (m ²)	1,370
Aperture Area (m ²)	1,326
Absorber Area (m ²)	1,194
Weight (kg)	24,4
Liquid Content	1,21
Absorber Panel	Mono-Crystalline
Number of Cells	72
Cell Dimensions (mm)	125 x 125
WP (W) Nominal Power	200
Imp (A) Nominal Current	5,28
Isc (V) Short Circuit Current	5,66
Vmp (V) Nominal Current	37,89
Voc (V) Open Circuit Voltage	45,26
Heat Exchanger	Copper
Internal Piping	Copper
Test Pressure (bar)	13
Maximum Operating Pressure (bar)	6
Cover Glass	PV Glass
Sealing	EPDM & Silicone
Maximum Temperature	101°C
Base Sheeting	Embossed - Finished Aluminum
Rear Side	Aluminum
Product Warranty	10 Years
Production Guarantee	%90<10 years, %80<20 years

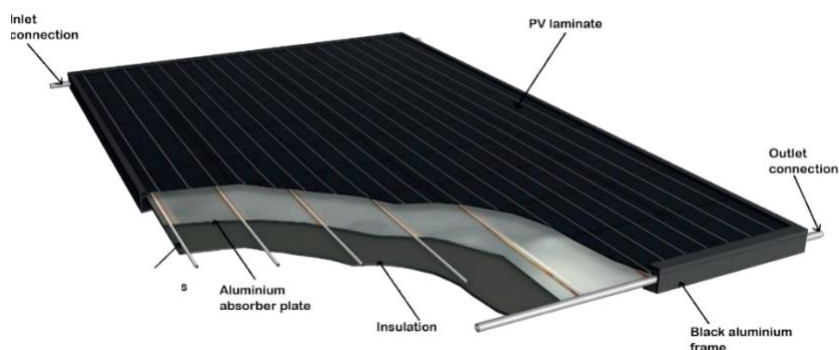
PowerVolt	
Product Code	MA- 0013
Temperature coefficient of Isc	0.06%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.34%/°C
Temperature coefficient of Pmax	-0.45%/°C
Power Tolerance	±3%
Module electrical efficiency	15.08%
η_0 (Zero Loss Collector Efficiency)	0.475
a_1 (first order heat loss)	8.37
a_2 (second order heat loss)	0.586
MC4 connector (brand / model)	JMTHY / PV-JM601
WP (W) Thermal Power	630
Recommended flow rate (L/Hr)	65
Country of manufacture	Turkey
Manufacturer	Solimpeks Solar Energy Corp.



Obrázek 4 Technické parametry FV/T kolektoru značky PowerVolt MA-0013

3.3 SolarAngel

Solar Angel je hybridní FV/T kolektor britské výroby vyrábějící elektřinu, tak teplo ve formě teplé vody. Maximální elektrický výkon a tepelný výkon FV/T kolektoru je 250 W a 648 W. Instalace hybridního tepelného kolektoru je praktická v mnoha případech, kdy má objekt vysoké požadavky na teplo. V horkých dnech, kdy je produkce FV panelu nejvyšší a jeho teploty dosahují až 70 °C je výhoda FV/T kolektorů, že kromě výroby tepelné energie dochází ke chlazení PV článků díky cirkulujícímu médiu a tím lze dosáhnout vyšší produkce vygenerované elektřiny. Panely SolarAngel jsou navíc navrženy tak, aby nepřekročily teplotu 80 °C, a tím je tedy zabráněno možným budoucím problémům.



Product Code	Solar Angel DG-01		
PV Output (Wp) (Polycrystalline)	250	Frame material	Aluminium
Thermal Output (Wp)	648	Insulation material	Polymer foam
Gross collector area (m2)	1.607	Connections	22 mm Compression
Aperture area (m2)	1.552	Max. operating pressure (KPa)	600
Absorber area (m2)	1.501	Pressure tested to (KPa)	1500
Dimensions (mm)	1630x986x35	Pressure drop (mBar) @ 2.5 l/min	50
Weight – empty (kg)	25	Max System Voltage (V)	1000
Liquid content (l)	0.82	Voltage at max power (V)	30.4
Glass (low iron)	3.2 mm	Current at max power (A)	8.1
Stagnation temperature (°C)	78.9	Over current Protection Rating (A)	12
Absorber material	Aluminium	Snow and Wind Loading (max Pa)	6600

Obrázek 5 Technické parametry FV/T kolektoru značky Solar Angel DG-01

3.4 DualSUN Spring

FV/T kolektor francouzského původu s vysokou účinností PV. Hybridní kolektor značky DualSun vyrábí elektřinu a horkou vodu, kterou lze využít k vytápění bazénu, kombinací s tepelným čerpadlem či ohřev TUV. Nejúčinnější varianta je v kombinaci s tepelným čerpadlem, kde oproti klasickým PV panelům je až 5x účinnější. Elektrický výkon dosahuje hodnoty 310 W a jeho tepelný výkon dosahuje hodnoty 632 W.

GENERAL DATA		
Length	1658 mm	
Width	996 mm	
Frame width	35 mm	
Frame color / Backsheet	Black / Black	
Maximum load	5400 Pa (snow) / 2400 Pa (wind)	
	Spring NI*	Spring I*
Weight empty / filled	25,3 / 30,3 kg	261 / 311 kg

* NI = Non-Insulated I = Insulated

PHOTOVOLTAIC DATA	
Number of cells per module	60
Cell type	PERC Monocrystalline
Nominal power (P _{mpp})	315 W
Module efficiency	19,08 %
Rated voltage (V _{mpp})	32,85 V
Rated current (I _{mpp})	9,59 A
Open circuit voltage (V _{oc})	40,12 V
Short circuit current (I _{sc})	10,12 A
Power output tolerance	0 / +5W
Maximum system voltage	1000 V DC
Reverse current load	20 A
NOCT	45 ± 2°C
Connectors	MC4 / MC4 compatible
Application class	Class II
Voltage temperature coefficient (μV _{oc})	-0,29 %/°C
Current temperature coefficient (μI _{sc})	0,05 %/°C
Power temperature coefficient (μP _{mpp})	-0,36 %/°C

Power measurement tolerance : +/- 3%

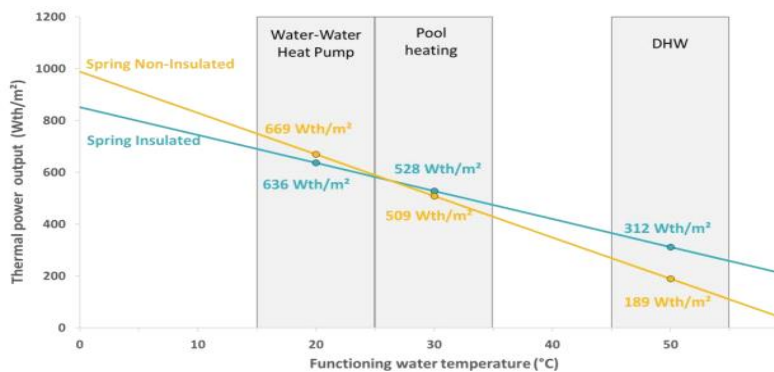


THERMAL DATA		
Gross area	1,635 m ²	
Volume of heat transfer liquid	5 L	
Maximum operating pressure	1,5 bar	
Pressure loss per panel (Pa mmWS)	Portrait	Landscape
	59 6	167 17
	at 32 L/h	
	461 47	961 98
	at 100 L/h	
Hydraulic input/output	DualQuickfit® fittings	
	Non-Insulated	Insulated
Maximum temperature	70 °C	75,6 °C
Optical efficiency α ₀	58,9 % *	58,2 % *
Heat loss coefficient α ₁	16,0 W/K/m ² *	10,8 W/K/m ² *
Heat loss coefficient α ₂	0 W/(m ² .K ²) *	

* The α₀, α₁ et α₂ coefficients are the measured values from testing during EN 9806:2017 certification at KIWA for unglazed collectors with a windspeed u = 1m/s: α₀ = η₀ - c₀ * u'; α₁ = c₁ + c₃ * u'; u' = u - 3.

Power output as a function of the temperature of the water in the panel (by application)

Power values are calculated using α₀ and α₁ coefficients (windspeed=1m/s) in STC conditions (Text = 25°C, G = 1000 W/m²)



Obrázek 6 Technické parametry FV/T kolektoru značky DualSun Spring [20]

4 Účinnost FV/T kolektorů a ovlivňující parametry

S pojmem účinnost hybridních FV/T kolektorů se setkáme v nejednom případě při výběru správného typu kolektoru a tato účinnost může být právě rozhodujícím parametrem při výběru a následné aplikace pro náš referenční objekt. Celkovou účinnost dělíme na dvě části. Elektrická a termická účinnost, která vychází z právě zvolených výkonů. Tyto dvě účinnosti jsou závislé na účinnosti optické, která určuje přímo relativní množství energie, které je do FV/T kolektoru dodáno. Optická účinnost (1) ovlivňuje obě dílčí účinnosti, kde τ je propustnost, ρ je odrazivost a α je pohltivost daného materiálu.

$$\tau + \rho + \alpha = 1 \quad (1)$$

4.1 Účinnost termické části kolektoru

Termická účinnost kolektoru a jeho tepelný výkon bude značně převyšovat nad účinností elektrickou a elektrickým výkonem. Celkovou termickou účinnost určujeme dle vztahu (2), kde U [W/m²K] je součinitel prostupu tepla kolektoru.

$$\eta = F' \left[\tau\alpha - \frac{U(t_m - t_e)}{G} \right] = F' [\tau\alpha - U \cdot \Delta t_{red}] \quad (2)$$

Účinnostní součinitel kolektoru F' , závisí na geometrii a tepelných vlastnostech absorbéru, proudění uvnitř trubek absorbéru a celkovém součiniteli prostupu tepla absorbéru. Tento součinitel reprezentuje poměr množství skutečně získávané energie a energie, kterou by bylo možné získat, pokud by měl povrch absorbéru zcela stejnou teplotu jako teplonosná kapalina proudící ve vyšetřovaném místě. Kde G [W/m²] je referenční hodnota slunečního záření, t_e [°C] je teplota okolí kolektoru a t_m [°C] je střední teplota teplonosné kapaliny v kolektoru podle rovnice (3) [2], ve které je t_{k1} [°C] je teplota pracovní látky vstupující do kolektoru a t_{k2} [°C] je teplota pracovní látky vystupující z kolektoru

$$t_m = \left(\frac{t_{k1} + t_{k2}}{2} \right) \quad (3)$$

4.2 Účinnost fotovoltaické části kolektoru

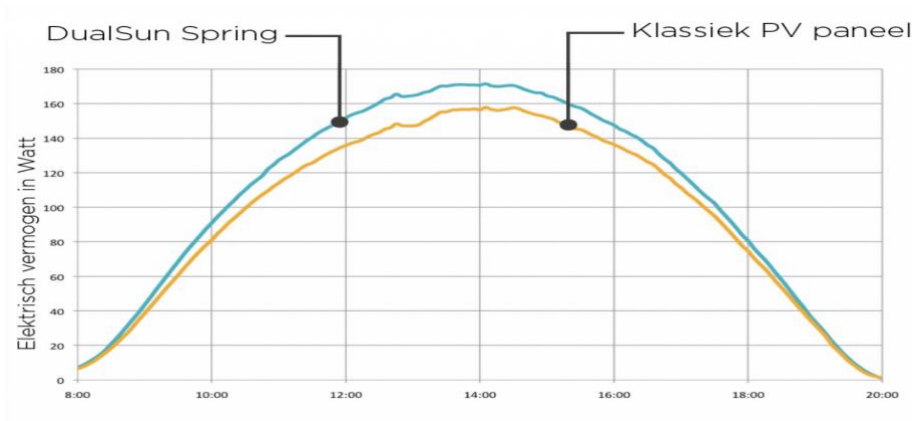
Zasklený hybridní kolektor má vůči solárnímu panelu nižší elektrickou účinnost. Elektrická účinnost je snížena především kvůli odrazu dopadajícího slunečního záření od krycího skla, které může i při použití kvalitního skla s nízkým obsahem železa vyústit v pokles optické účinnosti o 8 %. Použitím skla vysoce propustného pro záření, lze ztráty snížit až na 4 %, jak bylo detailně popisováno v kapitole věnované optické účinnosti celého kolektoru. Účinnost fotovoltaické přeměny je ovlivňována pracovní teplotou článků. Vliv pracovní teploty v závislosti na aktuálních pracovních podmínkách kolektoru, jak popisuje vztah (4) [3]

$$n_{el} = [1 + \beta(t - 25)] \cdot \eta_{ref} \quad (4)$$

v něm je t [°C] teplota článků, η_{ref} je referenční účinnost článku při standardních testovacích podmínkách (STC) a β teplotní koeficient výkonu (nabývá záporných hodnot). Koeficient β má typické hodnoty -0,0045 [1/K] pro monokrystalický křemík a 0,002 [1/K] pro křemík amorfni. Díky rovnici a vztahu (2) se ukázalo, že ochlazováním FV panelů se zvyšuje jeho účinnost. Začalo se tedy uvažovat o prvních konstrukcích FV/T kolektorů. Obecný vztah pro určení účinnosti FV panelů je ve vztahu (5)

$$n_e = \frac{(U \cdot I)_{MPP}}{G \cdot A} \quad (5)$$

Členy U_{MPP} [V] a I_{MPP} [A] představují MPP (bod maximálního výkonu) napětí, respektive proud z článků, A [m²] je plocha panelu a G [W/m²] je referenční hodnota slunečního záření. [4] Odvod tepla z FV článků s využitím kapaliny má několik příznivých vlivů, a mezi ně patří snížení teplot článků, které cirkulující kapalina chrání před tepelnou zátěží a prodlužuje tak životnost FV článků a jak můžeme i dle níže uvedeného obrázku vidět, tak mezi další výhody patří také zvýšení elektrické účinnosti FV článků a celkovou produkci elektrické energie. Obrázek 7. nám ukazuje závislost generovaného výkonu v čase. Modrá křivka náleží FV/T kolektoru DualSun Spring s kterým dále budeme v této diplomové práci pracovat.

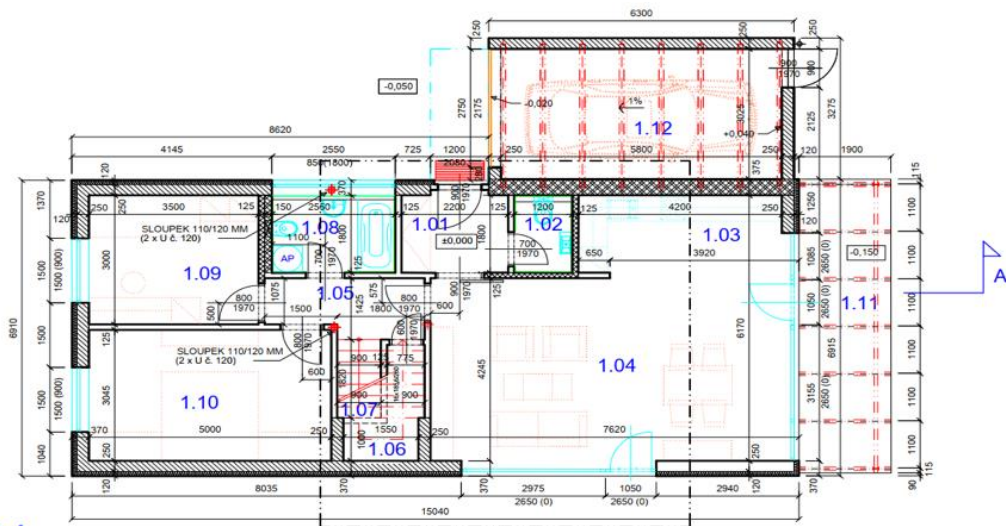


Obrázek 7 Srovnání produkce elektřiny FV/T a FV [20]

5 Referenční objekt

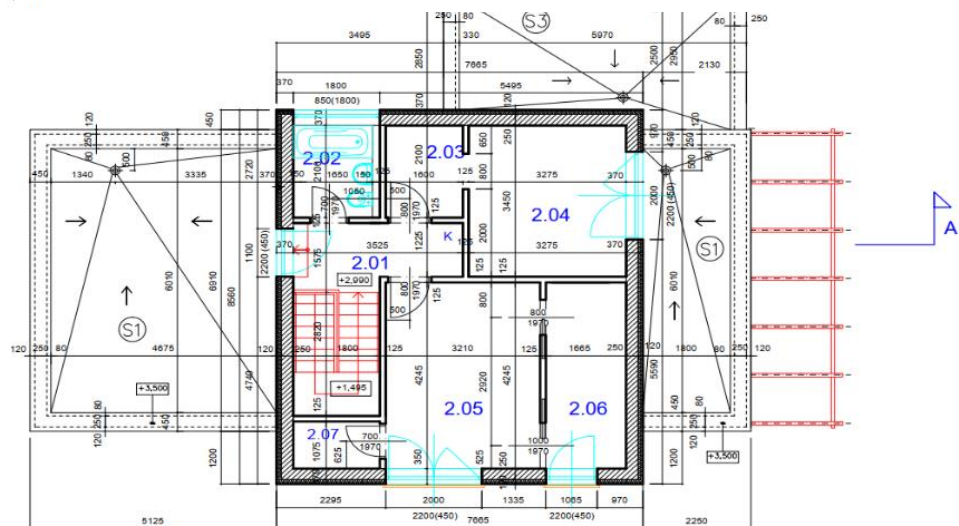
K referenčnímu objektu se vztahuje několik provozních informací, kterými jsou například hodnota hlavního domovního jističe 3x25 A, Distribuční sazba D57d a dodavatel energií jímž je ČEZ.

5.1 Výkresová dokumentace



C4

±0,000 = 254,10



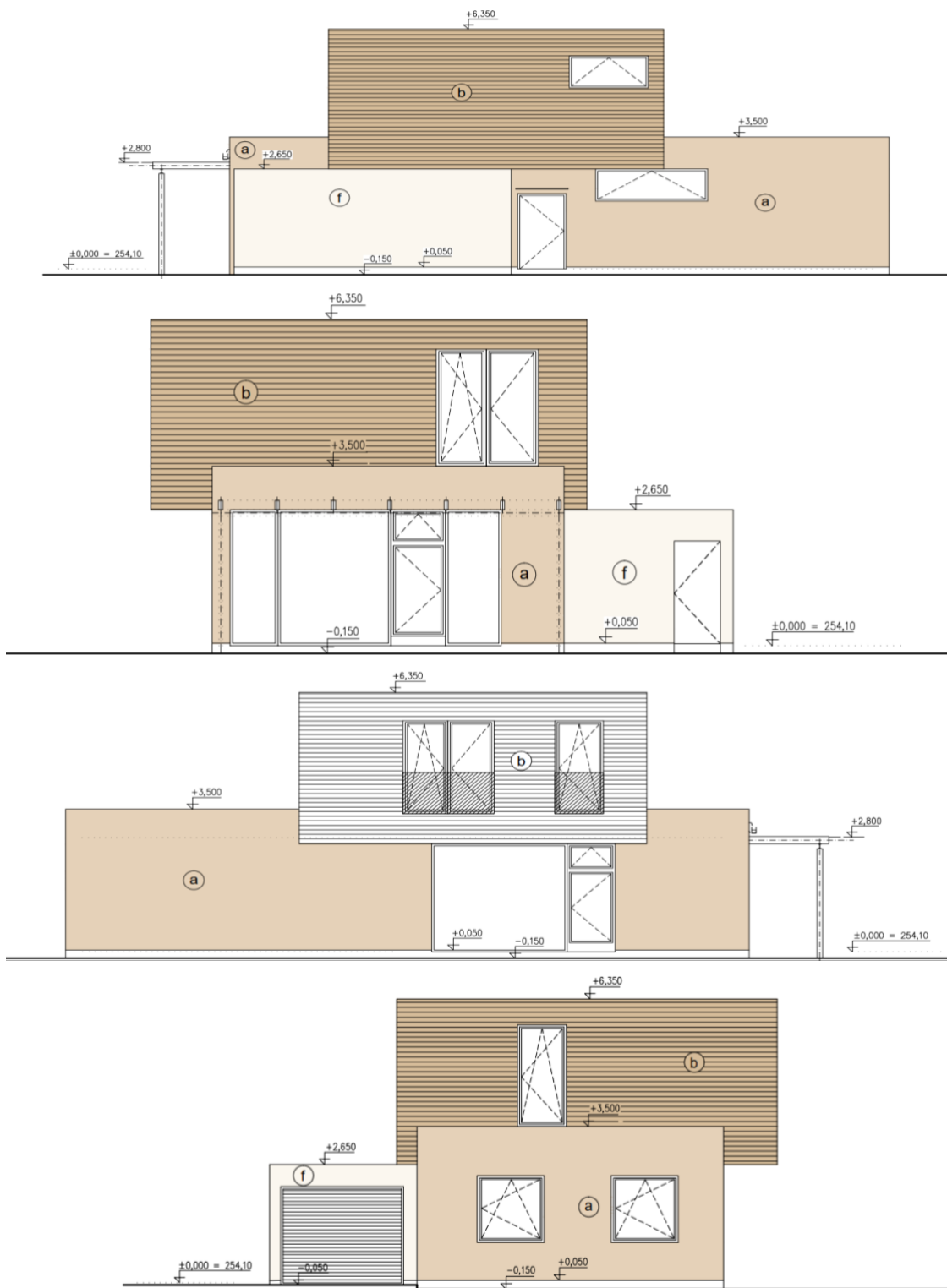
C4

±0,000 = 254,10

Obrázek 8 Výkresová dokumentace

5.2 Situační pohledy

Situační pohledy dle světových stran (sever, východ, jih, západ).



Obrázek 9 Situační pohledy (sever, východ, jih, západ)

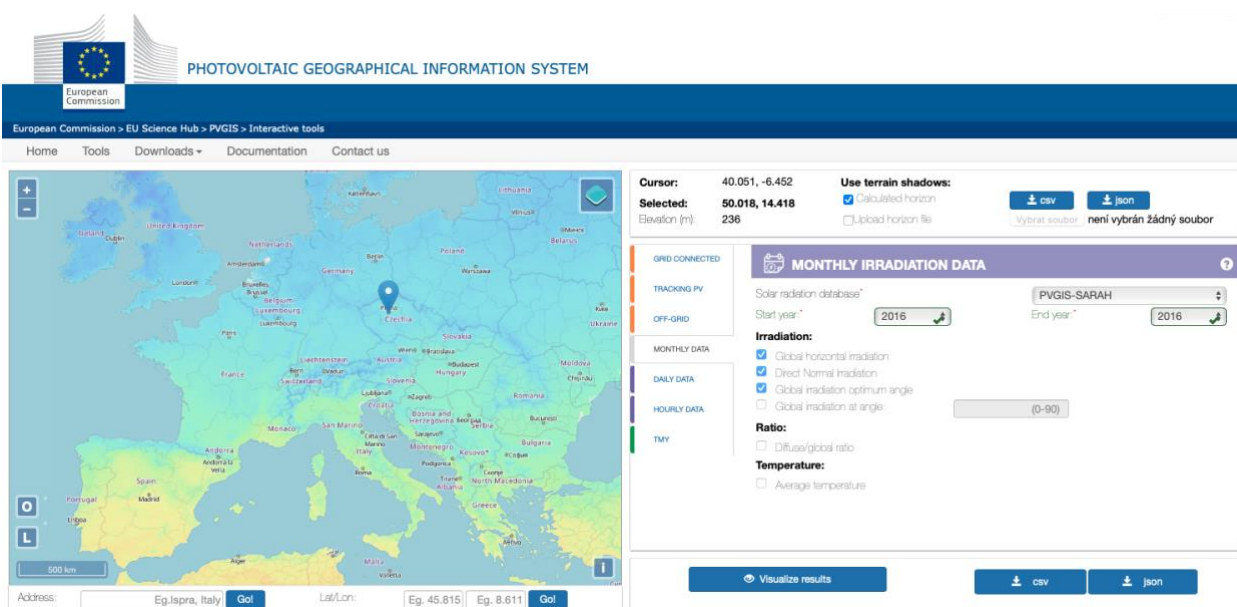
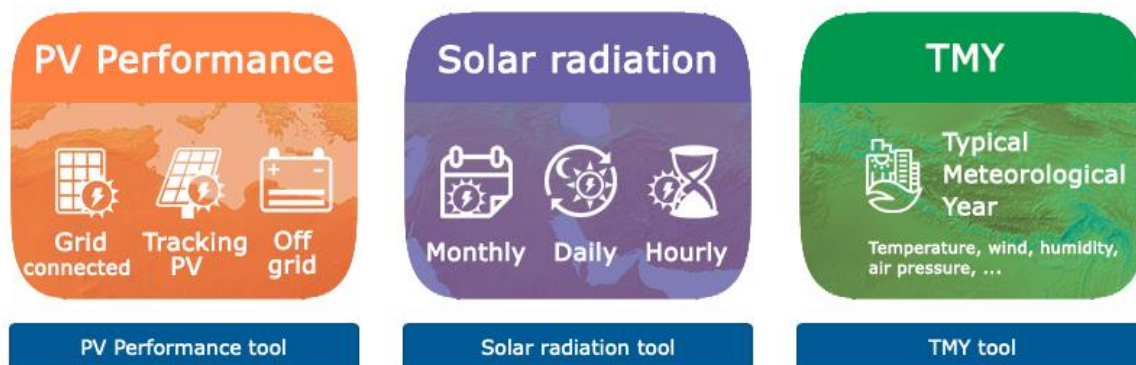
6 Klimatické podmínky

Objekt, u kterého řeším potenciální výstavbu, mě zajímají hodnoty měsíčních teplot a denních teplot v předem určených intervalech. Pro tyto informace lze použít software PGVIS (Photovoltaics Geographical Information System), model vytvořený výzkumným centrem Evropské komise. PVGIS je zaměřený přímo na využití pro fotovoltaické aplikace. Umožňuje kalkulaci výroby elektřiny v konkrétním místě kdekoli v Evropě i v Africe.

Výpočetní model využívá jak údaje ze satelitních měření, tak z pozemních meteorologických. Důležité hodnoty, které skrze tento software lze zjistit jsou nás budou zajímat jsou denní intenzita slunečního záření G [W/m^2], měsíční úhrn slunečního svitu H_T [kWh/m^2] a územní teploty [$^{\circ}C$]. Rozhraní výpočtového modelu PVGIS je znázorněno na níže uvedeném obrázku 10.

Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)

Try the PVGIS tools:



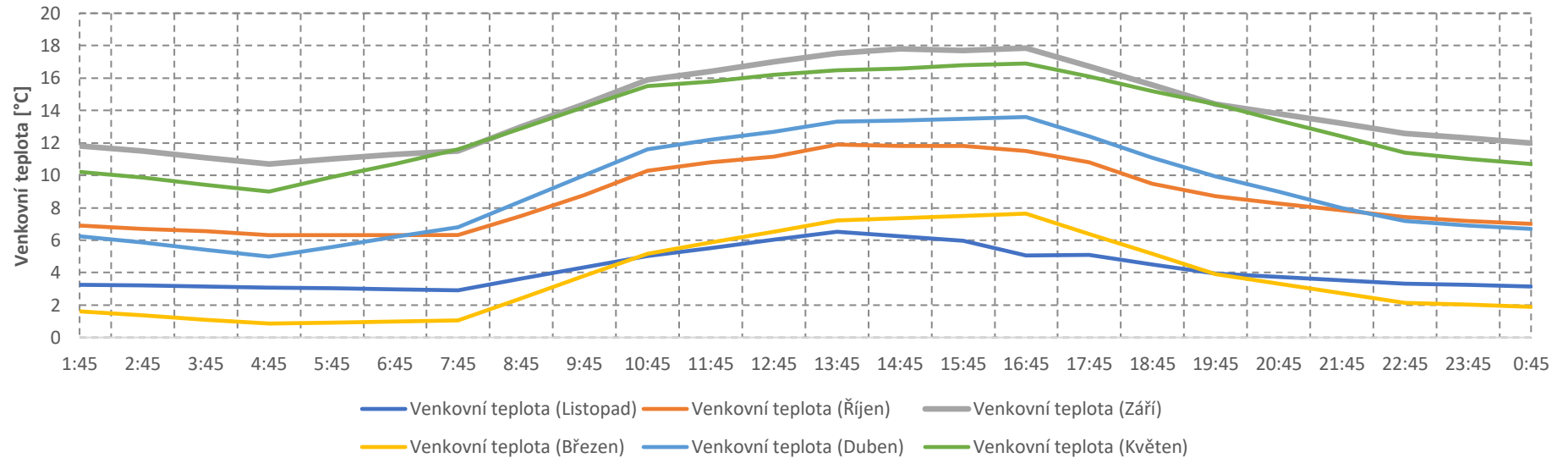
Obrázek 10 PVGIS výpočtový model [21]

6.1 Venkovní teploty dle PVGIS

6.1.1 Tábor

Měsíc	Venkovní teplota [°C]																							
11	3,2	3,2	3,15	3,0	3,0	2,9	2,9	3,6	4,3	5,02	5,5	6,0	6,52	6,24	5,95	5,1	5,0	4,5	3,9	3,7	3,5	3,3	3,2	3,1
10	6,9	7,7	8,55	6,3	6,3	6,3	6,32	7,5	8,8	10,3	10,8	11,1	11,9	11,8	11,8	11,5	10,8	9,5	8,7	8,2	7,8	7,4	7,2	7
9	11,8	11,5	11,1	10,7	11,0	11,2	11,5	13	14,4	15,9	16,4	17,1	17,5	17,8	17,7	17,8	16,7	15,5	14,4	13,8	13,2	12,5	12,2	12
3	1,6	1,3	1,1	0,8	0,9	0,9	1,0	2,4	3,8	5,2	5,8	6,5	7,2	7,3	7,4	7,6	6,4	5,1	3,9	3,3	2,7	2,1	2,0	1,8
4	6,2	5,8	5,42	4,9	5,5	6,2	6,8	8,41	10	11,6	12,2	12,7	13,3	13,4	13,5	13,6	12,4	11,1	9,9	9	8	7,2	6,9	6,7
5	10,2	9,8	9,4	9	9,9	10,7	11,6	12,9	14,3	15,5	15,8	16,2	16,5	16,6	16,8	16,9	16,1	15,2	14,4	13,4	12,4	11,4	11	10,7

Tabulka 2 Venkovní teploty dle PVGIS pro Tábor

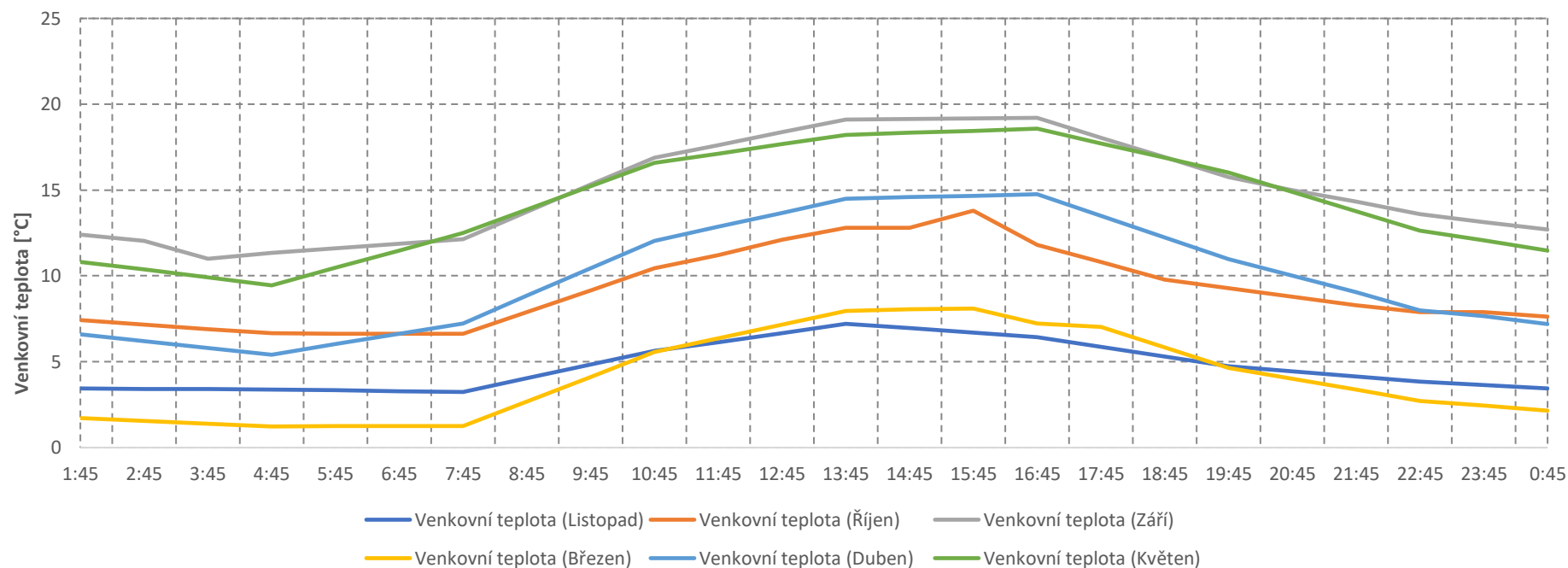


Graf 1 Průběh venkovních teplot dle PVGIS pro Tábor

6.1.2 Ústí nad Labem

Měsíc	Venkovní teplota [°C]																							
11	3,4	3,4	3,4	3,3	3,3	3,2	3,2	4,0	4,8	5,6	6,1	6,6	7,2	6,9	6,7	6,4	5,8	5,3	4,7	4,3	4,1	3,8	3,6	3,4
10	7,4	7,17	6,9	6,6	6,64	6,64	6,63	7,9	9,1	10,4	11,2	12,1	12,8	12,8	18,8	11,8	10,8	9,8	9,3	8,8	8,3	7,9	7,9	7,6
9	12,4	12,5	11	11	11,6	11,8	12,1	13,7	15,3	16,8	17,6	18,7	19,2	19,1	19,8	19,2	18,6	16,1	15,6	15	14,3	13,5	13,1	12,9
3	1,7	1,5	1,4	1,1	1,2	1,2	1,2	2,6	4,1	5,5	6,3	7,1	7,9	8,0	8,1	5,2	7,0	5,8	4,6	4	3,3	2,7	2,4	2,1
4	6,6	6,2	5,8	5,4	6,02	6,63	7,24	8,4	10,4	12,0	12,8	13,6	14,5	14,5	14,6	14,7	13,5	12,2	10,9	10,0	9,6	8	7,5	7,1
5	10,8	10,3	9,9	9,4	10,4	11,4	12,5	13,8	15,2	16,6	17,1	17,6	18,2	18,3	18,4	18,5	17,7	16,8	16,0	14,8	13,7	12,6	12,0	11,4

Tabulka 3 Venkovní teploty dle PVGIS pro Ústí nad Labem

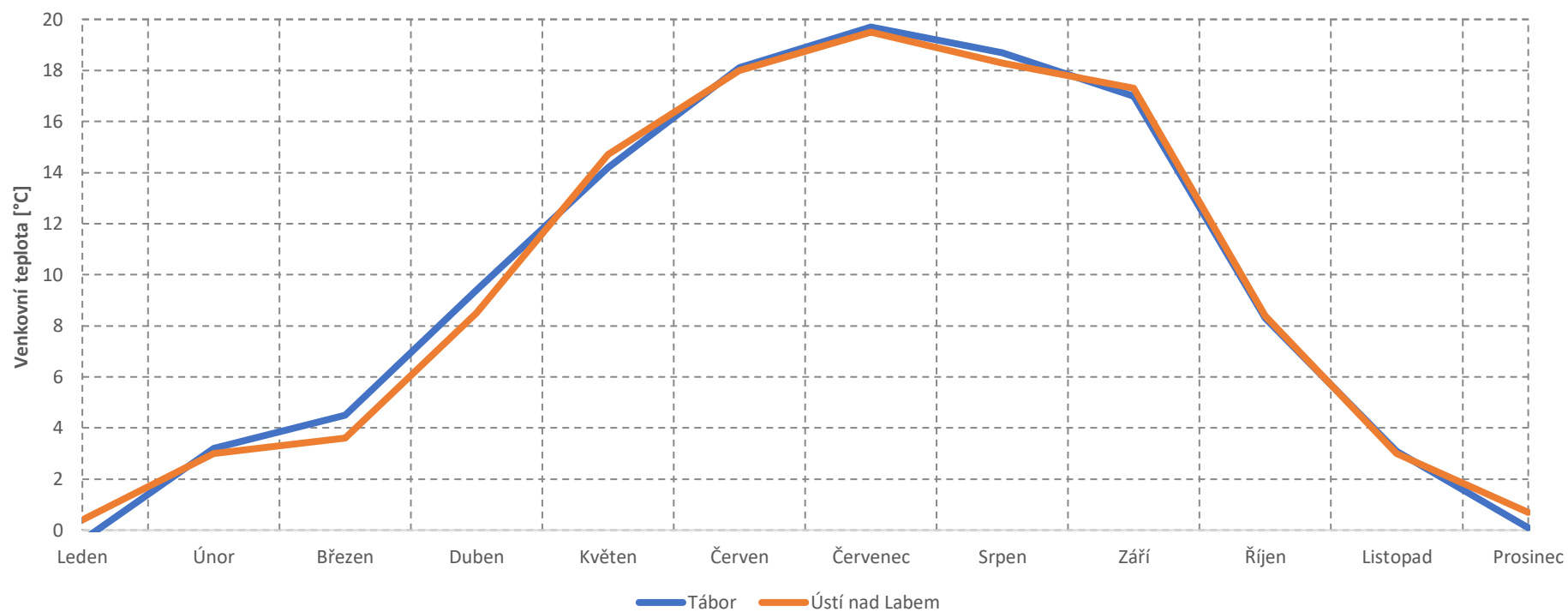


Graf 2 Průběh venkovních teplot dle PVGIS pro Ústí nad Labem

6.1.3 Porovnání měsíční průměrné teploty

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Tábor	-0,4	3,2	4,5	9,4	14,2	18,1	19,7	18,7	17	8,3	3,1	0,1
Ústí nad Labem	0,4	3	3,6	8,5	14,7	18	19,5	18,3	17,3	8,4	3	0,7

Tabulka 4 Průměrná měsíční teploty pro Tábor a Ústí nad Labem



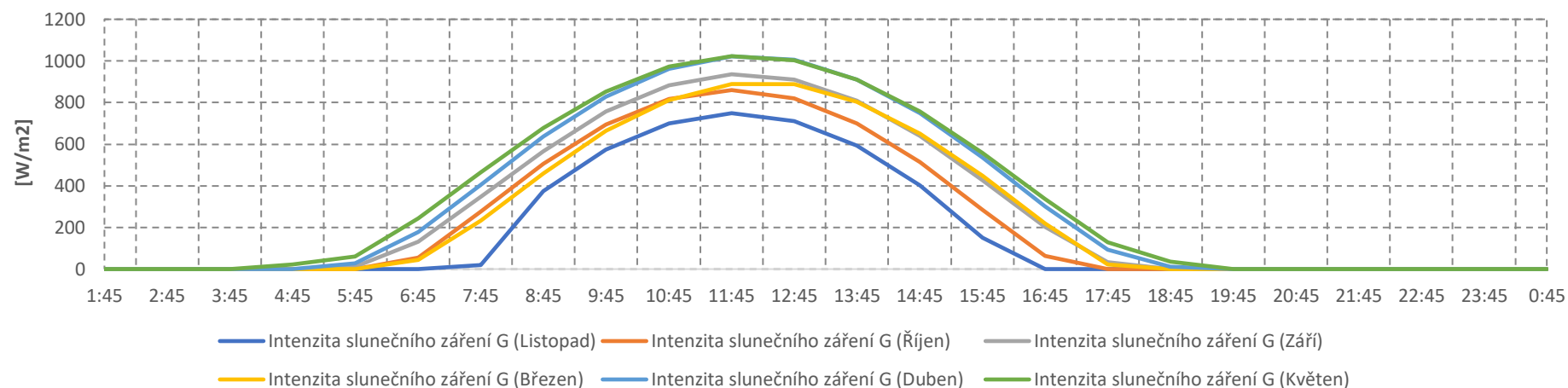
Graf 3 Průběh venkovní teploty pro Tábor a Ústí nad Labem

6.2 Sluneční radiace dle PVGIS

6.2.1 Tábor

Intenzita slunečního záření G	3:45	4:45	5:45	6:45	7:45	8:45	9:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45
Listopad [W/m ²]	0	0	0	0	19	374	573	701	749	712	593	402	151	0	0
Říjen [W/m ²]	0	0	0	55	275	506	695	817	860	821	701	515	285	62	0
Září [W/m ²]	0	0	10	131	346	566	756	882	936	910	808	640	426	202	33
Březen [W/m ²]	0	0	0	44	233	459	663	812	889	887	805	652	448	220	23
Duben [W/m ²]	0	0	29	177	406	636	829	962	1022	1005	911	749	536	301	92
Květen [W/m ²]	0	22	61	244	465	678	854	972	1023	1002	911	758	558	336	130

Tabulka 5 Sluneční radiace dle PVGIS pro Tábor

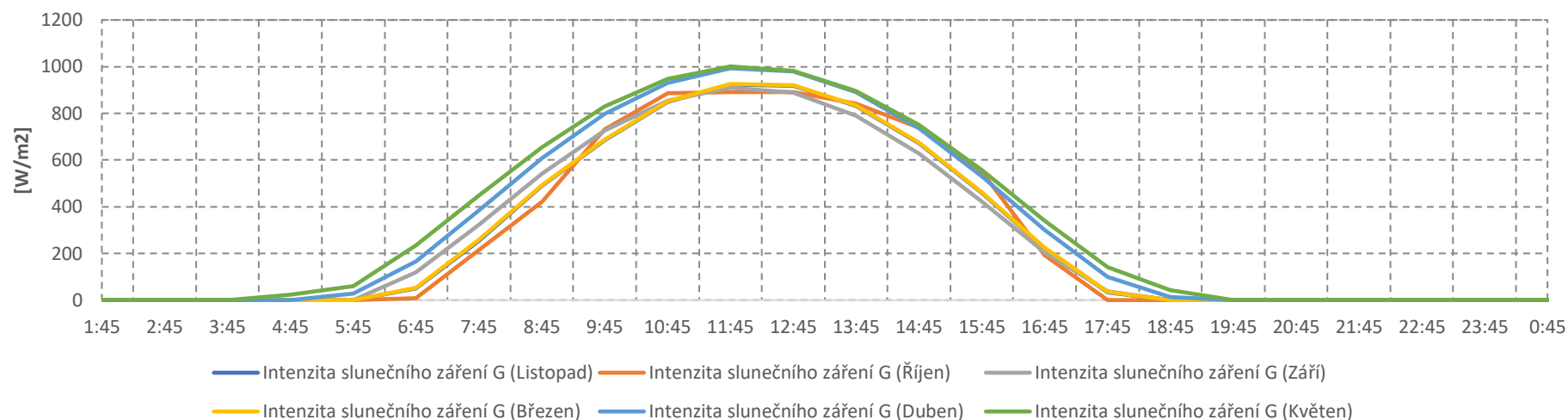


Graf 4 Průběh sluneční radiace dle PVGIS pro Tábor

6.2.2 Ústí nad Labem

Intenzita slunečního záření G	3:45	4:45	5:45	6:45	7:45	8:45	9:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45
Listopad [W/m ²]	0	0	0	50	255	490	685	848	923	918	831	671	457	222	33
Říjen [W/m ²]	0	0	0	9	216	421	732	887	890	891	841	739	550	192	0
Září [W/m ²]	0	0	0	119	324	542	727	854	910	888	791	629	422	204	37
Březen [W/m ²]	0	0	0	53	258	493	688	851	926	921	834	674	460	225	36
Duben [W/m ²]	0	0	28	165	384	608	798	931	993	979	890	735	529	302	99
Květen [W/m ²]	0	23	61	234	448	656	829	948	1001	983	897	750	556	341	140

Tabulka 6 Sluneční radiace dle PVGIS pro Ústí nad Labem

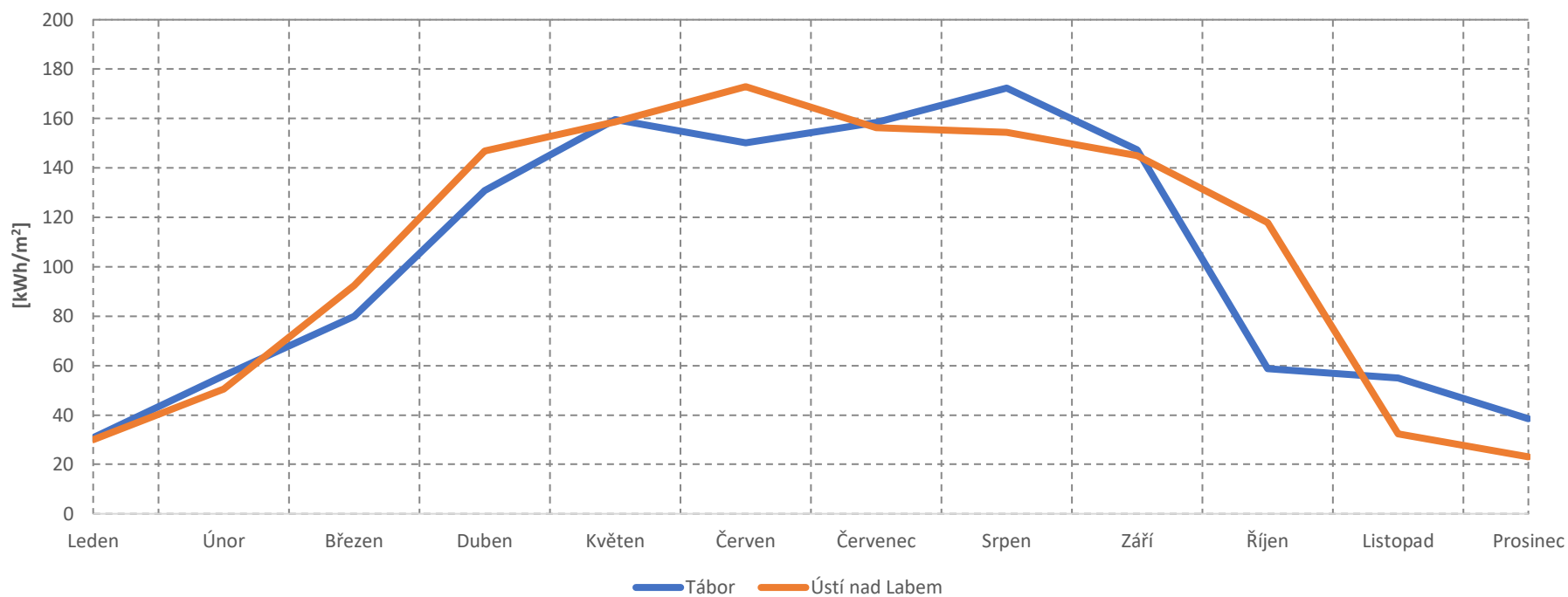


Graf 5 Průběh sluneční radiace dle PVGIS pro Ústí nad Labem

6.3 Měsíční úhrn slunečního svitu dle PVGIS

Měsíční úhrn slunečního svitu H_T	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Tábor [kWh/m^2]	30,81	55,99	79,84	130,7	159,49	150,11	158,33	172,35	147,38	58,83	54,95	38,51
Ústí nad Labem [kWh/m^2]	30,01	50,43	92,51	146,9	158,68	172,91	156,37	154,46	144,88	117,86	32,27	23,06

Tabulka 7 Měsíční průměrné hodnota slunečního svitu z PVGIS $H[\text{kWh}/\text{m}^2]$



Graf 6 Porovnání měsíční průměrné intenzity slunečního záření z PVGIS (Tábor, Ústí nad Labem)

7 Výpočet tepelné ztráty

Program Protech byl použit pro výpočet tepelné ztráty objektu dle ČSN EB 12831. Tepelnou ztrátu objektu je nutné chápat jako okamžitou hodnotu tepelné energie, která z domu uniká prostupem a větráním (infiltrací). Tyto hodnoty stanovujeme převážně za nejnepríznivějších návrhových (výpočtových) parametrech exteriéru a teploty interiéru. Pro výpočet jsem uvažoval venkovní výpočtovou teplotu (-12 °C).

7.1 Konstrukce a rozdělení ztrát mezi konstrukce

Systém rozměrů: E - vnější

OK	popis	ZZ	Var	U,Ψ	kU	$\dot{i}_{LV} \cdot 10^4$ m ² ·s ⁻¹ ·Pa ^{-0,67}	A m ²	L(LV) m	H W.K ⁻¹	Φ _(T) W
SO1	Obvodová Konstrukce vnější	Z	V1	0,298	1,00		156,0		46,48	1 505,2
SO2	Obvodová stěna - garáž	0	V1	1,217	1,00		55,1		33,70	1 078,2
SN1	Stěna ke garáži	0	V1	0,441	1,00		26,4		1,97	64,6
SN2	Stěna vnitřní 125 mm	Z	V1	0,839	1,00		245,0		0,36	28,0
PDL1	Podlaha na terénu	0	V1	0,262	1,00		104,2		11,21	362,1
PDL2	Podlaha nad venkovním prostor	0	V1	0,262	1,00		55,9		0,10	3,5
STR1	Strop	0	V1	0,262	1,00		180,0		4,08	134,9
SCH1	Střešní konstrukce	0	V1	0,158	1,00		109,7		17,33	559,5
DO1	Vstupní dveře 120/208	0	V1	1,200	1,00	0,000	2,5		3,00	95,8
DO2	Garážová vrata 275/218	0	V1	1,400	1,00	0,000	6,2		8,70	278,3
DO3	Dveře 90/197	0	V1	1,200	1,00	0,000	0,0		0,00	0,0
DB1	Balkónové dveře 110/225	0	V1	0,900	1,00	0,000	0,0		0,00	0,0
OZ2	Okno 150/150	0	V1	0,900	1,00	0,000	4,5		4,05	129,6
OZ3	Okna 180/85	0	V1	0,900	1,00	0,000	1,5		1,38	49,6
OZ4	Okno 109/265	0	V1	0,900	1,00	0,000	2,9		2,60	83,2
OZ5	Okno 105/265	0	V1	0,900	1,00	0,000	11,1		10,02	320,5
OZ6	Okna 316/265	0	V1	0,900	1,00	0,000	8,4		7,52	240,8
OZ7	Okna 298/265	0	V1	0,900	1,00	0,000	7,9		7,10	227,1
OZ8	Okno 220/200	0	V1	0,900	1,00	0,000	8,8		7,92	253,4
OZ9	Okno 255/85	0	V1	0,900	1,00	0,000	2,2		1,95	70,2

ztráty prostupem $\Phi_{(Tb)} = 5\,485\text{ W}$

ztráty výměnou vzduchu $\Phi_{(Vb)} = 1\,913\text{ W}$

součet $\Phi_{(cb)} = 7\,398\text{ W}$

podíl výměny vzduchu na celkových ztrátách $\Phi_{(Tb)}/\Phi_{(cb)} = 0,26$

podíl ztrát prostupem na celkových ztrátách $\Phi_{(Vb)}/\Phi_{(cb)} = 0,74$

Obrázek 11 Konstrukce a rozdělení ztrát mezi konstrukce

7.2 Tepelný výkon (rozdělen dle jednotlivých místností)

Níže uvádím dělení hodnot tepelného výkonu dle jednotlivých pater a místností. U jednotlivých místností lze sledovat jejich vnitřní výpočtovou teplotu t_i [°C], objem místností V_{me} a V_{mi} [m³] (s a bez konstrukcí), Podlahovou plochu A_{pe} a A_{pi} [m²] (s a bez konstrukcí). V posledních sloupcích lze vidět hodnoty návrhové tepelné ztráty větráním, celkový návrhový tepelný výkon místnosti, návrhovou tepelnou ztrátu místnosti prostupem tepla [W] a v poslední řadě měrnou tepelnou ztrátu vztaženou na [m²]. Hodnotu měrné tepelné ztráty vztažené na [m³] bohužel program Protech neumožňuje, a tak jsme ji tedy dopočetli v kapitole 7.4. Měrná tepelná ztráta, tepelná charakteristika (tabulka 9.)

$t_e = -12$ °C $t_{ib} = 20,2$ °C $n_{50} = 2,5$ systém rozměrů: E - vnější

podl.	č.m.	účel	úsek	t_i °C	V_{me} m ³	A_{pe} m ²	V_{mi} m ³	A_{pi} m ²	Φ_{Vm} W	Φ_{Tm} W	Φ_{HLm} W	Q_{cm} W	q_{cm} W.m ⁻²
1 NP													
1	101	1.01	1	20	11,9	4,0	8,6	3,2	47	112	159	159	49,8
1	102	1.02	1	24	6,5	2,2	4,3	1,6	26	74	101	101	63,1
1	103	1.03	1	20	22,7	7,6	17,3	6,4	94	171	265	265	41,4
1	104	1.04	1	20	97,0	32,3	77,8	28,8	423	870	1 293	1 293	44,9
1	105	1.05	1	20	8,7	2,9	5,3	2,0	29	-1	28	28	14,2
1	106	1.06/07	1	20	13,0	4,3	8,4	3,1	46	81	127	127	40,6
1	108	1.08	1	24	13,8	4,6	9,9	3,7	61	243	304	304	82,5
1	109	1.09	1	20	31,5	10,5	21,9	8,1	119	288	407	407	50,2
1	110	1.10	1	20	59,7	19,9	30,6	12,7	166	474	640	640	50,3
1	112	1.12	1	20	47,8	15,9	37,1	13,8	202	1 530	1 732	1 732	126,0
Σ úsek 1 1 NP													
					312,7	104,2	221,2	83,3	1 213	3 842	5 055	5 055	
2 NP													
2	201	2.01	2	20	24,3	8,1	17,3	6,4	94	291	385	385	60,2
2	202	2.02	2	24	10,1	3,4	7,2	2,7	44	244	288	288	108,2
2	203	2.03	2	20	10,1	3,4	7,4	2,8	40	91	131	131	47,7
2	204	2.04	2	20	33,9	11,3	25,9	9,6	141	327	468	468	48,7
2	205	2.05	2	20	40,9	13,6	32,4	12,0	176	246	422	422	35,2
2	206	2.06	2	20	40,9	13,6	32,4	12,0	176	336	512	512	42,7
2	207	2.07	2	20	7,4	2,5	5,1	1,9	28	109	137	137	72,0
Σ úsek 2 2 NP													
					167,6	55,9	127,8	47,3	700	1 643	2 343	2 343	
Σ budovy													
					480,2	160,1	349,0	130,7	1 913	5 485	7 398		

Legenda

Φ_{Vm} - návrhová tepelná ztráta místnosti větráním

Φ_{HLm} - celkový návrhový tepelný výkon místnosti

$Q_{cm} = \Phi_{HLm} + Q_z$

Φ_{Tm} = návrhová tepelná ztráta místnosti prostupem tepla

Obrázek 12 Tepelný výkon rozdělen dle jednotlivých místností

7.3 Tepelný výkon (rozdělení na jednotlivá patra)

Níže jsem rozdělil hodnoty tepelného výkonu dle jednotlivých pater a lze vidět hodnoty objemu místností V_{me} a V_{mi} [m^3] (s a bez konstrukcí), Podlahovou plochu A_{pe} a A_{pi} [m^2] (s a bez konstrukcí). V posledních sloupcích tabulky (Obrázek 13.) jsou návrhové tepelné ztráty větráním, celkový návrhový tepelný výkon místnosti, návrhovou tepelnou ztrátu místnosti prostupem tepla [W].

$t_e = -12 \text{ } ^\circ\text{C}$ $t_{ib} = 20,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ $n_{50} = 2,5$ systém rozměrů: E - vnější

Σ úseku	V_{me} m^3	A_{pe} m^2	V_{mi} m^3	A_{pi} m^2	Φ_{Vm} W	Φ_{Tm} W	Φ_{Hm} W	Q_{cm} W
Σ úsek 1 1 NP	312,7	104,2	221,2	83,3	1 213	3 842	5 055	5 055
Σ úsek 2 2 NP	167,6	55,9	127,8	47,3	700	1 643	2 343	2 343
Σ budovy	480,2	160,1	349,0	130,7	1 913	5 485	7 398	7 398

Obrázek 13 Tepelný výkon – rozdělení na jednotlivá patra

7.3.1 Četnost trvání teplot a výkonů

$t_{em} = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$ $d_{lok} = 216 \text{ dnů}$ $d_{CSN} = 225 \text{ dnů}$
 $t_e = -12 \text{ } ^\circ\text{C}$ $t_{ibQ} = 20,37 \text{ } ^\circ\text{C}$
 $Q = 7398 \text{ W}$

t_{ex} $^\circ\text{C}$	Q W	q %	d dny	d %	d_{te} dny
-12	7 398	100,0	4	2,2	4
-11	7 169	96,9	6	3,1	2
-10	6 941	93,8	8	4,0	2
-9	6 712	90,7	10	4,9	2
-8	6 484	87,6	13	6,2	3
-7	6 255	84,6	15	7,1	2
-6	6 027	81,5	19	8,9	4
-5	5 798	78,4	23	10,7	4
-4	5 570	75,3	27	12,9	4
-3	5 341	72,2	34	16,0	7
-2	5 113	69,1	41	19,1	7
-1	4 884	66,0	51	24,0	10
0	4 656	62,9	63	29,3	12

t_{ex} $^\circ\text{C}$	Q W	q %	d dny	d %	d_{te} dny
1	4 427	59,8	76	35,6	13
2	4 199	56,8	89	41,3	13
3	3 970	53,7	102	47,6	13
4	3 742	50,6	116	53,8	14
5	3 513	47,5	128	59,6	12
6	3 285	44,4	141	65,3	13
7	3 056	41,3	153	71,1	12
8	2 828	38,2	166	76,9	13
9	2 599	35,1	178	82,7	12
10	2 371	32,0	190	88,0	12
11	2 142	29,0	203	94,2	13
12	1 914	25,9	216	100,0	13

Obrázek 14 Četnost trvání teplot a výkonů

7.4 Měrná tepelná ztráta, tepelná charakteristika (rozdělen dle jednotlivých místností)

Níže je tabulka hodnot měrné tepelné ztráty, tepelného výkonu, tepelné charakteristiky a redukované tepelné charakteristiky. Měrnou tepelnou ztrátu q [$\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$] lze považovat za hodnotu tepelné ztráty dělenou rozdílem teplot interiéru a exteriéru.

podl.	č.m	t_i [.C]	t_e [K]	Q_{cm} [W]	V/A [$\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}$]	q_{cm} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]	q [$\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$]	q_{cn} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$]	q_{red} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$]
1 NP									
1	101	20	293,15	159,00	0,34	49,69	18,49	0,34	0,23
1	102	24	297,15	101,00	0,34	23,49	23,49	0,34	0,23
1	103	20	293,15	265,00	0,33	15,32	15,32	0,33	0,22
1	104	20	293,15	1293,00	0,33	16,62	16,62	0,33	0,22
1	105	20	293,15	28,00	0,33	5,28	5,28	0,33	0,22
1	106	20	293,15	127,00	0,33	15,12	15,12	0,33	0,22
1	108	20	293,15	304,00	0,33	30,71	30,71	0,33	0,22
1	109	20	293,15	407,00	0,33	18,58	18,58	0,33	0,22
1	110	20	293,15	640,00	0,33	20,92	20,92	0,33	0,22
1	112	20	293,15	1732,00	0,33	46,68	46,68	0,33	0,22
2 NP									
2	201	20	293,15	385,00		60,16	22,25	0,33	0,22
2	202	24	297,15	188,00		69,63	26,11	0,34	0,23
2	203	20	293,15	131,00		46,79	17,70	0,34	0,23
2	204	20	293,15	468,00		48,75	18,07	0,33	0,22
2	205	20	293,15	422,00		35,17	13,02	0,33	0,22
2	206	20	293,15	512,00		42,67	15,80	0,33	0,22
2	207	20	293,15	137,00		72,11	26,86	0,34	0,23

Tabulka 8 Měrná tepelná ztráta, tepelný výkon aj. jednotlivých místností

q_{cm} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]	q [$\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$]	q_{cn} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$]	q_{red} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$]
36,33	20,65	0,33	0,22

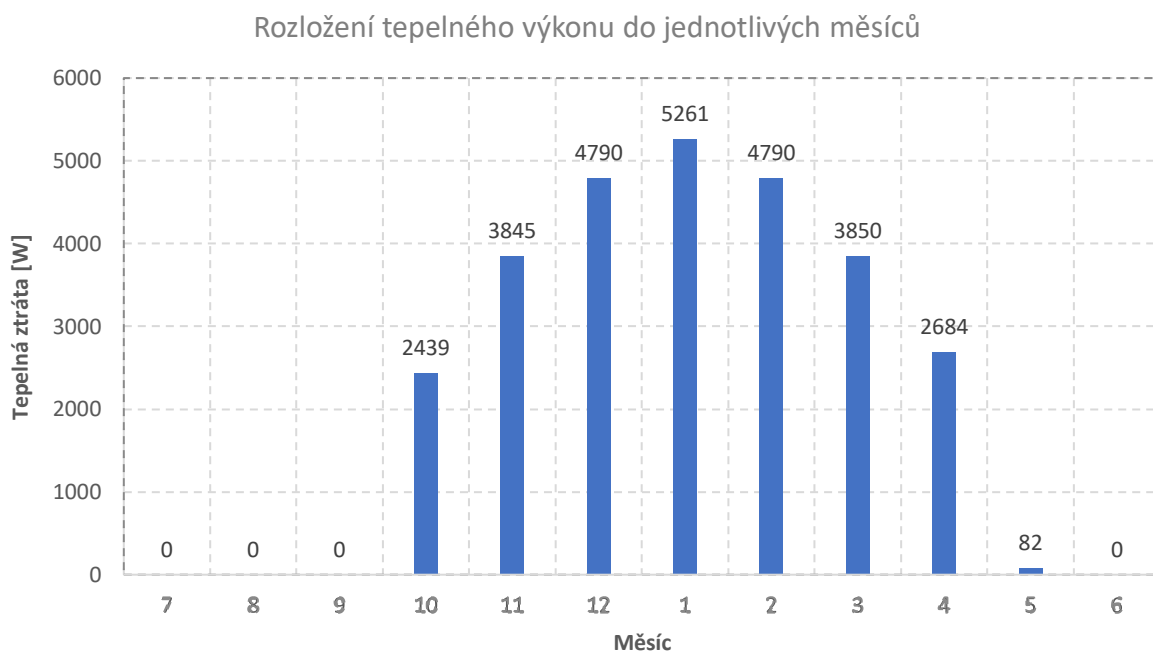
Tabulka 9 Průměrné hodnoty měrné tepelné ztráty a tepelné charakteristiky

7.5 Rozložení tepelného výkonu do jednotlivých měsíců

Dále jsem danou celkovou tepelnou ztrátu objektu (viz. Protech) přepočítal na jednotlivé měsíce, tj. použil jsem průměrnou teplotu venkovního pro jednotlivé měsíce a pro danou oblast výstavby.

Měsíc	Počet dnů	t [°C]	Q [W]
Červenec	0	20,0	0
Srpen	0	15,0	0
Září	0	14,5	0
Říjen	31	9,5	2 439
Listopad	30	4,1	3 845
Prosinec	31	0,1	4 790
Leden	31	-1,7	5 261
Únor	28	0,1	4 790
Březen	31	4,2	3 850
Duben	30	9,3	2 684
Květen	3	14,3	82
Červen	0	15,0	0

Tabulka 10 Tepelná ztráta rozložená do jednotlivých měsíců



Graf 7 tepelná ztráta rozložená do jednotlivých měsíců

7.6 Roční potřeba energií na vytápění a ohřev vody

V tabulce lze vidět celkovou potřebu tepla na ohřev TV, jejíž hodnota je 1,497 MWh/rok (5,38 GJ/rok). Celková potřeba tepla na vytápění (viz kapitola 6.) činí 16,697 MWh/rok (60,08 GJ/rok). Obě tyto hodnoty jsou dále v mé diplomové práci využívány.

	[MWh/rok]	[GJ/rok]
Celková roční potřeba energie na ÚT	15,200	54,700
Celková roční potřeba energie na TV	1,497	5,380
Celková roční potřeba energie na ÚT a TV	16,697	60,080

Tabulka 11 Celková roční potřeba energie na ÚT a TV

8 Ohřev vody a produkce elektřiny FV/T kolektory

8.1 Výpočet dle ČSN EN 15316-4-6 (produkce elektřiny)

Norma ČSN EN 15316-4-6, která stanovuje roční produkci elektrické energie fotovoltaickým systémem pouze na základě jeho špičkového výkonu bez ohledu na reálné provozní vlivy pro konkrétní použité FV panely a další prvky systémů. Jako hodnotu referenčního slunečního ozáření použiji jeho maximální hodnotu za podmínek jasného počasí. Výpočet produkce elektrické energie dodané FV systémem E_{pv} [kWh/rok] je uvedena dle vztahu (6).

$$E_{PV} = \frac{H_{mo/mú} \cdot P_{PK} \cdot f_{perf}}{G_{ref}} \quad (6)$$

kde P_{PK} – špičkový výkon FV systému [kW]

$H_{mo/mú}$ – měsíční úhrn slunečního svitu na sklonu FVE [kWh/m²rok]

G_{ref} – referenční sluneční ozáření, volíme 1000 W/m²

f_{perf} – druh integrace FV modulu do budovy [–]

Špičkový výkon FV systému P_{PK} [kW]

$$P_{PK} = K_{pk} \cdot A_{FV} \quad (7)$$

kde K_{pk} – součinitel špičkového výkonu [kW/m²]

A_{FV} – celková činná plocha všech FV panelů

8.1.1 Výpočet dle plochy PV panelu

Plocha FV/T kolektoru značky DualSun Spring je rovna 1,65 m². Jedná se o kolektor francouzského původu s vysokou účinností PV. Elektrický výkon dosahuje hodnoty přes 310 W.

$$P_{MPP} = A \cdot \eta \cdot G_{ref} [kWp] \quad (8)$$

kde η – účinnost FV panelu [%]

G_{ref} – referenční sluneční ozáření = 1000 W/m²

A – disponibilní plocha střechy

$$P_{MPP} = A \cdot \eta \cdot G_{ref} = 1,65 \cdot 0,1908 \cdot 1 = 0,31482 kWp = \mathbf{315 Wp}$$

8.1.2 Spotřeba elektrické energie

Z programu Protech byla získána tepelná energie potřebná pro vytápění objektu. Pomocí výpočtu na stránkách elektřina.cz bylo tentokrát získáno požadované množství elektrické energie. Vstupem pro výpočet je seznam spotřebičů a jejich elektrický příkon. V níže uvedeném obrázku je uvažováno standardní vybavení domácnosti a také dohřev teplé vody na 55°C. Na obrázcích níže je seznam spotřebičů v jednotlivých místnostech a jejich příkony.








8.1.2.1 Obývací pokoj

Elektronický budík	3	W
Externí disk	10	W
Minivěž	30	W
Nabíječka smartphone, tablet	1	W
Rádio	10	W
Router	12	W
LED televize	úhlopříčka nad 120 cm	53 W

8.1.2.2 Ostatní položky

Vysavač	1200	W
Žehlička	240	W



8.1.2.3 Kuchyně

 Elektrická trouba	<input type="text" value="830"/>	W
 Kávovar	<input type="text" value="1000"/>	W
 Kombinovaná lednička s mrazničkou	<input type="text" value="energetická tř. A"/>	<input type="text" value="22.92"/> W
 Kuchyňský robot	<input type="text" value="700"/>	W
 Mikrovlnná trouba	<input type="text" value="1000"/>	W
 Mixér	<input type="text" value="700"/>	W
 Myčka 45 cm	<input type="text" value="energetická tř. A"/>	<input type="text" value="700"/> W
 Sklokeramická varná deska	<input type="text" value="4 plotýnky"/>	<input type="text" value="2400"/> W
 Topinkovač	<input type="text" value="850"/>	W
 Toustovač	<input type="text" value="800"/>	W
 Varná konvice	<input type="text" value="2000"/>	W

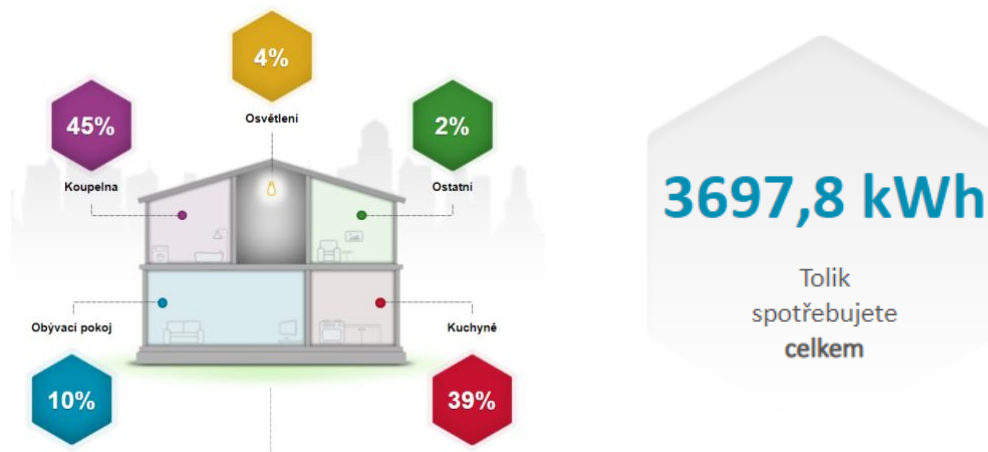
8.1.2.4 Koupelna

 Bojler	<input type="text" value="2000"/>	W
 Depilátor	<input type="text" value="15"/>	W
 Fén	<input type="text" value="2000"/>	W
 Holící strojek	<input type="text" value="5.4"/>	W
 Pračka - přední plnění	<input type="text" value="energetická tř. A"/>	<input type="text" value="800"/> W

8.1.2.5 Osvětlení

 Stolní lampa	<input type="text" value="11"/>	W
 Úsporné žárovky - 10 ks	<input type="text" value="120"/>	W

Na obrázku 15. níže je znázorněna celková spotřeba elektřiny, která je rovna 3 697,8 kWh. Jedná se o hodnotu, kterou je nutno pokrýt k základnímu chodu domácnosti. V domácnosti uvažujeme dvě žijící osoby. Celková cena za energie dále rozebrána v kapitole 13.3. Ceny elektřiny stanovují dle distribuční sazby, technologie vytápění či hodnoty hlavního domovního jističe.



Obrázek 15 Spotřeba elektřiny v domácnosti [19]

8.1.3 Bilance produkce elektřiny

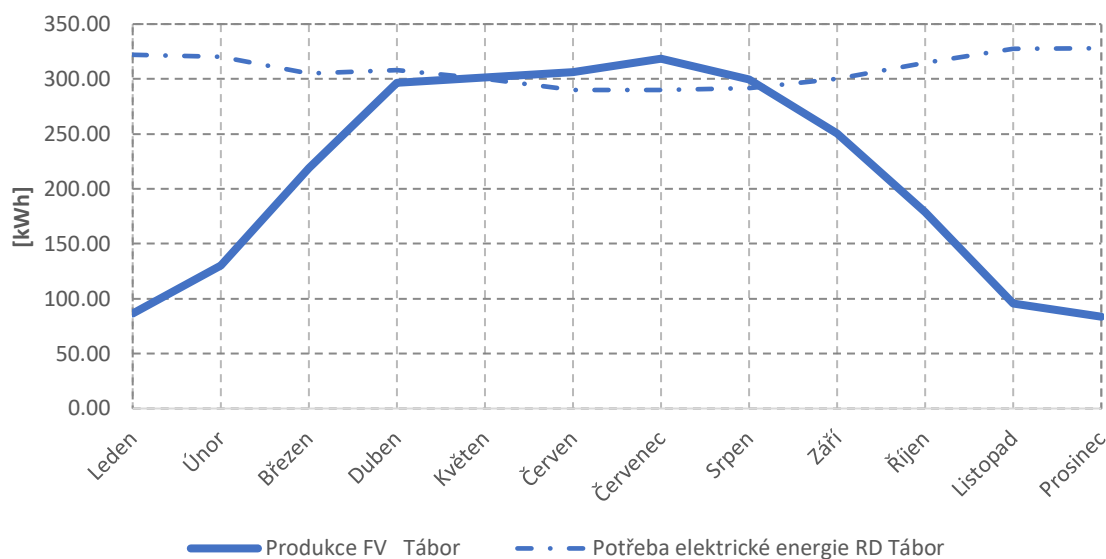
V tabulce, která je uvedena níže (Tabulka 12.) vidíme srovnání produkce elektřiny z FV/T kolektoru a potřeby elektrické energie pro dvě oblasti (Tábor a Ústí nad Labem). Spotřebu elektrické energie uvažujeme pro obě lokace stejnou (3 697,8 kWh/rok). Produkce elektřiny je o něco vyšší v Táboře, a to z důvodu vyšší hodnoty denního úhrnu slunečního svitu a intenzity slunečního záření.

	Produkce elektřiny [kWh]		Potřeba elektrické energie [kWh]	
	Ústí nad Labem	Tábor	Ústí nad Labem	Tábor
Leden	70,9	86,3	322,0	322,0
Únor	117,7	130,3	320,0	320,0
Březen	210,2	219	305,0	305,0
Duben	293,5	296,5	308,1	308,1
Květen	315,2	301,4	300,0	300,0
Červen	315,4	306,5	290,0	290,0
Červenec	318,2	318,5	290,0	290,0
Srpen	295,9	299,5	292,0	292,0
Září	247,8	250,4	300,0	300,0
Říjen	162,4	178,5	315,0	315,0
Listopad	76,0	95,4	327,7	327,7
Prosinec	66,3	83,6	328,0	328,0
Suma	2 489,5	2 565,9	3 697,8	3 697,8

Tabulka 12 Bilance produkce elektřiny

8.1.3.1 Tábor

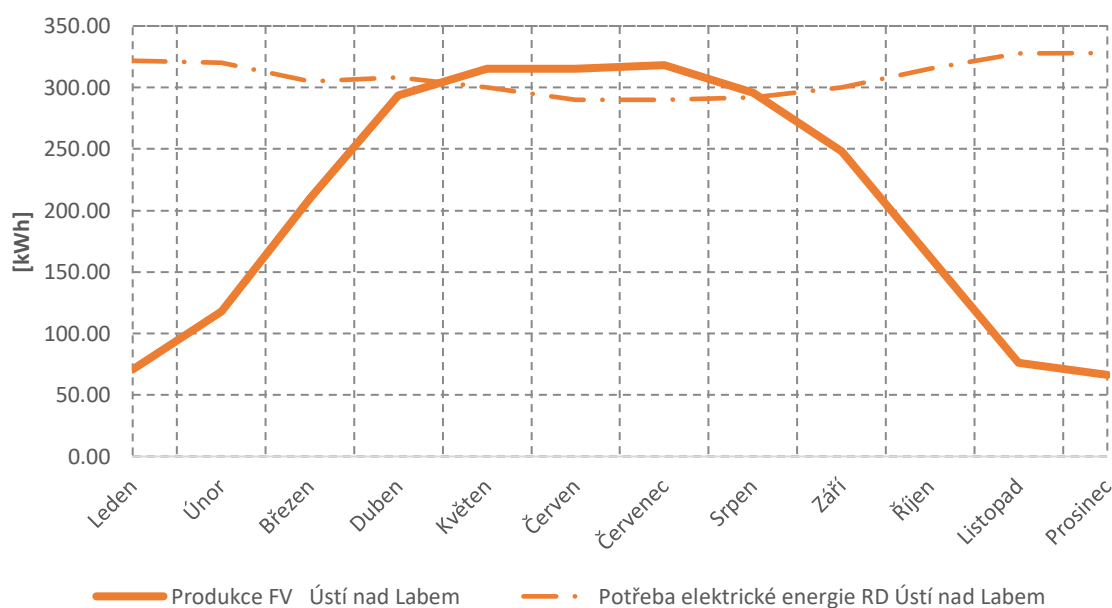
Oblast použití FV/T kolektorů je o něco příznivější pro Tábor z důvodu vyšší produkce elektrické energie, která nám pokrývá potřebu objektu od května do srpna.



Graf 8 Bilance produkce elektrické energie s potřebou el. (Tábor)

8.1.3.2 Ústí nad Labem

Oblast použití FV/T kolektorů příznivější v návaznosti délky pokrytí v měsících z hlediska celkové produkce elektrické energie pro Ústí nad Labem v porovnání s Tábořem. Produkce nám pokrývá potřebu objektu od května téměř do konce srpna. Avšak celková roční produkce je nižší než pro Tábor.



Graf 9 Bilance produkce elektrické energie s potřebou el. (Ústí n.Labem)

8.2 Výpočet dle TNI 73 0302 (produkce tepla)

Podstatou této metody je stanovení skutečně využitelných zisků solární soustavy v porovnání teoreticky možných využitelných tepelných zisků solárních kolektorů, celkové potřeby tepla pro přípravu TV a zásobníkový ohřev bez cirkulace. Metodika bilancování solárních soustav podle TNI 73 0302 je zjednodušeným postupem výpočtu, a proto má řadu nevýhod. Nedokáže zohlednit skutečné chování solární soustavy za všech podmínek návrhu a provozu, nicméně pro běžně dimenzované solární soustavy umožňuje přibližně stanovit energetické přínosy. Podrobně bilancovat solární soustavy lze pomocí řady simulačních programů (TRNSYS, T-sol, aj.) [5]

$$Q_K = 0,9 \cdot A_K \cdot \left[\eta_o - a_1 \cdot \frac{t_m - t_e}{G} - a_2 \cdot \frac{(t_m - t_e)^2}{G} \right] * H_T * (1 - \rho) * n \quad (9)$$

kde η_o, a_1, a_2 – konstanty křivky účinnosti solárního kolektoru

A_K – plocha solárních kolektorů v m^2

t_e – střední venkovní teplota v době slunečního svitu

t_m – střední denní teplota v době slunečního svitu

G – střední denní sluneční ozáření pro daný sklon a orientaci

ρ – hodnota srážky z tepelných zisků v solárním kolektoru vlivem tep. ztrát

H_T – skutečná denní dávka slunečního ozáření

Pro výpočet bilance využívám výpočet dle TNI 73 0302 při zvolených parametrech pro dvě oblasti. Tábor a Ústí nad Labem.

V objektu, jehož energetickou náročnost budovy lze považovat za nízkoenergetický standard. Vyhláškou doporučené tepelné vlastnosti konstrukcí uvažujeme 2 osoby, kde jejich denní spotřeba teplé vody bude 80 l/den. Teplota studené a teplé vody 10 °C/ 55 °C. Tepelná ztráta objektu je 7,398 kW a průměrnou vnitřní výpočtovou teplotu volíme 20°C.

8.2.1 Návrh FV/T kolektoru pro přípravu TV

8.2.1.1 Vyhodnocení návrhu FV/T kolektoru pro přípravu TV

V tabulce níže (Tabulka 13.) vidíme, že lokace objektu hraje malou ale důležitou roli. V Ústí nad Labem je možné díky vyšší hodnotě úhrnu slunečního svitu a větší intenzitě slunečního záření počítat s většími teoretickými i praktickými využitelnými zisky solárních kolektorů pro ohřev TV.

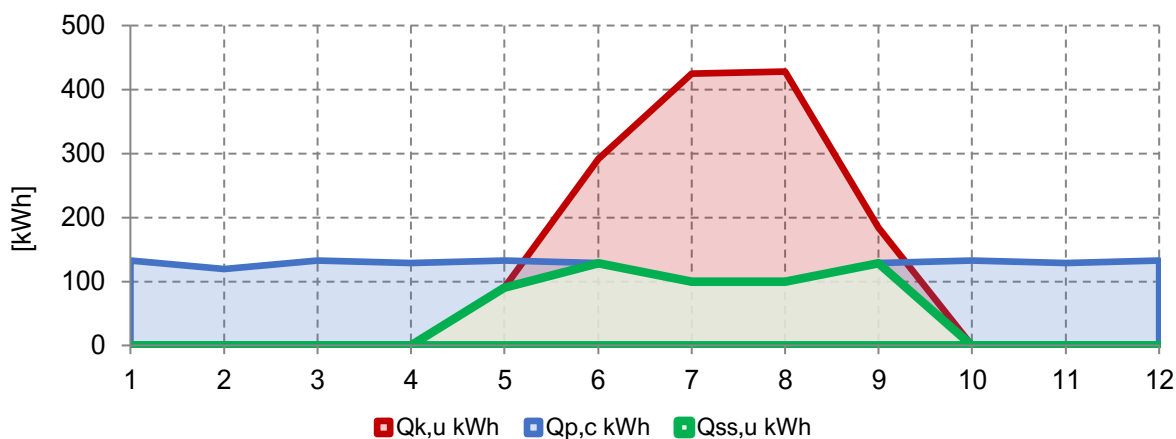
Vyhodnocení návrhu FV/T kolektoru pro přípravu TV	Tábor	Ústí nad Labem
DualSun Spring, sklon kolektoru 30° [ks]	8	
Denní spotřeba teplé vody [l/den]	80	
Potřeba tepla pro přípravu TV [kWh/rok]	1496	
Měrný využitelný zisk solární soustavy $q_{ss,u}$ [kWh/m ² rok]	43	44
Celkový využitelný zisk solární soustavy pro ohřev TV $Q_{ss,u}$ [kWh/rok]	559	571
Teoretický možný zisk solárních kolektorů pro ohřev TV $Q_{k,u}$ [kWh/rok]	1403	1568
Solární podíl (pokrytí potřeby tepla) f [%]	37	38

Tabulka 13 Vyhodnocení návrhu kolektoru pro přípravu TV (Tábor, Ústí nad Labem)

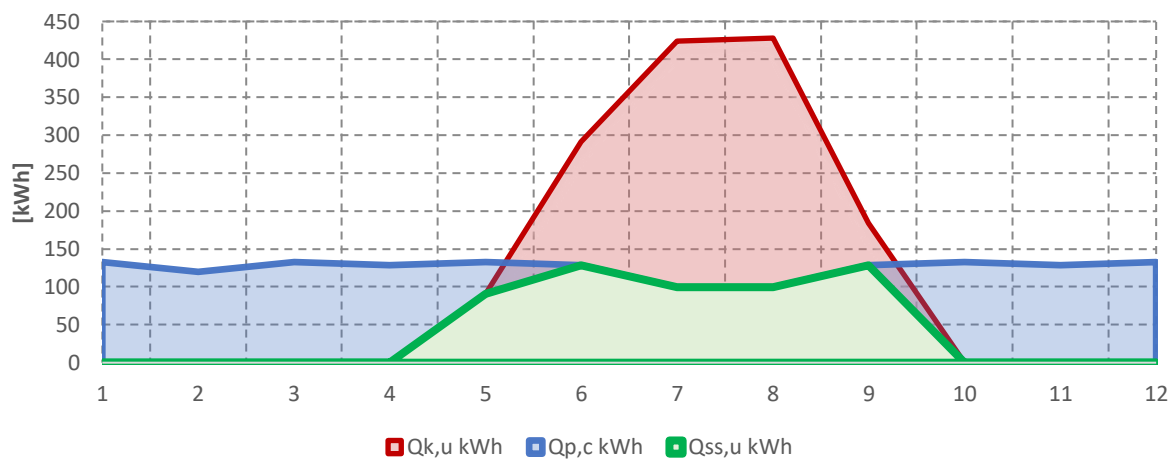
Nyní rozvedu roční bilanci 8 ks zvolených kolektorů umístěných na objektu orientovaných na jih pod sklonem 30°. Hodnoty viz. Tabulka 14. společně s vizualizací viz. graf 10. a 11. nám ukazují praktický využitelný zisk solární soustavy $Q_{ss,u}$, který lze získat z kolektorů a teoretický možný využitelný zisk $Q_{k,u}$ společně s měsíční potřebou teplé vody $Q_{p,c}$. Je vidět, že 8 ks zvolených kolektorů je schopno dodávat energii od dubna do října pro obě oblasti.

	Produkce tepelné energie FV/T kolektoru [kWh]		Potřeba energie pro ohřev TV [kWh]	
	Ústí nad Labem	Tábor	Ústí nad Labem	Tábor
Leden	0,0	0,0	133,0	133,0
Únor	0,0	0,0	120,0	120,0
Březen	0,0	0,0	133,0	133,0
Duben	0,0	0,0	128,0	128,0
Květen	115,0	91,0	133,0	133,0
Červen	357,0	291,0	128,0	128,0
Červenec	435,0	424,0	100,0	100,0
Srpen	424,0	428,0	100,0	100,0
Září	237,0	184,0	128,0	128,0
Říjen	0,0	0,0	133,0	133,0
Listopad	0,0	0,0	128,0	128,0
Prosinec	0,0	0,0	133,0	133,0
Suma [kWh]	1 568,0	1 418,0	1 497,0	1 497,0
Suma [MJ]	5 644,8	5 104,8	5 385,6	5 385,6

Tabulka 14 Bilance FV/T kolektoru pro přípravu TV



Graf 10 Bilance kolektoru pro přípravu TV (Tábor)



Graf 11 Bilance kolektoru pro přípravu TV (Ústí nad Labem)

8.3 Celková bilance FV/T kolektoru

V této kapitole shrnuji celkovou produkci elektrické energie a produkci tepelné energie pro ohřev teplé vody, tedy vody ohřáté na 35 °C. Pro získání horké vody budu dále uvažovat elektrický dohřev. Tabulka č. 15 zobrazuje celoroční porovnání výše zmíněných produkcí. V celkové bilanci FV/T kolektoru jsem cílil na to, abych pokryl potřebu teplé vody a elektrické energie převážně v letním období.

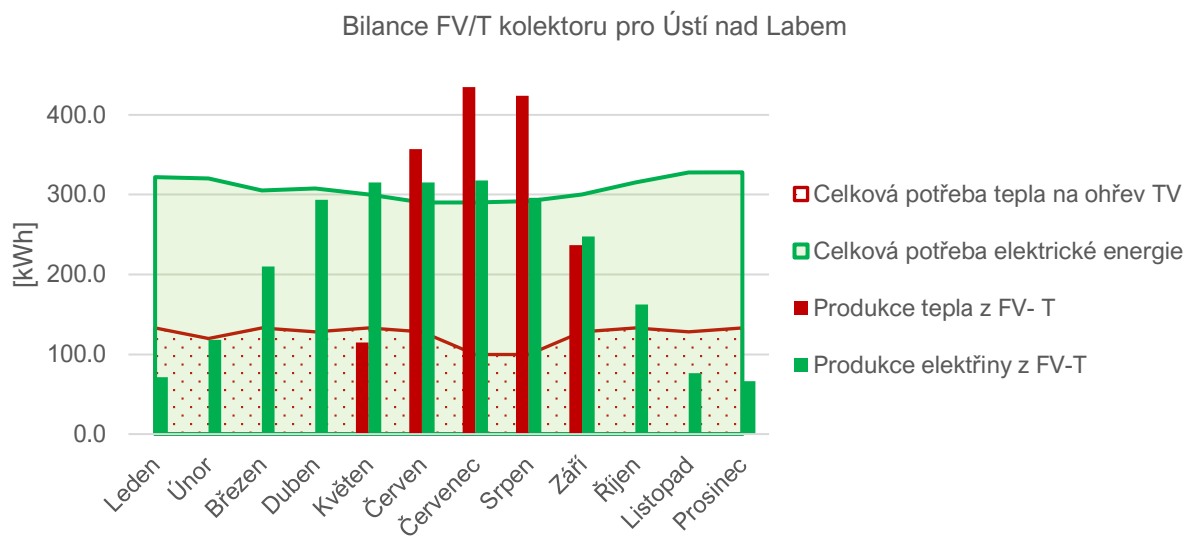
Výsledkem optimalizace je pokrytí jak potřeby tepelné energie v tomto období, tak i potřeby elektrické energie. Potřebu tepelné energie pro ohřev TV se podařilo pokrýt v měsících červen až září. Potřebu elektrické energie se podařilo tuto potřebu pokrýt v období květen až srpen. Data uvedená v tabulce č.15 jsou graficky znázorněna v grafech č.12 a č.13. Data zvýrazněná červenou barvou jsou data produkce tepla a spotřeby tepelné energie. Data zvýrazněná zelenou barvou jsou naopak data produkce elektrické energie a její spotřeby. Jednotlivé produkce však musí počítat s přebytky energií, které ve výsledném bilancování nejsou započteny. Tato část přebytečné energie lze v budoucnu akumulovat do vody či baterií.

Měsíc	Produkce elektrické energie z FV/T [kWh]		Potřeba elektrické energie[kWh]	Produkce tepelné energie z FV/T [kWh]		Potřeba tepelné energie na ohřev TV [kWh]
	Ústí nad Labem	Tábor		Ústí nad Labem	Tábor	
Leden	70,9	86,3	322,0	0,0	0,0	133,0
Únor	117,7	130,3	320,0	0,0	0,0	120,0
Březen	210,2	219,0	305,0	0,0	0,0	133,0
Duben	293,5	296,5	308,2	0,0	0,0	128,0
Květen	315,2	301,4	300,0	115,0	91,0	133,0
Červen	315,4	306,5	290,0	357,0	291,0	128,0
Červenec	318,2	318,5	290,0	435,0	424,0	100,0
Srpen	295,9	299,5	292,0	424,0	428,0	100,0
Září	247,8	250,4	300,0	237,0	184,0	128,0
Říjen	162,4	178,5	315,0	0,0	0,0	133,0
Listopad	76,0	95,4	327,7	0,0	0,0	128,0
Prosinec	66,3	83,6	328,0	0,0	0,0	133,0
Suma [kWh]	2 489,5	2 565,9	3 697,8	1 497,0	1 418,0	1 497,0
Suma [MJ]	8 962,2	9 237,2	13 312,0	5 389,2	5 104,8	5 389,2

Tabulka 15 Celková bilance FV/T kolektoru

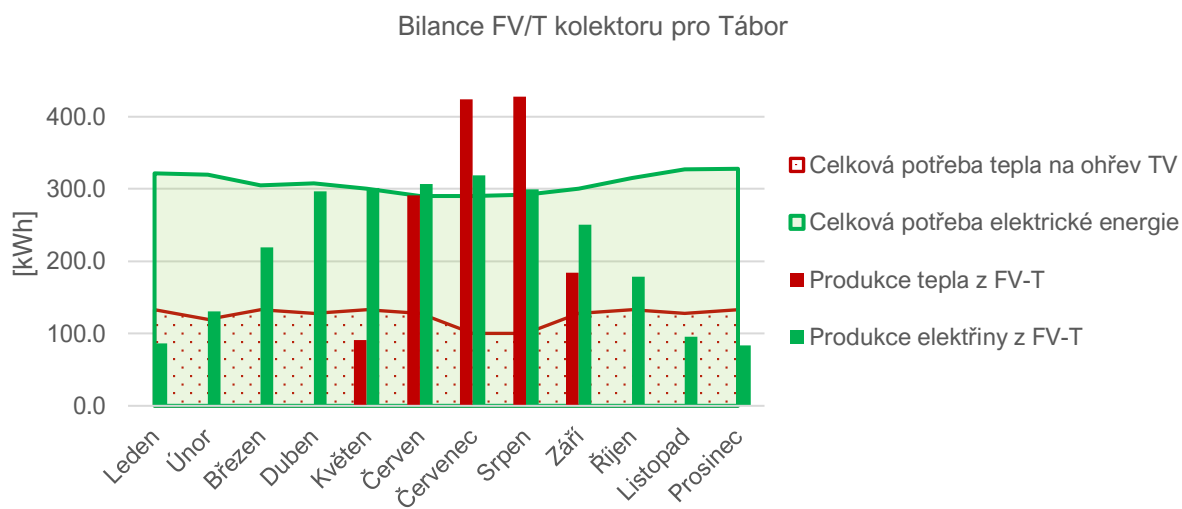
V tabulce č.15 lze vidět celkovou potřebu tepla na ohřev TV, jejíž hodnota je 5,389 MJ/rok (1,497 MWh/rok) a celkovou potřebu elektrické energie, jejíž hodnota je 13,312 GJ/rok (3 697,8 MWh/rok).

8.3.1 Bilance FV/T kolektoru pro Ústí nad Labem



Graf 12 Celková bilance FV/T kolektoru pro Ústí nad Labem

8.3.2 Bilance FV/T kolektoru pro Tábor

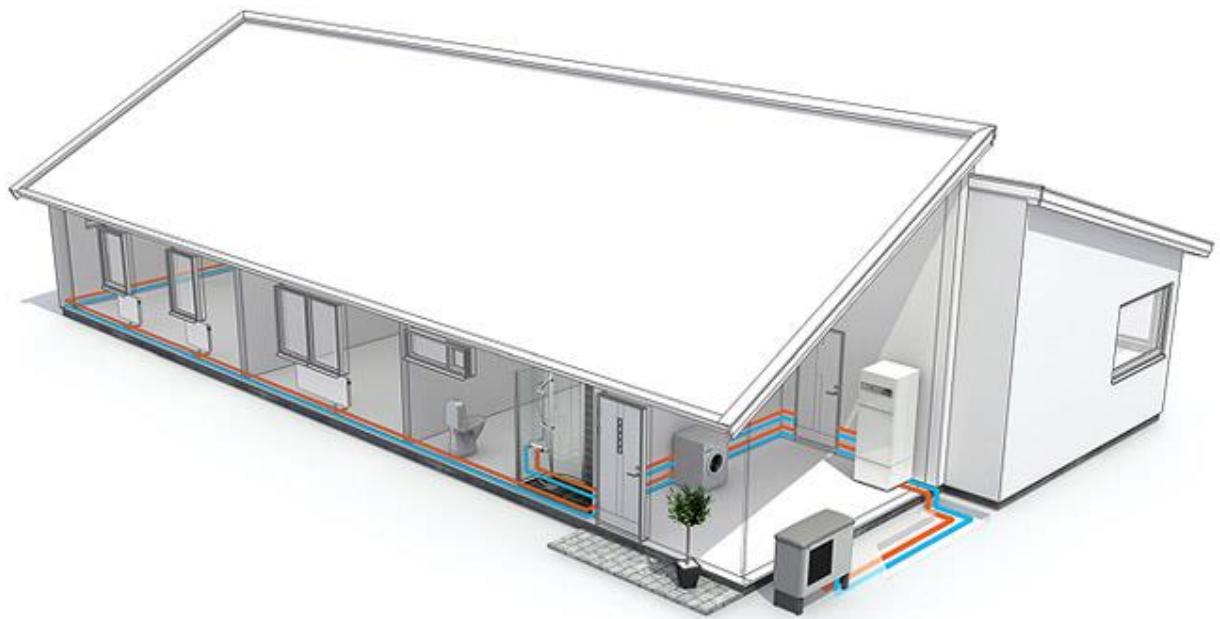


Graf 13 Celková bilance FV/T kolektoru pro Tábor

9 Vytápění objektu tepelným čerpadlem

9.1 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo považujeme za obnovitelný zdroj energie. Jeho funkce spočívá na tzv. Carnotově cyklu, tedy ideálním oběhu s nejvyšší účinností mezi dvěma teplotami. Princip fungování tepelného čerpadla je znám už 100 let. Země, voda i vzduch obsahují velké množství nízkopotencionálního tepla, které tepelné čerpadlo odebírá a převádí jej na vyšší teplotní hladinu, kterou lze již využít pro vytápění či ohřev vody. [7]

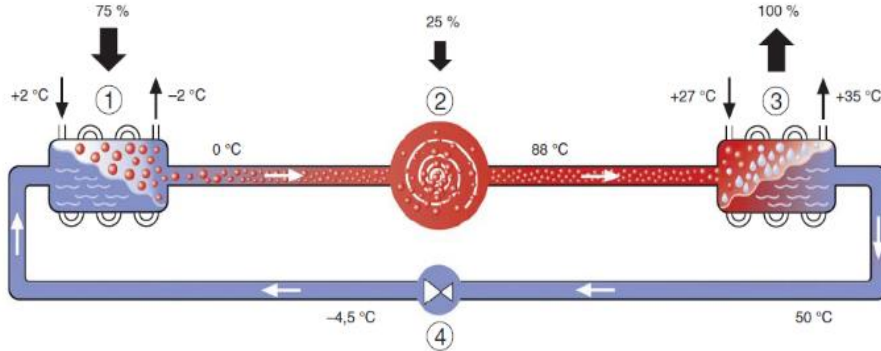


Obrázek 16 Tepelné čerpadlo vzduch-voda [7]

Tato tepelná čerpadla jsou určena pro umístění venku a je možné je připojit na existující topný systém s radiátory či do podlahového topení. Tak získáme kompletní vytápěcí systém s vynikajícím vlastnostmi. Tepelné čerpadlo vzduch/voda dokáže pokrýt většinu nároků na vytápění. Pro potřeby špiček při velmi nízkých teplotách je však potřeba doplňkový zdroj. Tímto zdrojem pro aplikaci na náš referenční objekt budou elektrické topné tyče umístěné v akumulaci nádrží spolu s FV/T kolektory.

9.1.1 Funkce tepelného čerpadla

K přenosu tepelné energie ze vzduchu do chladiva dochází ve výparníku. Chladivo, jehož nejdůležitější vlastností je nízký bod varu, cirkuluje v uzavřeném okruhu tepelného čerpadla. Ve výparníku (bod 1) přijme chladivo energii ze vzduchu a přejde do plynného stavu. Vzniklý plyn je veden do kompresoru (bod 2), kde je stlačen a tím se dále zvýší jeho teplota. Ohřáté chladivo se

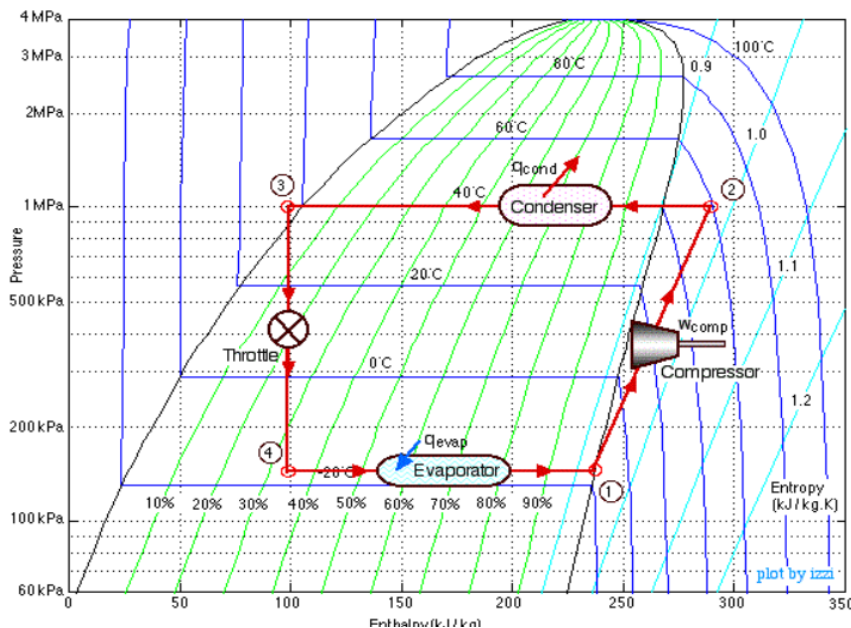


Obrázek 17 Princip funkce tepelného čerpadla [8]

dále vede do kondenzátoru (bod 3), kde předá energii topnému médiu. Tím se teplota chladiva sníží, a to přejde opět do kapalného stavu. Chladivo poté přechází přes filtry do expanzního ventilu (bod 4), kde se dále sníží jeho tlak a teplota. [7] Tím dokončilo chladivo při svém oběhu jeden kompletní cyklus a znovu se vede do výparníku, kde díky teplu přijatému ze zdroje energie (vzduchu) opět přejde do plynného stavu.

9.1.2 Termodynamické změny v ideálním oběhu tepelného čerpadla

Termodynamické změny média (chladiva) v oběhu tepelného čerpadla jsou níže znázorněny na obrázku č. 18. [8]



Obrázek 18 Termodynamické změny v oběhu tepelného čerpadla [8]

4-1 - vypařování pracovní látky při konstantním tlaku p_0 a teplotě T_0 .

1-2 izoentropická komprese pracovního média (plynu) z tlaku p_1 na p_2 .

2-3 kondenzace nasycených par při konstantním tlaku p_k a teplotě T_k .

3-4 izoentalpická expanze pracovní látky.

9.2 Dimenzování výkonu tepelného čerpadla

Dle cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.6/2019 ze dne 26. listopadu 2019, kterým se stanovují ceny za související službu v elektroenergetice víme také, že tepelné čerpadlo jako zdroj takový náleží k sazbě D57d. „Tato sazba může být přiznána od 1. dubna 2016. Přiznáním sazby se rozumí uzavření první smlouvy o zajištění služby distribuční soustavy nebo smlouvy o sdružených službách dodávky elektřiny s touto sazbou“ [11]. Instalovaný příkon systému vytápění s tepelným čerpadlem musí činit alespoň 40 % příkonu odpovídajícího hodnotě hlavního jističe před elektroměrem v odběrném místě. Sazba lze přiznat v tom případě, jeli splněna výše zmíněná podmínka, nebo jeho tepelný výkon pokrývá tepelnou ztrátu objektu, anebo odpovídá až 80 % pokrytí dílčí potřeby tepla na vytápění uvedené v průkazu energetické náročnosti budovy. [11] Tepelná ztráta objektu činí 7,389 kW, volíme tedy tepelné čerpadlo STIEBEL ELTRON HPA-O 6 CS PLUS (Obrázek č. 19).



Obrázek 19 STIEBEL ELTRON HPA-O 6 CS PLUS [13]

Potřebný výkon tepelného čerpadla lze ale také naddimenzovat pro čtyřhodinové. blokování provozu tepelného čerpadla systémem HDO. V České republice je většinou nízká sazba elektrické energie v délce trvání celkem 20 hodin denně (NT) a 4 hodiny denně trvá vysoká sazba (VT).

Níže vidíme parametry tepelného čerpadla, ze kterých jsem dále čerpal a využíval k energetické bilanci tepelného čerpadla. Zvolené tepelné čerpadlo je šedě vyznačeno na obrázku č. 20. Jedná o tepelné čerpadlo vzduch-voda. Tepelné čerpadlo se vyznačuje i nízkou hlučností, a najde využití i v husté zástavbě. Systém je vhodný pro podlahové vytápění, budou nás tedy zajímat hodnoty u kterých je uvedeno „W35“.

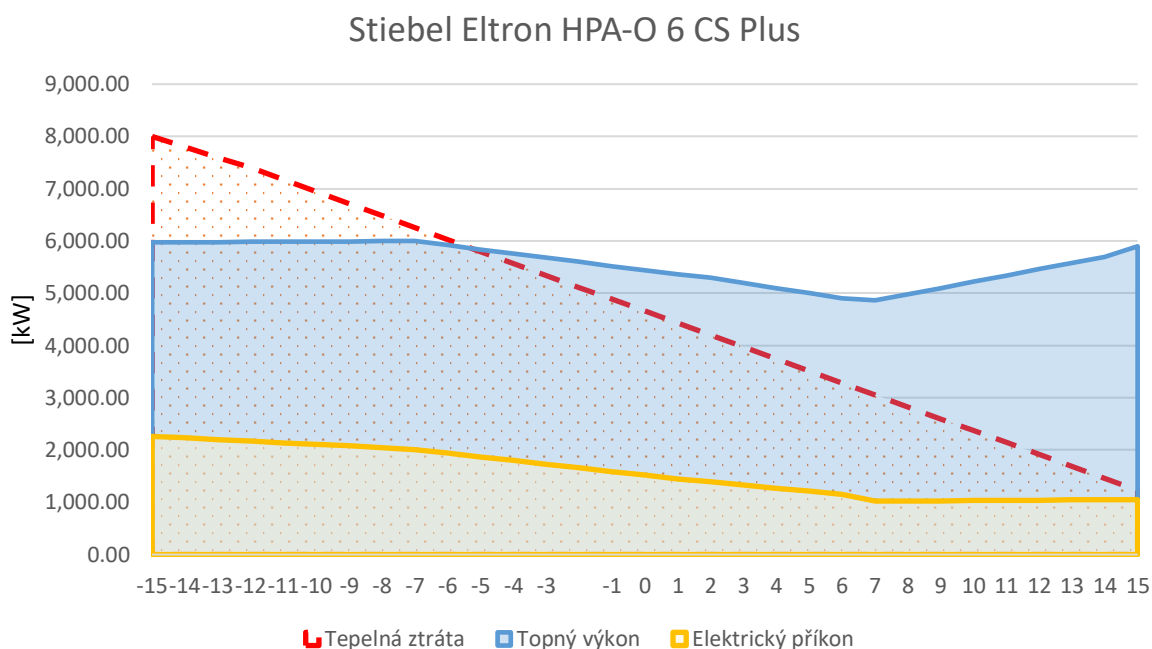


Typ	HPA-O 4 CS Plus	HPA-O 6 CS Plus	HPA-O 8 CS Plus
Číslo obj.	238985	238986	238987
Technická data			
Třída energetické účinnosti tepelného čerpadla W35	A++	A+++	A+++
Třída energetické účinnosti tepelného čerpadla W55	A+	A++	A++
Třída energetické účinnosti soupravy (tepelné čerpadlo + regulátor) W35	A++	A+++	A+++
Třída energetické účinnosti soupravy (tepelné čerpadlo + regulátor) W55	A+	A++	A++
SCOP (EN 14825)	4,15	4,5	4,5
Topný výkon při A2/W35 (EN 14511)	2,58 kW	5,3 kW	5,3 kW
Topný faktor při A2/W35 (EN 14511)	3,64	3,8	3,8
Topný výkon pro A-7/W35 (EN 14511)	3,96 kW	6 kW	7,8 kW
Topný faktor při A-7/W35 (EN 14511)	2,73	2,98	2,91
Chladicí výkon pro A35/W7 max.	3 kW	5 kW	6 kW
Chladicí faktor pro A35/W7 max.	1,62	1,73	1,73
Chladicí výkon pro A35/W7 částečné zatížení	1,5 kW	2,5 kW	3 kW
Chladicí faktor pro A35/W7 částečné zatížení	2,38	2,4	2,4
Hladina akustického tlaku (EN 12102)	52 dB(A)	57 dB(A)	57 dB(A)
Hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 5 m ve volném prostoru	30 dB(A)	35 dB(A)	35 dB(A)
Jmenovité napětí kompresoru	230 V	230 V	230 V
Mez použitelnosti na straně topení max.	60 °C	60 °C	60 °C
Výška	740 mm	812 mm	812 mm
Šířka	1022 mm	1152 mm	1152 mm
Hloubka	524 mm	524 mm	524 mm

Obrázek 20 Katalog Stiebel Eltron HPA-O 6 PLUS

9.2.1 Určení bodu bivalence

Pro vytápění vybraného objektu volíme tepelné čerpadlo Stiebel Eltron HPA-O 6 CS PLUS. V Tabulce č. 16 lze zpozorovat, že tepelné čerpadlo a jeho topný faktor (COP) se mění s aktuální venkovní teplotou. Proto se k tepelnému čerpadlu doplňuje druhý špičkový zdroj (bivalentní), který provozovaný pouze ve špičkách, které nastávají během zimního provozu, kdy tepelné čerpadlo již nedosahuje potřebného výkonu.[10] Bod bivalence lze vidět v grafu č. 14., vytvořil závislost tepelného výkonu čerpadla Stiebel Eltron HPA-O 6 CS PLUS o výkon 6 kW v závislosti na tepelné ztrátě objektu. Z grafu č. 14 jsem odečetl přesnou hodnotu bodu bivalence TČ Stiebel Eltron HPA-O 6 CS PLUS při $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (5 912,5 W), tepelný výkon čerpadla pokrývá tedy necelých 80 % při použití ohřevu vody do podlahového vytápění.



Graf 14 Závislost tepelné ztráty a výkonu tepelného čerpadla na venkovní teplotě Stiebel Eltron HPA-O 6 CS Plus

9.2.2 Způsob provozu tepelného čerpadla

U volby provozu tepelného čerpadla se objevují dva pojmy. Na jedné straně monovalentní provoz, kdy jediným prvkem vytápění je tepelné čerpadlo, pracující bez doplňujících zdrojů a je dimenzováno na pokrytí 100 % tepelných ztrát, v našem případě hodnoty 7,389 kW (7 389 W).[10] Na straně druhé u bivalentního provozu tepelného čerpadla, který je zvolen pro vytápění našeho objektu, předpokládáme (dle grafu č 14.), že bod bivalence odpovídá venkovní teplotě, do které je tepelné čerpadlo schopné pokrýt potřebu tepla na vytápění bez nutnosti použití druhého zdroje tepla.

Pro dimenzování tepelného čerpadla je stanovení bivalentního bodu rozhodující. Venkovní teploty v České republice jsou závislé na místních klimatických podmínkách. Protože se však v průměru pohybuje venkovní teplota pod -5 °C jen asi 20 dnů v roce, je pouze po těchto několik málo dnů v roce zapotřebí paralelní či alternativní systém vytápění, např. elektrický dohřev k podpoře tepelného čerpadla. Tepelný výkon čerpadla Stiebel Eltron HPA-O 6 CS Plus pokrývá tedy 79,92 % (A-5/W35) potřeb k vytápění.

Technické údaje STIEBEL ELTRON HPA-O 6 CS PLUS (podlahové vytápění)					
t _{out} [°C]	t _{in} [°C]	Tepelná ztráta [W]	Topný výkon [W]	Příkon [W]	COP [-]
-15	35	8 000,00	5 980,00	2 260,00	2,65
-14	35	7 800,00	5 973,00	2 230,00	2,68
-13	35	7 600,00	5 977,00	2 200,00	2,72
-12	35	7 398,00	5 981,00	2 170,00	2,76
-11	35	7 169,00	5 985,00	2 140,00	2,80
-10	35	6 941,00	5 989,00	2 110,00	2,84
-9	35	6 712,00	5 993,00	2 080,00	2,88
-8	35	6 484,00	5 997,00	2 050,00	2,93
-7	35	6 255,00	6 000,00	2 010,00	2,99
-6	35	6 027,00	5 920,00	1 940,00	3,05
-5	35	5 798,00	5 840,00	1 870,00	3,12
-4	35	5 570,00	5 760,00	1 800,00	3,20
-3	35	5 341,00	5 680,00	1 730,00	3,28
-2	35	5 113,00	5 600,00	1 660,00	3,37
-1	35	4 884,00	5 520,00	1 590,00	3,47
0	35	4 656,00	5 440,00	1 520,00	3,58
1	35	4 427,00	5 360,00	1 450,00	3,70
2	35	4 199,00	5 300,00	1 390,00	3,81
3	35	3 970,00	5 200,00	1 330,00	3,91
4	35	3 742,00	5 100,00	1 270,00	4,02
5	35	3 513,00	5 000,00	1 210,00	4,13
6	35	3 285,00	4 900,00	1 150,00	4,26
7	35	3 056,00	4 860,00	1 020,00	4,76
8	35	2 828,00	4 980,00	1 024,00	4,86
9	35	2 599,00	5 100,00	1 028,00	4,96
10	35	2 371,00	5 220,00	1 032,00	5,06
11	35	2 142,00	5 340,00	1 036,00	5,15
12	35	1 914,00	5 460,00	1 040,00	5,25
13	35	1 686,00	5 580,00	1 044,00	5,34
14	35	1 458,00	5 700,00	1 048,00	5,44
15	35	1 230,00	5 900,00	1 050,00	5,62

Tabulka 16 Technické údaje tepelného čerpadla SE HPA-O 6 CS Plus

9.3 Energetická bilance tepelného čerpadla v přechodném období

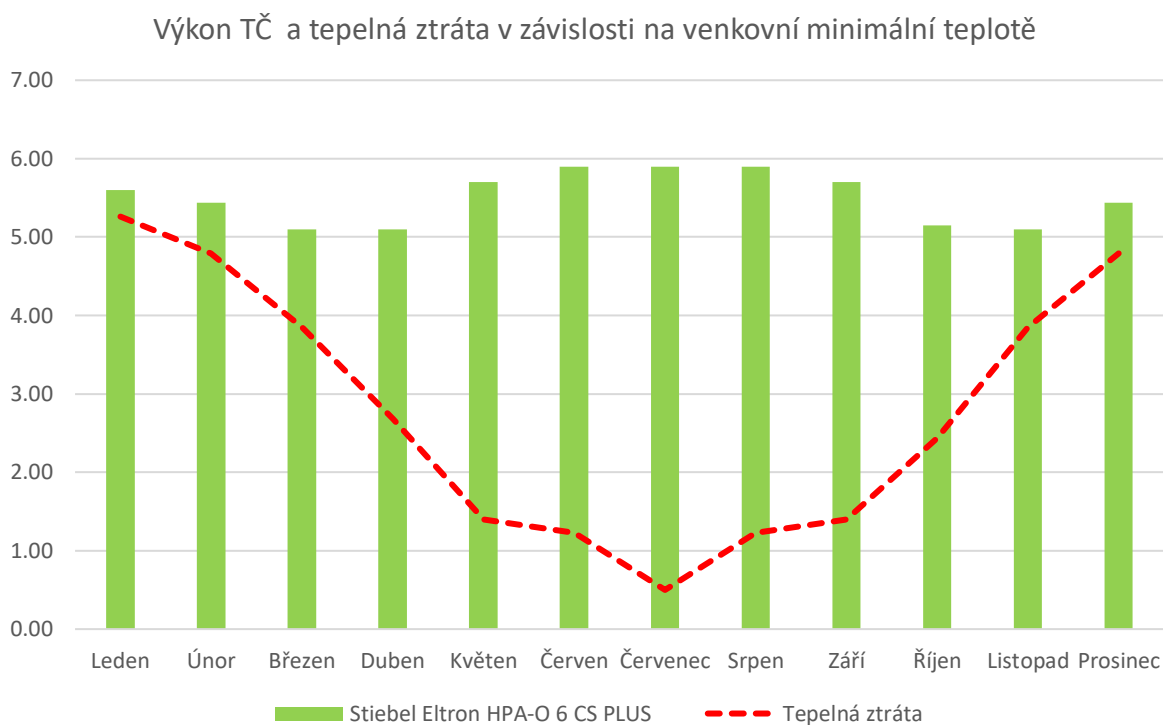
V této kapitole je znázorněna energetická bilance tepelného čerpadla a jeho tepelného výkonu na průměrné venkovní teplotě v jednotlivých měsících. Dále zde detailně zkoumám pokrytí příkonu tepelného čerpadla elektřinou vyprodukovanou z FV/T kolektorů, a zdali je možné chod tepelného čerpadla v přechodném období zásobovat elektřinou právě z fotovoltaické části a po jak dlouhou dobu v rámci typového dne.

9.3.1 Energetická bilance při měsíční průměrné venkovní teplotě

V níže uvedené tabulce č.17 a grafu č.15 lze pozorovat průběh tepelného výkonu a tepelné ztráty na venkovní průměrné teplotě v jednotlivých měsících pro obě lokace dimenzování (Tábor, Ústí nad Labem). Je zřejmé, že tepelný výkon nám pokrývá celoroční průběh tepelné ztráty. Avšak v průběhu dne mohou nastat výkyvy teplot a tepelné čerpadlo bude potřebovat druhý (bivalentní) zdroj.

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Průměrná venkovní teplota	-1,7	0,1	4,2	9,3	14,3	15	20	15	14,5	9,5	4,1	0,1
SE HPA-O 6 CS Plus	5,6	5,4	5,1	5,1	5,7	5,9	5,9	5,9	5,7	5,1	5,1	5,4
Tepelná ztráta	5,3	4,8	3,8	2,6	1,4	1,2	0,5	1,2	1,4	2,4	3,8	4,7

Tabulka 17 Závislost výkonu tepelného čerpadla a tepelné ztráty na venkovní teplotě

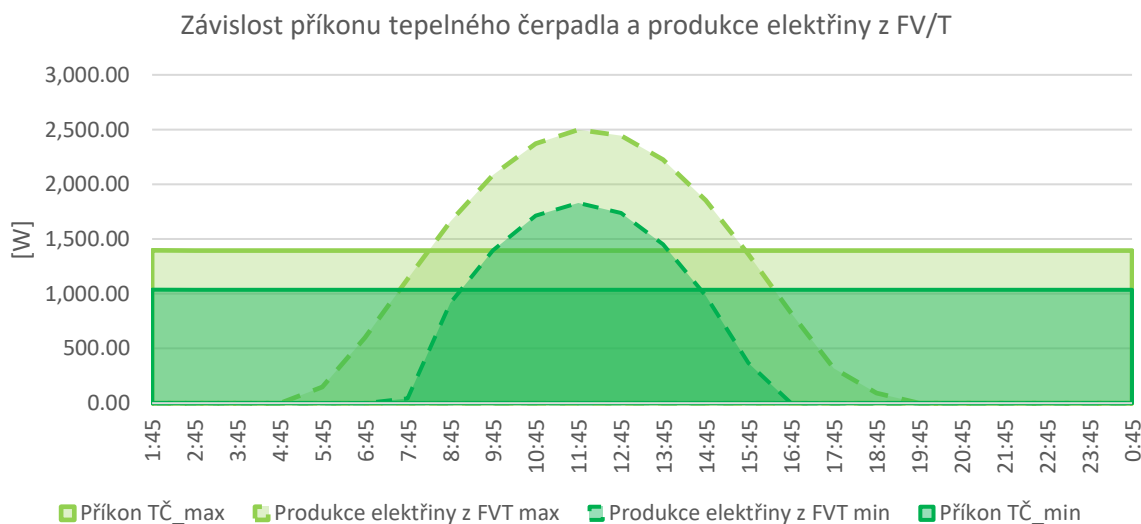


Graf 15 Závislost výkonu tepelného čerpadla a tepelné ztráty na venkovní teplotě

9.3.2 Pokrytí příkonu tepelného čerpadla v přechodném období

Jako další bod jsem porovnal příkon tepelného čerpadla v čase pro přechodné období. Zajímalo mě využití vyprodukované elektrické energie z FV/T kolektorů a zda-li pokryjí příkon tepelného čerpadla. Dimenzování proběhlo pro maximální hodnoty a minimální hodnoty příkonu dle (venkovní teploty). Průměrný potřebný příkon dle venkovní teploty jsem vynesl do grafu č.16. Celkový průběh je mapován v přechodném období (září, říjen listopad) a (březen, duben, květen).

Jak je vidět v grafu č.16, tak světle zelená křivka značí maximální potřebný příkon v přechodném období - konec podzimu (měsíc listopad). Tmavě zelená křivka značí minimální potřebný příkon v přechodném období - začátek jara (měsíc květen). Lze tedy z grafu přehledně určit, že příkon tepelného čerpadla je možné pokrýt v časech od 7:45 do 16:45 pro přechodné jarní období. Naopak v časech od 8:45 do 14:45 se pokryje pokrýt příkon tepelného čerpadla v přechodném podzimním období.



Graf 16 Závislost příkonu tepelného čerpadla na produkci elektřiny z FV/T

9.3.3 Dimenzování bivalentního zdroje

Pro vykrytí potřeby tepla v nízkých teplotách budu uvažovat bivalentní zdroj dle výpočtu níže. Vypočtený výkon bivalentního zdroje by měl dosahovat hodnoty minimálně 2,098 kW.

$$Q_{BZ} (STIEBEL ELTRON HPA-O 6 CS PLUS) = Tz - Q_{T\check{c}} = 7,398 - 5,3 = 2,098 \text{ kW} \quad (10)$$

9.4 Systém topného okruhu

9.4.1 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo Stiebel Eltron HPA-O 6 CS Plus bude mít v našem objektu funkci vytápění a ohřevu vody v topném okruhu podlahového topení. FV/T kolektory budou mít funkci předeřevu vody v akumulční nádrži. FV/T kolektory zároveň zajišťují produkci elektrické energie, kterou dále v objektu spotřebováváme. Akumulace tepla pro TČ je zásadní hned z několik důvodů. Mezi ně patří překlenutí doby blokace chodu (20 + 4 hod/den). Doporučené hodnoty akumulčního zásobníku jsou 100 litrů, a to typu STE SBP 100.

	Akumulční zásobník nezbytně nutný	Doporučený objem akumulčního zásobníku podlahového topení	Doporučený objem akumulčního zásobníku topných těles	Aktivace integrovaného nouzového/přídavného topení
HPA-O 3 CS Plus	ne	100	100	ano
HPA-O 4 CS Plus	ne	100	100	ano
HPA-O 6 CS Plus	ne	100	100	ano
HPA-O 8 CS Plus	ne	100	100	ano

Obrázek 21 Doporučené hodnoty akumulčního zásobníku vytápění [13]

S ohledem na vybraný objekt jsem zvolil akumulční zásobník teplé vody o objemu větším, než je 100 l, a to z důvodu kombinace s FV/T kolektory. Doporučená akumulční nádrž pro daný objekt bude o objemu 290 litrů typu SBB 302 WP. Výška akumulční nádrže 1 710 mm splňuje podmínku, aby se vešla do technické místnosti, jejíž světlá výška je 2 000 mm. Tyto rozměry jsou dostačující pro umístění akumulčního zásobníku v technické místnosti.



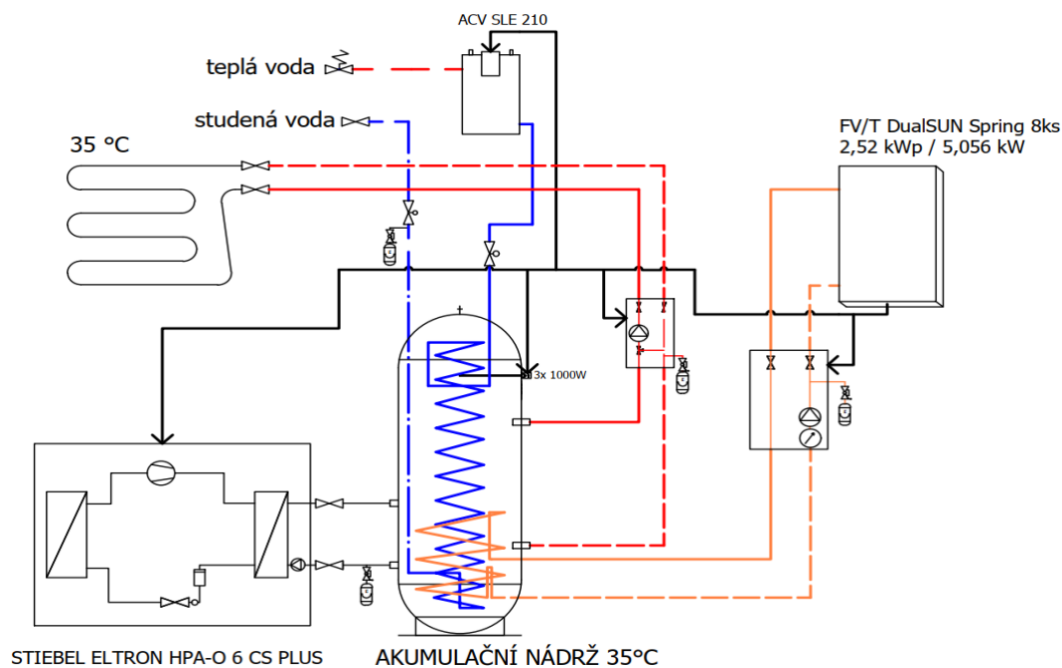
Obrázek 22 SBB 302 WP [13]

10 Schéma zapojení

Tato kapitola se věnuje detailnímu zapojení tepelného čerpadla se solárními fotovoltaickými kolektory. Varianta 1. pracuje s tepelným čerpadlem a FV/T kolektory. Varianta 2. uvažuje jako zdroj tepelné energie elektrokotel. Tuto variantu budu brát v dalších kapitolách jako čistě porovnávací s variantou první.

10.1 Varianta 1 - Vlastní optimalizovaný návrh

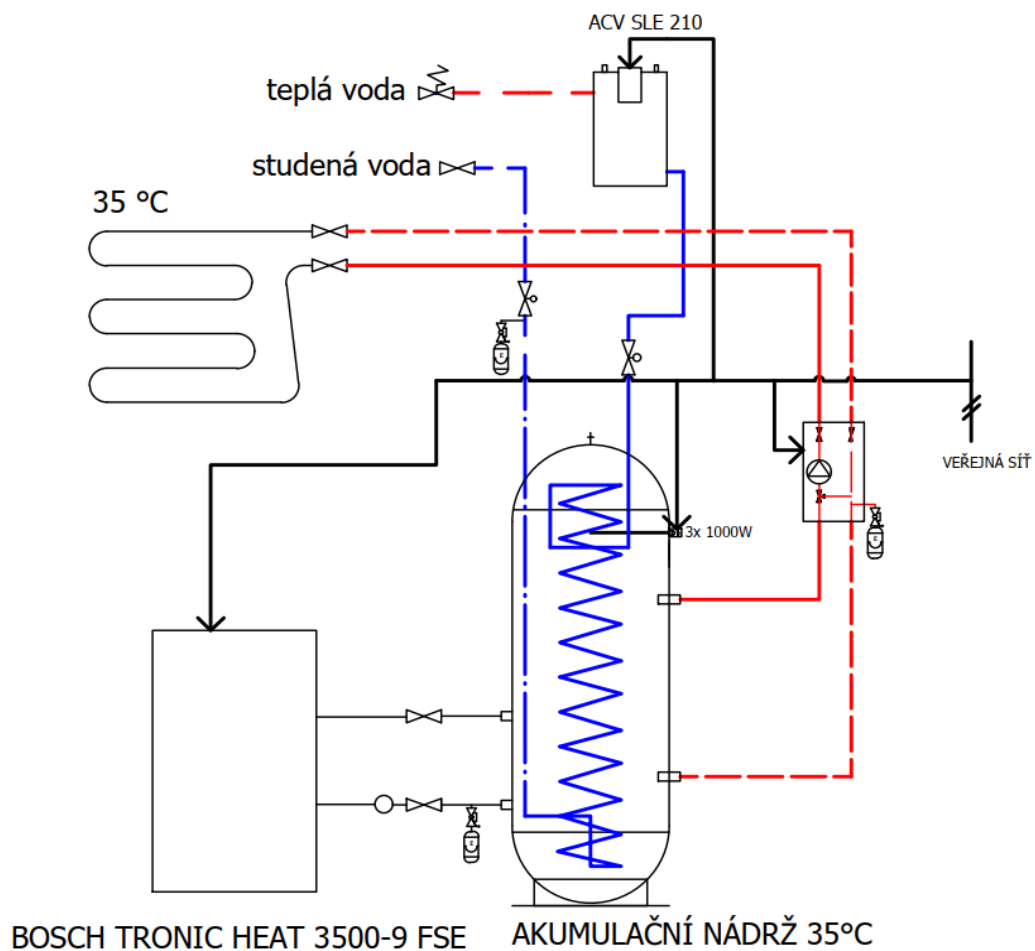
Zdrojem tepla ve vlastním optimalizovaném návrhu je též tepelné čerpadlo STE HPA-O 6 CS PLUS. Ohřívá vodu ve svém výměníku na teplotu 35 °C. Akumulační zásobník zajišťuje dodávku vody o požadované teplotě pro topný okruh podlahového vytápění. Dalším komponentem optimalizovaného zapojení je zásobníkový ohřivač ACV SLE 210, který zajišťuje dodávku a ohřev teplé vody například pro sprchování. Zásobníkový ohřivač je napojen na výstup z akumulčního zásobníku. Fotovoltaické solární kolektory vyrábějí také elektrickou energii, která se dále využívá k napájení základních technologických prvků našeho zapojení. Produkce elektrické energie je však závislá na několika parametrech jako jsou hodnota slunečního svitu či intenzita slunečního záření. Rychle se měnící vyráběná elektrická energie je též spotřebována v elektrických topných tyčích, které dohřívají horní část akumulční nádrže. Výkon topných tyčí je řízen softwarem v závislosti na produkci FV panelů.



Obrázek 23 Schéma zapojení – Varianta 1 – Vlastní optimalizovaný návrh

10.2 Varianta 2 - Elektrokotel

Tepelným zdrojem v druhé variantě (porovnávací) je elektrokotel značky Bosch Tronic Heat 3500-9 včetně zásobníkového ohřívače ACV SLE 210, který zajišťuje dodávku a ohřev teplé vody například pro sprchování. Zásobníkový ohřívač je napojen na výstup z akumulčního zásobníku, jako ve variantě 1.



Obrázek 24 Schéma zapojení - Varianta 2 – Elektrokotel

11 Návrh ústředního vytápění

V této kapitole dimenzuji výhon a druh zvoleného vytápění do každé místnosti zvlášť. Vycházím z vypočtené tepelné ztráty místnosti, dle které dimenzuji potřebný výkon podlahového topení, či nízkoteplotních radiátorů.

Vlivem v budoucnu zastavěných ploch nábytkem uvažuji koeficient f [-]. Pro elektrické podlahové a nízkoteplotní podlahové vytápění volím koeficient zastavění nábytkem $f = 0,8$ a pro návrh nízkoteplotních radiátorů a jejich tepelného výkonu využívám online výpočtový program firmy Korado a.s.

11.1 Tabulka přepočtu výkonů

Z tabulky 18. je zřejmé, že pokrytí tepelných ztrát jednotlivých místností nám zajistí teplovodní vytápění společně s podlahovým elektrickým vytápěním. Pouze v místnostech, kde se využívají nízkoteplotní radiátory tato podmínka splněna není z důvodu nedostatečného výkonu radiátorů. Zde budu uvažovat kombinaci teplovodních radiátorů a elektrického vytápění.

podl.	č.m	t_i	t_i	Q_{cm}	A	V	Vytápění místnosti	$f_{koeficient}$	$P_{vytápění}$	Podmínka
		[°C]	[K]	[W]	[m ²]	[m ³]	[-]	[-]	[W]	[-]
1 NP										
1	101	20	293,15	159	4	11,9	Teplovodní p.	0,8	320,0	splněna
1	102	24	297,15	101	2,2	6,5	Teplovodní p.	0,8	176,0	splněna
1	103	20	293,15	265	7,6	22,7	Teplovodní p.	0,8	608,0	splněna
1	104	20	293,15	1293	32,3	97,0	Teplovodní p.	0,8	2 584,0	splněna
1	105	20	293,15	28	2,9	8,7	Teplovodní p.	0,8	232,0	splněna
1	106	20	293,15	127	4,3	13,0	Teplovodní p.	0,8	344,0	splněna
1	108	20	293,15	304	4,6	13,5	Teplovodní p.	0,8	368,0	splněna
1	109	20	293,15	407	10,5	31,5	Teplovodní r.	-	382,0	nesplněna
1	110	20	293,15	640	19,9	59,7	Teplovodní r.	-	382,0	nesplněna
2 NP										
2	201	20	293,15	385	8,1	24,3	Podlahové el.	0,8	648	splněna
2	202	24	297,15	188	3,4	10,1	Podlahové el.	0,8	272	splněna
2	203	20	293,15	131	3,4	10,1	Podlahové el.	0,8	272	splněna
2	204	20	293,15	468	11,3	33,9	Podlahové el.	0,8	1820	splněna
2	205	20	293,15	422	13,6	40,9	Podlahové el.	0,8	1088	splněna
2	206	20	293,15	512	13,6	40,9	Podlahové el.	0,8	1088	splněna
2	207	20	293,15	137	2,9	7,4	Podlahové el.	0,8	232	splněna

Tabulka 18 Přepočet výkonů

11.2 Podlahové vytápění

11.2.1 Teplovodní podlahové vytápění

Jako výrobce podlahového vytápění volím REHAU RAUFIX s využitím potrubí RAUTHERM S 17. Instalace potrubí proběhne na izolační polystyren a odrazovou rastrovanou fólii. Podlahové topení se využívá z důvodu efektivního způsobu vytápění vybraného objektu (rodinného domu). Topná konstrukce je zabudována do podlahy, což nám zajišťuje téměř ideální rozložení teplot v místnosti. Jedná se o soustavu potrubí, kterými protéká ohřátá voda o teplotě 35 °C pomocí nízkoenergetického oběhového čerpadla. Voda jako teplovodní médium je připravována v hlavním zdroji tepla, u našeho objektu se jedná o tepelné čerpadlo Stiebel Eltron HPA-O 6 Plus v kombinaci s FV/T kolektory. Akumulační betonová vrstva disponuje tloušťkou 50-60 mm. Topné potrubí se ukládá do hloubky 4-5 cm od čisté podlahy. Teplovodní podlahové topení dosahuje instalovaného topného výkonu od 70-100 W/m². [16]



Obrázek 25 Teplovodní topení [15]

11.2.2 Elektrické podlahové vytápění

Podlahové vytápění volím od výrobce Fenix Ecofloor, přesněji typ LDTS o výkonu 100 W/m². Tento typ podlahového vytápění bude použit pro podlahovou plochu 2.NP z důvodu malého zatížení dřevěné konstrukce podlahy a nosné konstrukce dřevostavby.



Obrázek 26 Podlahové vytápění Fenix Ecofloorí [14]

11.3 Nízkoteplotní radiátory

Nízkoteplotní radiátory budu umisťovat pod okna bez rozšířené plochy, tedy ve třech místnostech. Výkon tělesa je přepočítán na parametry podlahového vytápění a jeho teplotního spádu. Při vytápění radiátory neuvažují vliv zastavení obytné plochy nábytkem. Typ radiátorů volíme dle potřebného minimálního vypočteného výkonu v tabulce. Výkon radiátoru zjistíme z možného využitelného prostoru pod okny v obou místnostech. Prostor pod okny činí 900 mm a možná využitelná šířka činí 1 500 mm. V obou místnostech volíme topné těleso Korado typ 33 VKM8 o výšce 700 mm, šířce 1 400 mm a tepelném výkonu 382 W. Do obou místností je proto nutné instalovat doplňujících 5 m² podlahového elektrického vytápění, čímž se navýší topný výkon na 882 W a podmínka pro obě místnosti bude splněna.

podl.	č.m.	t _i [°C]	Q _{cm} [W]	A[m ²]	V[m ³]	druh vytápění	Druh vytápění	Výkon [W]
1	109	20	407	10,5	31,5	radiátorové/	Korado 33 VKM8/	882
1	110	20	640	19,9	59,7	podlahové	Fenix LDTS 100 W/m ²	

Tabulka 19 Návrh vytápění v místnostech 109, 110

V tabulce 19. je znázorněna doporučená kombinace nízkoteplotních radiátorů a podlahového elektrického vytápění pro dosažení takového tepelného výkonu, který pokryje tepelnou ztrátu jednotlivých místností a zajistí tak jejich vytápění. Jedná se o místnosti 109 a 110.

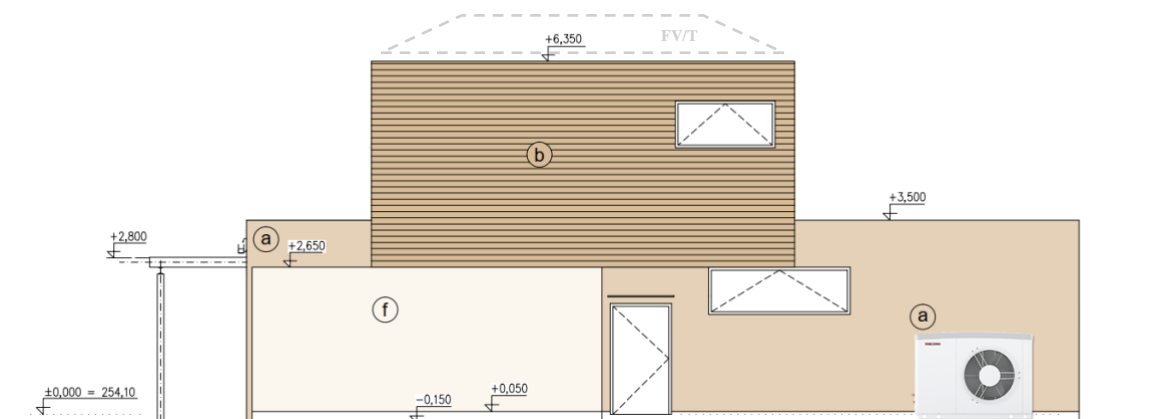


Obrázek 27 Nízkoteplotní radiátor Korado [17]

12 Vizualizace

12.1 Umístění tepelného čerpadla (orientace - severní strana)

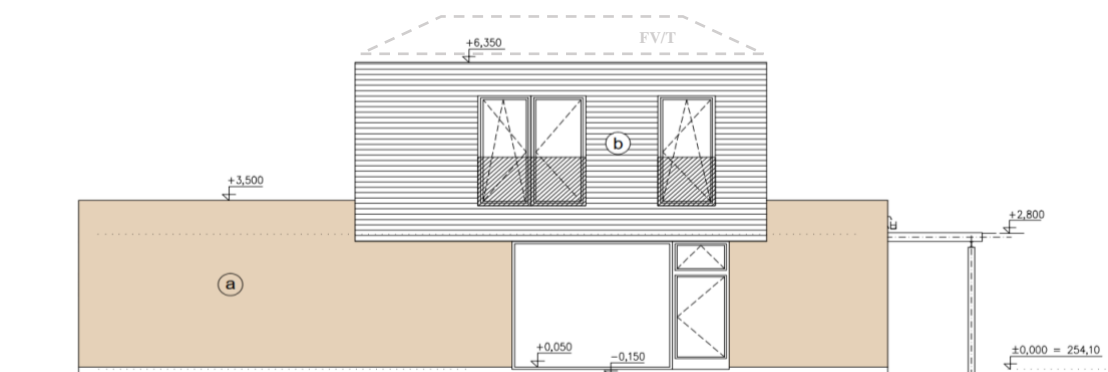
Tepelné čerpadlo je umístěno na severní straně objektu a instalováno dle technické připravenosti uvedené v příručce od výrobce.



Obrázek 28 Umístění tepelného čerpadla

12.2 Umístění FV/T kolektorů (orientace - jižní strana)

Hybridní fotovoltaické kolektory jsou umístěny na střeše pod optimálním úhlem, vzhledem k produkci elektrické a tepelné energie. Rozmístění FV/T kolektorů je ve dvou řadách po 4 ks kolektorů, a to za účelem optimálního rozestupu řad, aby nedošlo k vzájemnému zastínění a vzniklému snížení produkce energie.



Obrázek 29 Umístění FV/T kolektorů

13 Ekonomické zhodnocení

V této kapitole se věnuji ekonomickému zhodnocení, jehož cílem je vyčíslit investiční náklady výše uvedených technických řešení a technologií. Prvním bodem ekonomického zhodnocení je stanovení ceny za elektrickou energii spotřebovanou jednotlivými technologiemi v systému. Druhým bodem je porovnávám dvou variant vůči stávajícímu stavu (uhelný kotel). V závěru ekonomického hodnocení je řešeno stanovení prosté a diskontované návratnosti projektu.

13.1 Výpočet nákladů na spotřebovanou elektřinu

Pro rodinný dům uvažuji při výpočtu ceny za spotřebovanou elektřinu několik vstupních parametrů: hodnotu hlavního domovního jističe (3x25A) a uplatňovanou distribuční sazbu na technologii vytápění (D57d). Náklady na osvětlení a pomocné energie uvažuji z kapitoly (8.1.2. Spotřeba elektrické energie), jejíž hodnota je 3 697 kWh. U této potřeby energie a varianty 2 bude hodnota nižší o hodnotu produkce z elektřiny z FV/T kolektorů.

Produkce elektrické a tepelné energie z FV/T kolektorů (Tábor/ Ústí nad Labem)	
produkce tepelné energie z FV/T kolektorů	1 497,0 kWh / 1 418,0 kWh
produkce elektrické energie z FV/T kolektorů	2 489,5 kWh / 2 565,9 kWh

Tabulka 20 Produkce elektrické a tepelné energie FV/T kolektorů

V níže uvedené tabulce je zobrazeno srovnání potřeby energií dle jednotlivých variant a použitých technologií. Variantu 2 (elektrokotel) považuji za čistě elektrický chod domácnosti a tím pádem nejméně efektivní. Zdrojem vytápění u Varianty 1 je tepelné čerpadlo, které pokrývá téměř 80 % roční potřeby energie na vytápění společně s FV/T kolektory, které produkují taktéž tepelnou energii a elektrickou energii.

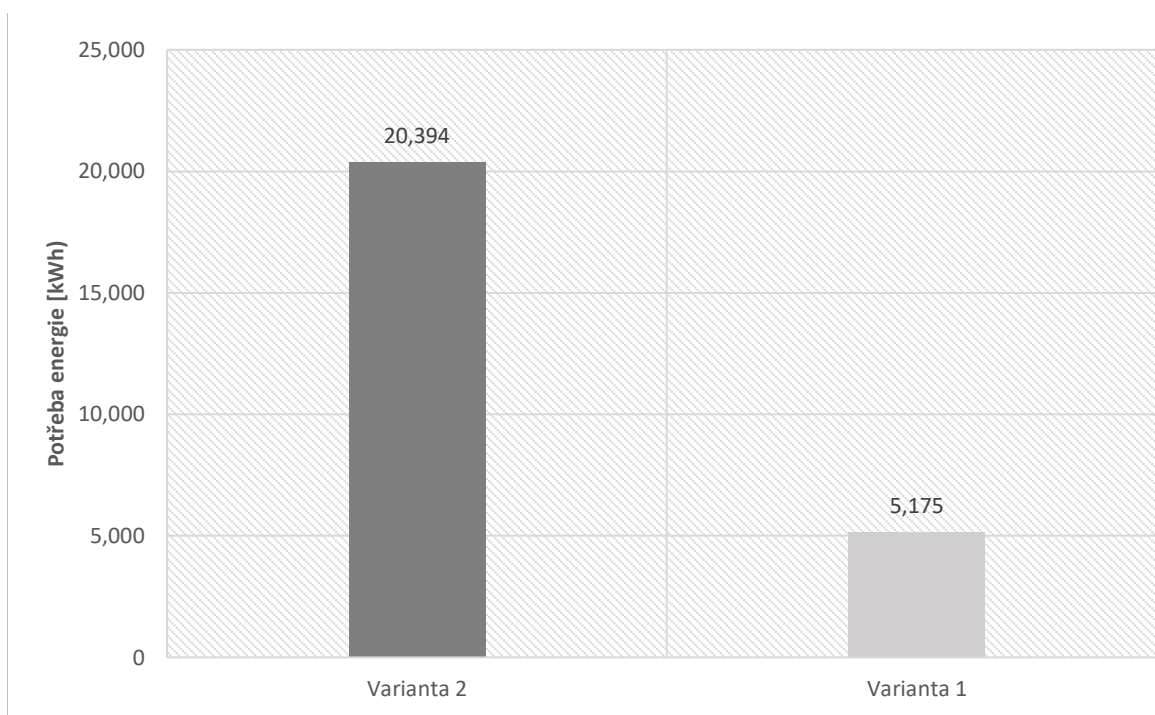
Porovnání potřeb energií na vytápění a ohřev TV objektu dle jednotlivých variant			
Varianta 2 (Elektrokotel)		Varianta 1 (TČ s FV/T)	
ÚT	TV	ÚT	TV
15 200,00 kWh	1 497,00 kWh	3 050,00 kWh	928,14 kWh
Ostatní energie – osvětlení, doplňkové zdroje, ohřev vody na 55°C			
3 697,00 kWh		1 197,00 kWh	

Tabulka 21 Porovnání potřeb energií na vytápění a ohřev TV dle variant 1. a 2.

Hybridní fotovoltaické kolektory pokrývají téměř 40 % roční potřeby energií na ohřev teplé vody. Zde je nutné poznamenat, že v letním období je potřeba řešit přebytky tepelné energie, které lze v budoucnu například využívat k ohřevu bazénu či tepelnou energii akumulovat. Produkce elektrické energie pokrývá téměř 70 % průměrné roční potřeby elektrické energie (doplňkové zdroje a další).

Celková spotřeba primárních energií v domácnosti	
Varianta 2 (Elektrokotel)	Varianta 1 (TČ s FV/T)
20 394,00 kWh/rok	5 175,14 kWh/rok

Tabulka 22 Porovnání potřeb energií na vytápění a celková spotřeba



Graf 17 Porovnání jednotlivých variant vzhledem k jejich spotřebě primárních energií na vytápění, ohřev TV a provoz domácnosti

13.2 Investiční náklady na jednotlivé technologie

13.2.1 Varianta 0 – Současný stav

Současný stav zajišťuje soustava ústředního vytápění, kde je zdrojem je uhelný kotel. Jedná se o technologii, kterou je nutné nahradit z důvodu končící životnosti zařízení. Demontáž stávající technologie zajišťuje montážní firma v rámci instalace nové technologie.

13.2.2 Varianta 1 - Tepelné čerpadlo

V níže uvedené tabulce č.23 je znázorněna finanční náročnost a celková investice do jednotlivých technologií pro ústřední vytápění objektu. Celková investice do technologií činí 609 472,00 Kč bez DPH (700 892,00 Kč s DPH 15 %). Tato cenová nabídka je pouze orientační dle veřejně dohledatelných informací a ceníků.

Varianta 1	Množství	C.J.	C.C.
Tepelné čerpadlo			
HPA-O 6 C Premium	1	205 650	205 650
WPM International regulace TČ nástěnná	1	22 430	22 430
SD 32-1 - Pružné tlakové hadice	2	1 960	3 920
SBP 301 WP-akumulační zásobník topné vody 290 l	1	65 370	65 370
Oběhové čerpadlo UP 25/7,5 E	1	6 780	6 780
Montáž tepelného čerpadla	1	26 500	26 500
Instalační materiál	1	14 500	14 500
Elektromateriál a zapojení	1	7 500	7 500
Uvedení do provozu	1	5 000	5 000
Zásobníkový ohřívač vody			
ACV Smart Line SLE 210 včetně montáže	1	21 990	21 990
FV/T kolektory			
DualSUN Spring FV/T panel 8x (2,52 kWp)	8	7 664	61 310
Instalační materiál, FV/T jednotka	1	54 539	54 539
Uvedení do provozu, elektromateriál, zapojení	1	25 000	25 000
Nízkoteplotní radiátory			
Korado 33 VKM8	2	6 100	12 200
Instalace včetně příslušenství	2	2 197	4 394
Podlahové vytápění (nízkoteplotní podlahové)			
Rehau Raufix (Rautherm S 17) (598 Kč/m ²)	57,9	598	34 624
Instalace včetně příslušenství	1	25 000	25 000
Elektrické topné rohože			
Fenix Ecofloor LDTS 100 W/m ² , Instalace včetně příslušenství včetně regulačních prvků	66,3	419	37 764
Celkem bez DPH			609 472 Kč
Celkem s DPH (15 %)			700 892 Kč

Tabulka 23 Investiční náklady dle jednotlivých technologií (varianta 1: FV/T + TČ)

13.2.3 Varianta 2 - Elektrokotel

V níže uvedené tabulce č.24 je znázorněna finanční náročnost a celková investice do jednotlivých technologií pro ústřední vytápění objektu. Celková investice do technologií činí 201 228,00 Kč bez DPH (231 412,00 Kč s DPH 15 %). Tato cenová nabídka je pouze orientační dle veřejně dohledatelných informací a ceníků.

Varianta 2	Množství	C.J.	C.C.
Elektrokotel			
Bosch tronic heat 3500-9 FSE včetně zásobníku WST 120-5 O včetně zapojení	1	54 440	54 440
Modul s ekvitermní regulací ELB-EKR	1	6 480	6 480
Blokovací termostat pro podlahové vytápění	1	672	672
Sada externího připojení zásobníku TV	1	3 972	3 972
Teplotní čidlo	1	282	282
Propojovací trubka	1	1 500	1 500
Instalační materiál	1	10 500	10 500
Elektromateriál a zapojení	1	7 500	7 500
Uvedení do provozu	1	5 000	5 000
Zásobníkový ohříváč vody			
ACV Smart Line SLE 210 včetně montáže	1	21 990	21 990
Nízkoteplotní radiátory			
Korado 33 VKM8	2	6 100	12 200
Instalace včetně příslušenství	2	2 197	4 394
Podlahové vytápění			
Rehau Raufix (Rautherm S 17) včetně instalace	57,9	598	34 624
Elektrické topné rohože			
Fenix Ecofloor LDTS 100 W/m ² , Instalace včetně příslušenství včetně regulačních prvků	66,3	419	37 764
Celkem bez DPH			201 228 Kč
Celkem s DPH (15 %)			231 412 Kč

Tabulka 24 Investiční náklady dle jednotlivých technologií (varianta 2: Elektrokotel)

13.3 Výpočet ceny za elektřinu

Výpočet ceny za elektřinu			
	Varianta 2	Varianta 1	jednotka
spotřeba	20 394,00	5 175,14	kWh
vysoký tarif	16 315,20	4 140,11	kWh
nízký tarif	4 078,80	1 035,03	kWh
jistič	3x25A		
dodavatel	ČEZ		
distribuční sazba	D57d		
neregulovaná složka ceny (cena za dodávku elektřiny)			
vysoký tarif	1 886,39		Kč/MWh
nízký tarif	1 886,39		Kč/MWh
stálá platba	79,00		Kč/měsíc
regulované složky ceny			
stálá platba za rez. kapacitu	312,00		Kč/měsíc
vysoký tarif	135,91		Kč/MWh
nízký tarif	110,14		Kč/MWh
daň z elektřiny	28,30		Kč/MWh
systémové služby (ČEPS)	93,30		Kč/MWh
činnost OTE	3,91		Kč/měsíc
podle jističe	15,07		Kč/A/f
podle spotřeby	495,00		Kč/MWh
cena za dodávku elektřiny			
vysoký tarif	30 776,83	7 809,87	Kč/r
nízký tarif	7 694,21	1 952,47	Kč/r
stálá platba	948,00	948,00	Kč/r
CELKEM	39 419,04	10 710,33	Kč/r
regulované složky ceny			
stálá platba za rez. kapacitu	3 744,00		Kč/r
vysoký tarif	2 217,40	562,68	Kč/r
nízký tarif	449,24	114,00	Kč/r
CELKEM distribuce	6 410,64	676,68	Kč/r
daň z elektřiny	577,15	146,46	Kč/r
systémové služby	1 902,76	482,84	Kč/r
činnost OTE	46,92		Kč/r
podle jističe	3 616,80		Kč/r
podle spotřeby	10 095,03	2 561,69	Kč/r
CELKEM bez DPH	58 451,54	14 578,00	Kč/r
DPH	12 274,82	3 061,38	Kč/r
CELKEM s DPH	70 726,36	17 639,39	Kč/r
	2 866,11	2 816,93	Kč/MWh

Tabulka 25 Výpočet ceny elektřiny

13.4 Prostá doba návratnosti

V této kapitole výpočítávám prostou dobu návratnosti projektu varianty 1 a varianty 2. Je důležité také stanovit roční výnosy z pořizovaného zařízení. Tato hodnota je však závislá na případném porovnání s technologií jinou nebo v případě, kdy nahrazujeme stávající zdroj technologií jiného druhu, například kotel na tuhá paliva za tepelné čerpadlo. Prostá návratnost je nejjednodušší možné kritérium pro výpočet hodnoty návratnosti. Musíme však brát v potaz, že toto kritérium zanedbává efekty po době návratnosti a fakt, že peníze můžeme vložit do jiných investičních příležitostí. Prostá doba návratnosti se počítá:

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad (10)$$

kde T_s – prostá doba návratnosti

IN – investiční náklady

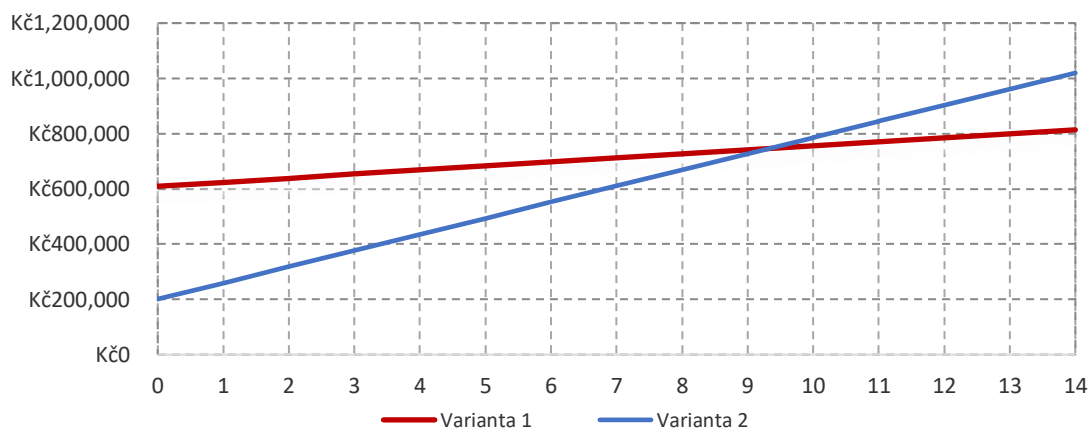
CF – cash flow

13.4.1 Bez uvažování dotační podpory

V tabulce níže (Tabulka č.26) je znázorněna varianta výpočtu prosté doby návratnosti. Uvažuji nahrazení elektrokotle tepelným čerpadlem společně s FV/T kolektory. Přechodem na technologii kombinace tepelného čerpadla a FV/T kolektorů vznikla úspora (cash-flow) 43 873,54 Kč/rok bez DPH (53 086,98 Kč/rok s DPH). Návratnost činí bez uvažování dotační podpory činí 9,31 let.

	Zdroj	Náklady na energie (bez DPH)	Investice (bez DPH)	T_s
V1	TČ & FV/T	14 578,00 Kč/rok	609 473,0 Kč	9,31 let
V2	Elektrokotel	58 451,54 Kč/rok	201 228 Kč	

Tabulka 26 Prostá návratnost bez dotační podpory



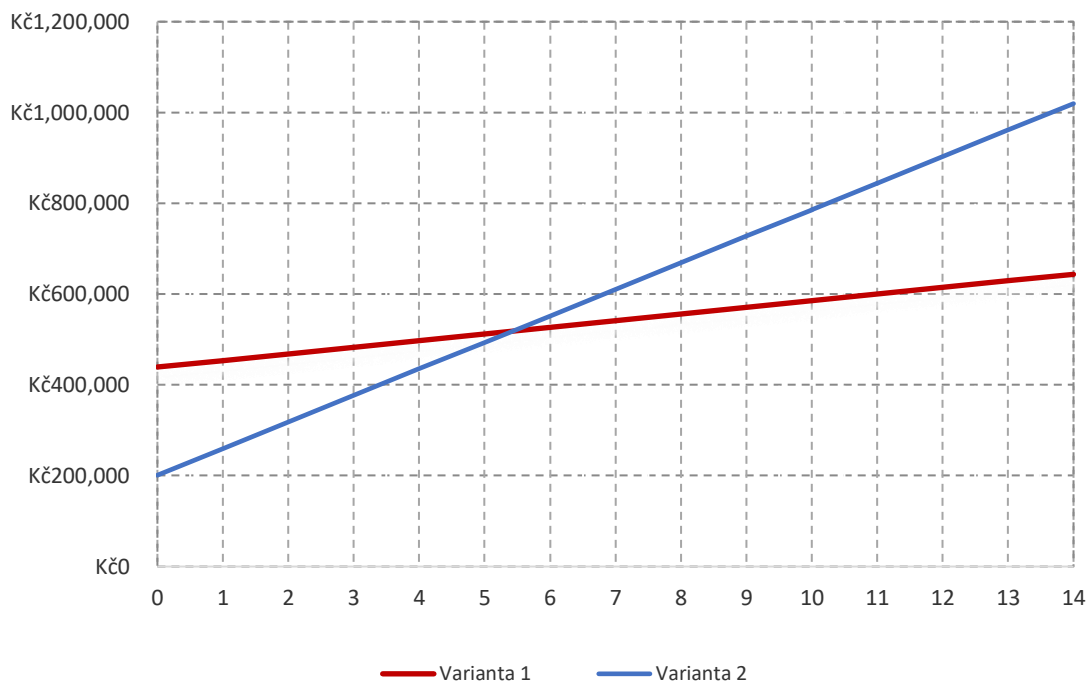
Graf 18 Prostá návratnost bez dotační podpory

13.4.2 S uvažováním dotační podpory

Dotační podpora na výměnu kotle na tuhá paliva tepelným čerpadlem je dle kotlíkové dotace 120 000 Kč a na instalaci FV/T solárních systémů dle dotačního programu Nová Zelená Úsporám lze čerpat částku 50 000 Kč. Výše celkové dotace bude tedy činit 170 000 Kč. Přechodem na technologii kombinace tepelného čerpadla a FV/T vzniklá úspora (cash-flow) činí 43 873,54 Kč/rok bez DPH (53 086,98 Kč/rok s DPH) a návratnost investice činí 5,43 let.

	Zdroj	Náklady na energie (bez DPH)	Investice (bez DPH)	T_s
Varianta 1	TČ & FV/T	14 578,00 Kč/rok	439 473 Kč	5,43 let
Varianta 2	Elektrokotel	58 451,54 Kč/rok	201 228 Kč	

Tabulka 27 Prostá návratnost s dotační podporou



Graf 19 Prostá návratnost s dotační podporou

13.5 Diskontovaná doba návratnosti

Diskontovanou dobu návratnosti ve své diplomové práci využívám z důvodu přesnějšího zhodnocení celkové investice. Výhodou této metody je překonání největších nevýhod tradičního výpočtu prosté doby návratnosti, který ignoruje princip časové hodnoty peněz a počítá se často ze zisku, nikoliv z cash-flow. Diskontovaná doba návratnosti tedy vychází ze stejného vzorce, jako je prostá doba návratnosti.[18]

$$TN_D = \frac{IN}{DCF} \quad (11)$$
$$DCF = \frac{CF}{(1+r)^T}$$

kde DCF – diskontovaný roční Cash – Flow projektu

r – diskont (1,5 %)

T – rok ke kterému DCF počítá (15 let)

13.5.1 Bez uvažování dotační podpory

Diskontovaná doba návratnosti bez uvažování dotační podpory je vypočtena níže. (tabulka č.28.).

Diskontovaná doba návratnosti investice činí 9,44 let.

	Zdroj	Náklady na energie (bez DPH)	Investice (bez DPH)	T_s
V1	TČ & FV/T	14 578,00 Kč/rok	609 473,00 Kč	9,44 let
V2	Elektrokotel	58 451,54 Kč/rok	201 228 Kč	

Tabulka 28 Výpočet diskontované doby návratnosti bez dotace

13.5.2 S uvažováním dotační podpory

Diskontovaná doba návratnosti bez uvažování dotační podpory je vypočtena níže. (tabulka č.29.).

Diskontovaná doba návratnosti investice činí 5,52 let.

	Zdroj	Náklady na energie (bez DPH)	Investice (bez DPH)	T_s
V1	TČ & FV/T	14 578,00 Kč/rok	430 472,00 Kč	5,52 let
V2	Elektrokotel	58 451,54 Kč/rok	201 228 Kč	

Tabulka 29 Výpočet diskontované doby návratnosti s dotací

14 Závěr

Ve své diplomové práci jsem aplikoval moderní technologie, tj. hybridní fotovoltaické kolektory a tepelné čerpadlo. Tyto technologie jsem použil za účelem snížení energetické náročnosti stávajícího rodinného domku. Cílem diplomové práce byla optimalizace vytápění, ohřevu teplé vody a návrhu ústředního vytápění. V optimalizovaném návrhu se povedlo výrazně snížit energetickou náročnost rodinného domu o tepelné ztrátě 7,389 kW za použití špičkových technologií určených k ohřevu teplé vody a vytápění. Hybridní fotovoltaické kolektory vyrábějí jak tepelnou energii, tak elektrickou, kterou nadále využívám k napájení základních technologických prvků zapojení. Produkce elektrické energie je však závislá na několika parametrech souvisejících s lokací objektu v podobě hodnoty slunečního svitu a intenzitě slunečního záření. Rychle se měnící vyráběná elektrická energie je též spotřebována v elektrických topných tyčích, které dohřívají horní část akumulární nádrže. Výkon topných tyčí je řízen softwarem v závislosti na produkci elektřiny z FV/T kolektorů. Díky aplikaci FV/T kolektorů jsem docílil pokrytí téměř 40 % roční potřeby energií na ohřev teplé vody a pokrytí téměř 70 % průměrné roční potřeby elektrické energie (doplňkové zdroje a další).

Tepelné čerpadlo jsem navrhoval tak, abych pokryl co největší možnou potřebu tepla na vytápění. Docílil jsem výsledku, kdy tepelný výkon čerpadla Stiebel Eltron HPA-O 6 CS Plus při (A-5/W35) pokrývá necelých 80% potřeby energie k vytápění. V zimním období, kdy tepelné čerpadlo již nedosahuje potřebného výkonu se k tepelnému čerpadlu využívá zdroj, který je napájený z vnější elektrické sítě (elektrické topné tyče), a to pouze ve špičkách, které nastávají během tohoto období.

V ekonomickém hodnocení jsem porovnával jednotlivé varianty, kterými nahrazuji stávající zdroj. Stanovil jsem prostou a diskontovanou dobu návratnosti projektu, kde jsem díky aplikaci technologií v kombinaci tepelného čerpadla a FV/T kolektorů docílil výrazného snížení nákladů a snížení potřeb energií na vytápění a ohřev TV. Roční úspora (cash-flow) varianty 1.(tepelné čerpadlo & FV/T kolektory) oproti variantě 2.(elektrokotel) činí 43 874 Kč/rok. V době návratnosti také hraje velkou roli využití dotačních podpor, které jsem ve své diplomové práci také uvažoval. Prostá doba návratnosti varianty 1 s využitím dotačních podpor činí 5,43 let a její diskontovaná doba návratnosti 5,52 let. Bez využití dotačních podpor jsou tyto hodnoty 9,31 let a 9,44 let.

Celé ekonomické řešení je nejvíce citlivé na cenu elektrické energie. V blízké budoucnosti se očekává růst cen energií, a tak lze očekávat, že tyto doby návratnosti se budou v našem případě snižovat.

Seznam tabulek

Tabulka 1 Přehled výrobců FV/T	3
Tabulka 2 Venkovní teploty dle PVGIS pro Tábor	13
Tabulka 3 Venkovní teploty dle PVGIS pro Ústí nad Labem	14
Tabulka 4 Průměrná měsíční teploty pro Tábor a Ústí nad Labem	15
Tabulka 5 Sluneční radiace dle PVGIS pro Tábor	16
Tabulka 6 Sluneční radiace dle PVGIS pro Ústí nad Labem	17
Tabulka 7 Měsíční průměrné hodnota slunečního svitu z PVGIS H[kWh/m ²].....	18
Tabulka 8 Měrná tepelná ztráta, tepelný výkon aj. jednotlivých místností	22
Tabulka 9 Průměrné hodnoty měrné tepelné ztráty a tepelné charakteristiky	22
Tabulka 10 Tepelná ztráta rozložená do jednotlivých měsíců	23
Tabulka 11 Celková roční potřeba energie na ÚT a TV	24
Tabulka 12 Bilance produkce elektřiny	27
Tabulka 13 Vyhodnocení návrhu kolektoru pro přípravu TV (Tábor, Ústí nad Labem)	30
Tabulka 14 Bilance FV/T kolektoru pro přípravu TV	31
Tabulka 15 Celková bilance FV/T kolektoru	32
Tabulka 16 Technické údaje tepelného čerpadla SE HPA-O 6 CS Plus	39
Tabulka 17 Závislost výkonu tepelného čerpadla a tepelné ztráty na venkovní teplotě	40
Tabulka 18 Přepočítání výkonů	45
Tabulka 19 Návrh vytápění v místnostech 109, 110	47
Tabulka 20 Produkce elektrické a tepelné energie FV/T kolektorů	49
Tabulka 21 Porovnání potřeb energií na vytápění a ohřev TV dle variant 1. a 2.	49
Tabulka 22 Porovnání potřeb energií na vytápění a celková spotřeba	50
Tabulka 23 Investiční náklady dle jednotlivých technologií (varianta 1: FV/T + TČ)	51
Tabulka 24 Investiční náklady dle jednotlivých technologií (varianta 2: Elektrokotel)	52
Tabulka 25 Výpočet ceny elektřiny	53
Tabulka 26 Prostá návratnost bez dotační podpory	54
Tabulka 27 Prostá návratnost s dotační podporou	55
Tabulka 28 Výpočet diskontované doby návratnosti bez dotace	56
Tabulka 29 Výpočet diskontované doby návratnosti s dotací	56

Seznam obrázků

Obrázek 1 zasklený FV/T kolektor [6]	2
Obrázek 2 nezasklený FV/T kolektor [6]	3
Obrázek 3 Technické parametry FV/T kolektoru značky PowerVolt MA-0014	4
Obrázek 4 Technické parametry FV/T kolektoru značky PowerVolt MA-0013	5
Obrázek 5 Technické parametry FV/T kolektoru značky Solar Angel DG-01	6
Obrázek 6 Technické parametry FV/T kolektoru značky DualSun Spring [20]	7
Obrázek 7 Srovnání produkce elektřiny FV/T a FV [20]	9
Obrázek 8 Výkresová dokumentace	10
Obrázek 9 Situační pohledy (sever, východ, jih, západ)	11
Obrázek 10 PVGIS výpočtový model [21]	12
Obrázek 11 Konstrukce a rozdělení ztrát mezi konstrukce	19
Obrázek 12 Tepelný výkon rozdělen dle jednotlivých místností	20
Obrázek 13 Tepelný výkon – rozdělení na jednotlivá patra	21
Obrázek 14 Četnost trvání teplot a výkonů	21
Obrázek 15 Spotřeba elektřiny v domácnosti [19]	27
Obrázek 16 Tepelné čerpadlo vzduch-voda [7]	34

Obrázek 17 Princip funkce tepelného čerpadla [8]	35
Obrázek 18 Termodynamické změny v oběhu tepelného čerpadla [8]	35
Obrázek 19 STIEBEL ELTRON HPA-O 6 CS PLUS [13]	36
Obrázek 20 Katalog Stiebel Eltron HPA-O 6 PLUS	37
Obrázek 21 Doporučené hodnoty akumulčního zásobníku vytápění [13].....	42
Obrázek 22 SBB 302 WP [13]	42
Obrázek 23 Schéma zapojení – Varianta 1 – Vlastní optimalizovaný návrh	43
Obrázek 24 Schéma zapojení - Varianta 2 – Elektrokotel.....	44
Obrázek 25 Teplovodní topení [15].....	46
Obrázek 26 Podlahové vytápění Fenix Ecofloori [14]	46
Obrázek 27 Nízkoteplotní radiátor Korado [17].....	47
Obrázek 28 Umístění tepelného čerpadla	48
Obrázek 29 Umístění FV/T kolektorů	48

Seznam grafů

Graf 1 Průběh venkovních teplot dle PVGIS pro Tábor	13
Graf 2 Průběh venkovních teplot dle PVGIS pro Ústí nad Labem	14
Graf 3 Průběh venkovní teploty pro Tábor a Ústí nad Labem	15
Graf 4 Průběh sluneční radiace dle PVGIS pro Tábor	16
Graf 5 Průběh sluneční radiace dle PVGIS pro Ústí nad Labem	17
Graf 6 Porovnání měsíční průměrné intenzity slunečního záření z PVGIS (Tábor, Ústí nad Labem).....	18
Graf 7 tepelná ztráta rozložená do jednotlivých měsíců.....	23
Graf 8 Bilance produkce elektrické energie s potřebou el. (Tábor)	28
Graf 9 Bilance produkce elektrické energie s potřebou el. (Ústí n.Labem)	28
Graf 10 Bilance kolektoru pro přípravu TV (Tábor).....	31
Graf 11 Bilance kolektoru pro přípravu TV (Ústí nad Labem).....	31
Graf 12 Celková bilance FV/T kolektoru pro Ústí nad Labem	33
Graf 13 Celková bilance FV/T kolektoru pro Tábor	33
Graf 14 Závislost tepelné ztráty a výkonu tepelného čerpadla na venkovní teplotě Stiebel Eltron HPA-O 6 CS Plus	38
Graf 15 Závislost výkonu tepelného čerpadla a tepelné ztráty na venkovní teplotě	40
Graf 16 Závislost příkonu tepelného čerpadla na produkci elektřiny z FV/T	41
Graf 17 Porovnání jednotlivých variant vzhledem k jejich spotřebě primárních energií na vytápění, ohřev TV a provoz domácnosti.....	50
Graf 18 Prostá návratnost bez dotační podpory.....	54
Graf 19 Prostá návratnost s dotační podporou.....	55

Zdroje

- [1] BUCHTA, Ing. Luboš. Solární hybridní fotovoltaicko-tepelné kolektory – přehled [online]. 2012, 8. 10. 2012, , 1 [cit. 2020-10-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9138-solarni-hybridni-fotovoltaicko-tepelne-kolektory-prehled>
- [2] ZONDAG, H., DE VRIES D. W., VAN HELDEN W., VAN ZOLINGEN R. VAN STEENHOVEN J. :The yield of different combined PV-thermal collector designs. Solar Energy [online]. 2003, roč. 74, s. 253–269. ISSN 0038092X. Dostupné z: doi:10.1016/S0038-092X(03)00121-X
- [3] DUFFIE, J., BECKMAN W., WOREK W. M.: Solar Engineering of Thermal Processes, 2nd ed. [online]. 1994. ISBN 1118418123. Dostupné z: doi:10.1115/1.2930068
- [4] KAČÍREK, Pavel. HYBRIDNÍ SOLÁRNÍ FOTOVOLTAICKO-TEPELNÉ KOLEKTORY [online]. 2015 [cit. 2020-10-11]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/63436/F2-BP-2015-Kacirek-Pavel-BP_Kacirek-tisk.pdf?sequence=1&isAllowed=y. BP. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ. Vedoucí práce doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D.
- [5] MATUŠKA, doc.Ing, Tomáš, Ph.D. Zjednodušená bilance solárního kolektoru. Tzbinfo [online]. 2011 [cit. 2020-10-20]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/7115-zjednodusena-bilance-solarniho-kolektoru>
- [6] MATUŠKA, Tomáš. Hybridní fotovoltaicko-tepelné kolektory a možnost jejich využití [online]. In: . Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní, ČVUT v Praze, 2015 [cit. 2020-10-28]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4729476-Hybridni-fotovoltaicko-tepelne-kolektory-a-moznosti-jejich-vyuziti-tomas-matuska-ustav-techniky-prostredi-fakulta-strojni-cvut-v-praze.html>
- [7] NIBE Technologie. NIBE [online]. 2020 [cit. 2020-11-10]. Dostupné z: <https://www.nibe.cz/technologie#vzduch-voda>
- [8] BARTOŇOVÁ, Jana. Ekonomické zhodnocení tepelných čerpadel [online]. 2015 [cit. 2020-11-10]. Disertační práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Prof. Ing. Jaroslav Dvořáček, CSc.
- [9] MATUŠKA, Tomáš. Komplexní vzdělávací program pro podporu environmentálně šetrných technologií ve výstavbě a provozování budov [online]. , 143 [cit. 2020-11-10]. Dostupné z: <https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/04-tepelna-cerpadla.pdf>
- [10] BUKVA, Pavel. NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA PRO RODINNÝ DŮM [online]. 2014 [cit. 2020-11-10]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/105123/BUK0020_FS_B2341_3904R016_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Doc. Ing. MOJMÍR VRTEK, Ph.D.
- [11] Energetický regulační věstník: Energetický regulační úřad [online]. 19. Energetický regulační úřad, 2019 [cit. 2020-11-10]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/5228943/ERV8_2019.pdf/a5385f13-b36f-487a-8783-6c46cb01a9ca

- [12] NIBE F2040 - Technické údaje. NIBE ENERGY SYSTEMS CZ [online]. NIBE ENERGY SYSTEMS CZ, 2020, , 4 [cit. 2020-11-10]. Dostupné z: <https://www.nibe.cz/tepelna-cerpadla-vzduch-voda/tepelne-cerpadlo-nibe-f2040#ke-stazeni>
- [13] HPA-O 6 CS Plus [online]. [cit. 2020-11-16]. Dostupné z: https://www.stiebel-eltron.cz/cs/produkty-a-reseni/obnovitelne_zdrojeenergie/tepelna_cerpadla/tepelna_cerpadlavzduch-voda/hpa-o_3-8_cs_plus/hpa-o_6_cs_plus/ke-stazeni.html
- [14] Topné kabely a rohože - Podlahové vytápění [online]. In: . [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.fenixgroup.cz/cs/produkty/topne-rohoze-pro-prime-vytapeni>
- [15] Podlahové topení [online]. In: . [cit. 2021-02-27]. Dostupné z: <https://www.eurosystemy.cz/reference/185m-podlahove-topeni-eurosystemy-hranice-reference-zkusenosti.php>
- [16] PODLAHOVÉ TEPLOVODNÍ TOPENÍ PRO NOVOSTAVBY [online]. In: . [cit. 2021-02-27]. Dostupné z: <https://www.eurosystemy.cz/podlahove-topeni.php>
- [17] Korado 33 VKM8 [online]. In: . [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/produkty/radik/radik-vkm8-1.html>
- [18] DISKONTOVANÁ DOBA NÁVRATNOSTI [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.febmat.com/clanek-diskontovana-doba-navratnosti/>
- [19] Za co utrácíte [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/za-co-utracite#/editace-shrnuti#top-steps>
- [20] DualSun Spring [online]. In: . [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://dualsun.com/en/product/hybrid-panel-spring/>
- [21] Photovoltaic geographical information system [online]. In: . [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR