

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Teplovní charakteristiky fotovoltaických panelů

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej NĚMEČEK**

Osobní číslo: **E15N0090P**

Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Technická ekologie**

Název tématu: **Teplotní charakteristiky fotovoltaických panelů**

Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Vysvětlete funkci fotovoltaických panelů. Zaměřte se na vliv jednotlivých fyzikálních parametrů na jejich činnost.
2. Prakticky proměřte teplotní charakteristiky fotovoltaických panelů různých technologií a konstrukčních provedení.
3. Proveďte simulaci chování jednotlivých panelů v modelové lokalitě. Pro výpočty použijte reálná data z meteostanice.
4. Porovnejte dosažené výsledky s výstupem běžného simulačního systému.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


1. přednášky KEE/SOES

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Milan Bělík, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2016**
Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2017**


Doc. Ing. Jirí Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na měření a zkoumání teplotních charakteristik různých druhů fotovoltaických panelů. V teoretické části jsou uvedeny základní informace o principu a funkci fotovoltaického článku. Dále jsou vysvětleny a popsány jejich vlastnosti a parametry. Hlavní náplní práce je analýza vlastností a chování fotovoltaických panelů z hlediska ohřevu a chladnutí. Praktická část se zabývá měřením teplotních charakteristik fotovoltaických panelů při působení různých provozních podmínek. Výstupem praktické části je vyhodnocení teplotních koeficientů, které byly uplatněny v následující části zabývající se simulačními matematickými modely výroby elektrické energie.

Klíčová slova

Obnovitelný zdroj energie, analýza teplotních charakteristik, fotovoltaický panel, solární záření, fotovoltaický jev, koeficienty ohřevu a chladnutí, fotoelektrický jev, účinnost, parametry fotovoltaických panelů, simulace, voltampérová charakteristika, TopView

Abstract

This master thesis is focused on measurement and evaluation of temperature characteristics of various types of photovoltaic panels. In the theoretical part are described basic information about the principle and the function of the photovoltaic cell. The properties and parameters of photovoltaic cells are described and explained as well. The main aim of this thesis is analyze the properties and behavior of photovoltaic panels in terms of heating and cooling. The practical part is based on the measurement of temperature characteristics of photovoltaic panels under various operating conditions. Practical part describes the evaluation of temperature coefficients, and results are applied in the last part. The last part is focused on three types simulation models of electric energy production.

Key words

Renewable energy source, analysis of temperature characteristic, photovoltaic panel, solar radiation, photovoltaic effect, temperature characteristic, heating and cooling coefficients, photoelectric effect, efficiency, parameters of photovoltaic panel, simulations, current-voltage characteristic, TopView

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 17.5.2017

Ondřej Němeček

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Milanovi Bělíkovi, Ph.D. za cenné a užitečné rady, poznatky, podporu, metodické vedení a za čas strávený při konzultacích ohledně vypracování této diplomové práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK	11
1.1 FOTOLEKTRICKÝ JEV	11
1.1.1 <i>Fotoemise</i>	11
1.1.2 <i>Fotovodivost</i>	12
1.1.3 <i>Fotovoltaický jev</i>	13
1.2 ELEKTRICKÉ PARAMETRY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	14
1.2.1 <i>Parametry odečtené z voltampérové charakteristiky</i>	15
1.3 DALŠÍ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ÚČINNOST FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ.....	19
1.3.1 <i>Teplota - t</i>	19
1.3.2 <i>Intenzita slunečního záření – E</i>	21
2 ANALÝZA VLASTNOSTÍ A CHOVÁNÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	23
2.1 POPIS MÍSTA MĚŘENÍ	24
2.2 MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ A TEPLOTNÍCH CHARAKTERISTIK FVP	25
2.3 URČENÍ KOEFICIENTU PŘÍRŮSTKU A ÚBYTKU TEPLoty	30
2.3.1 <i>Fotovoltaický panel Calyxo CX60</i>	33
2.3.2 <i>Fotovoltaický panel Q.Cells Q.SMART UF L 95</i>	39
2.3.3 <i>Fotovoltaický panel Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B</i>	44
2.3.4 <i>Fotovoltaický panel Solartec SI 72-110 / 24 110WP</i>	48
2.4 ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	54
3 SIMULACE CHOVÁNÍ TESTOVANÝCH PANELŮ V MODELOVÉ LOKALITĚ	58
3.1 SIMULACE SE VSTUPNÍMI DATY Z PROGRAMU PVGIS	58
3.1.1 <i>Výpočet účinnosti a množství vyrobené energie fotovoltaickými panely</i>	60
3.1.2 <i>Výpočet energetické bilance</i>	62
3.1.3 <i>Zhodnocení výsledků</i>	65
3.2 SIMULACE SE VSTUPNÍMI DATY Z METEOSTANICE S POUŽITÍM TEPLOTNÍCH KOEFICIENTŮ	65
3.2.1 <i>Výpočet účinnosti a množství vyrobené energie fotovoltaickými panely</i>	70
3.2.2 <i>Výpočet energetické bilance</i>	73
3.2.3 <i>Zhodnocení výsledků</i>	75
3.3 SIMULACE SE VSTUPNÍMI DATY Z METEOSTANICE	75
3.3.1 <i>Výpočet účinnosti a množství vyrobené energie fotovoltaickými panely</i>	76
3.3.2 <i>Výpočet energetické bilance</i>	77
3.3.3 <i>Zhodnocení výsledků</i>	79
3.4 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ METOD SIMULACÍ.....	79
4 ZÁVĚR	91
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	92
SEZNAM OBRÁZKŮ	1
SEZNAM TABULEK	3
SEZNAM PŘÍLOH	5

Seznam symbolů a zkratk

Q_{DEN}	Hodnota průměrného množství vyrobené energie za den
$Q_{MĚSÍC}$	Hodnota průměrného množství vyrobené energie za měsíc
Q_{ROK}	Hodnota průměrného množství vyrobené energie za rok
K_O	Koeficient ohřevu
K_{CH}	Koeficient chlazení
K_{TEP}	Teplotní koeficient
FVP	Fotovoltaický panel
OZE	Obnovitelné zdroje energie
SS	stejnoseměrný

Úvod

Fotovoltaické systémy jsou jedním z mnoha druhů obnovitelných zdrojů energie, které jsou v České republice hojně využívány. Podstatné uplatnění nacházejí na poli využitelnosti v podobě přeměny slunečního záření na energii elektrickou. Nespornou výhodou využití potenciálu sluneční energie spočívá v jejím nevyčerpatelném množství. Fotovoltaika je neustále vyvíjena a zkoumána. Vývojáři se především zaměřují na snahu vytvořit články s vysokou účinností a ohledem na dostupné náklady spojené s výrobním procesem.

Tohle téma jsem vybral na základě návaznosti na moji bakalářskou práci týkající se rozvoje OZE v České republice a díky aktuálnosti a zajímavosti tohoto neustále rozvíjejícího se odvětví. Předkládaná práce je zaměřena na zkoumání vlastností a chování fotovoltaických panelů různých konstrukčních provedení a technologií z hlediska jejich teplotních charakteristik. Hlavními úkoly je vyhodnotit chování pěti druhů fotovoltaických panelů na základě provedených praktických měření v souvislosti s různými provozními podmínkami. Dále pro ně provést výpočtové simulace založené na skutečně naměřených datech z místní meteostanice a z obecně používaného simulačního programu. Očekávanými výsledky jsou nejen odlišné charakteristiky vlivem působení různých podmínek, ale i získání odpovídajících hodnot množství vyrobené energie z jednotlivých simulací a jejich vzájemné porovnání.

Text práce je rozdělen do tří hlavních částí. První obsahuje teorii zaměřenou na vysvětlení principu, funkce, elektrických parametrů a faktorů ovlivňujících práci fotovoltaického článku. Druhá uvádí určení a vyhodnocení teplotních koeficientů získaných na základě praktického měření vybraných typů panelů. Třetí část popisuje provedené výpočtové simulace z různých vstupních dat. Závěrem této práce je vyhodnocení získaných výsledků ze simulačních metod a zhodnocení použitého matematického postupu v jedné ze simulací.

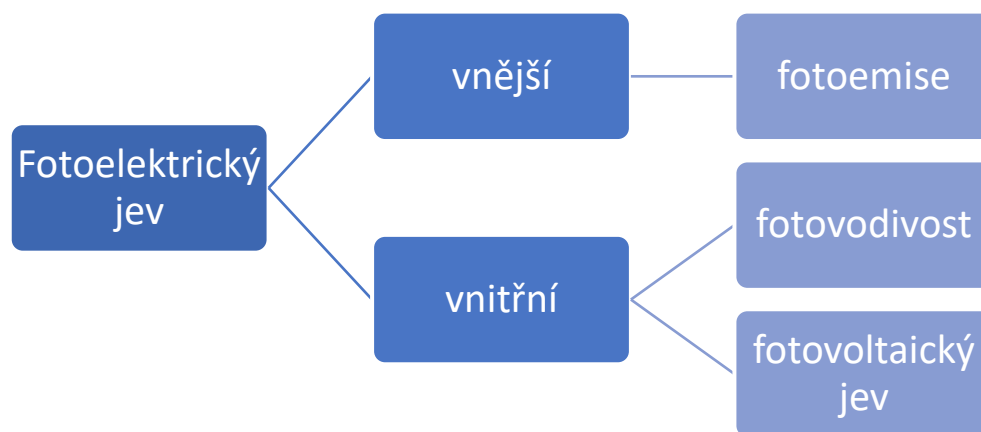
1 Fotovoltaický článek

V úvodu této kapitoly bych rád nastínil základní funkci fotovoltaického článku, která bude podrobněji popsána a rozebrána v této kapitole.

Fotovoltaický neboli solární článek umožňuje přímou přeměnu energie slunečního záření na energii elektrickou za pomoci fotoelektrického jevu. Podstata jevu je založena na dopadu světla, jehož vlivem dochází k vyražení elektronu z jeho oběžné dráhy fotonem slunečního záření. Vzájemné působení polovodiče a slunečního záření má za následek pohlcování fotonů a uvolňování elektronů.

1.1 Fotoelektrický jev

Fotoelektrický jev byl objeven Alexanderem E. Becquerelem, avšak vysvětlen a popsán byl Albertem Einsteinem. Tehdy byl fotoelektrický jev znám pouze z vnější části a jednalo se pouze o složku fotoemise. Dnes se fotoelektrický jev člení na dvě skupiny, a to na jevy vnitřní a vnější. Vnitřní jev lze dále rozdělit na fotovodivost a fotovoltaický jev. Vnější jev je označován jako fotoemise. [1][2]



Obr. 1.1 Rozdělení fotoelektrického jevu

1.1.1 Fotoemise

Princip tohoto jevu je založen na pohlcování elektromagnetického záření materiálem, na který dopadá světelné záření. Pohlcování světla materiálem má za následek započetí okamžitého procesu emise elektronů ve valenční vrstvě. Záření je složeno z fotonů, které v určitých podmínkách vykazují vlastnosti vlnové energie. Tato energie je pak nositelem částic.

Podmínkou pro spuštění této reakce je potřeba určitého množství energie závislého na vlnové délce záření a na materiálu. Obecně lze usoudit, že s vyšší frekvencí tedy kratší vlnovou délkou roste energie jeho kvant.

Bylo zjištěno, že pro každý materiál je definována jiná mezní frekvence f_0 potažmo vlnová délka λ_0 , která určuje hranici průběhu jevu. Od hodnot mezní frekvence, vyšších hodnot frekvence, hodnot mezní vlnové délky a nižších hodnot vlnové délky má záření takovou energii, která dokáže odtrhnout elektron z krystalické mřížky. Taková energie je označována jako výstupní práce látky a úzce souvisí s mezní vlnovou délkou λ_0 . V případě menší vlnové délky, než je mezní hodnota, dojde k vnějšímu fotoefektu ($\lambda < \lambda_0$). V opačném případě nikoli.

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad [\text{J}] \quad (1.1)$$

Kde E – energie [J]

c – rychlost světla ve vakuu ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s)

h – Planckova konstanta ($h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ J.s)

f – frekvence [Hz]

λ – vlnová délka [m]

V praxi je fotoemise využívána k zjištění světelných toků pomocí fotonek nebo fotonásobičů. Technicky není možné pomocí fotoemise vyrábět elektrický proud, jelikož účinnost přeměny energie záření na energii elektronů je velmi nízká a dosahuje 0,01 %. [1][2]

1.1.2 Fotovodivost

Tento jev se také vyznačuje schopností materiálu absorbovat kvantum záření (fotony). Jde o jev, při kterém absorpcí kvanta záření materiálem může dojít k excitaci neboli uvolnění vázaného elektronu v krystalické mřížce pevné látky. Uvolněný elektron se může stát nosičem náboje a tím pádem má schopnost zprostředkovat vodivost. Zvýšení vodivosti polovodičů a izolantů je závislé na velikosti absorbovaného elektromagnetického záření. Články vhodné k využívání fotovodivosti jsou z vyrobené převážně z křemíku. Čistý křemík neobsahuje téměř žádné příměsi a lze jej vyrobit až s 99,98 % čistotou. Uplatnění nalézá zejména u fotovoltaických článků. Při nižších teplotách má křemík poměrně velký odpor a lze říci, že je dobrým izolantem. Zvýšením teploty se křemík stává vodivým, jelikož s rostoucí teplotou dojde ke zvýšení kmitání atomů v jeho krystalické mřížce. Výsledkem takového kmitání dochází

k uvolnění vazeb v krystalické mřížce, uvolnění elektronů a po jejich odtržení dochází ke vzniku kladných děr. Tyto vzniklé díry reprezentují kladné nosiče náboje. Pokud je vodivost způsobena pouze vlastními volnými nosiči náboje bez působení nosičů náboje od příměsí, jedná se o vodivost vlastní.

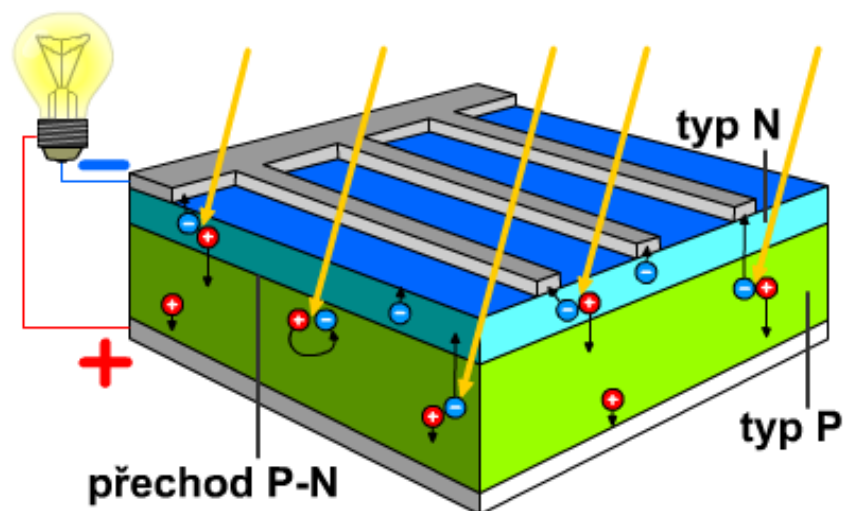
Princip fotovodivosti však spočívá v přímé přeměně světelné energie na energii elektrickou. Dopadající energie ze slunečního záření vybudí elektrony na vyšší energetické hladiny. Pro zajištění usměrněného pohybu materiálem je nutnou podmínkou použití externího zdroje energie v podobě baterie. Uzavřeným obvodem poté začne téct proud, jehož vznik je podporován dopadajícím slunečním zářením. [1][2]

1.1.3 Fotovoltaický jev

Další a významnější složkou vnějšího fotoelektrického jevu je jev fotovoltaický. Význam a princip fotovoltaického jevu již byl lehce nastíněn v úvodu kapitoly. Podstata tohoto jevu spočívá v přeměně slunečního záření na elektrickou energii pomocí solárního článku při dopadu slunečního záření. Solární články jsou tvořeny zejména z polovodičů. Charakteristické rysy polovodičů jsou stanoveny jejich vlastnostmi a nachází se mezi vodiči a mezi izolanty. Čistý polovodičový materiál bez příměsí obsahuje velice málo volných elektronů, a proto je nutné je dodat pomocí atomů jiných prvků. Dotace cizími atomy způsobí zvýšení vodivosti v materiálu a provádí se ve většině případů troj nebo pěti mocnými prvky. V závislosti na požadované vodivosti je dotace upravována v širokých mezích. Nejhojněji využívaným a vhodným polovodičovým materiálem pro solární články je křemík.

Křemík disponuje čtyřmi valenčními elektrony, které tvoří vazby elektronových párů se sousedními atomy. Článek je tvořen pomocí dvou polovodičových oblastí, které spolu hraničí, ale jsou odlišně dotované. Mezi kladně dotovanou oblastí (p) a záporně dotovanou oblastí (n) vzniká difúzí nadbytečných elektronů v oblasti PN přechodu vnitřní elektrické pole. To má za následek vznik oblasti, která je specifická malým počtem volných nosičů náboje. V kladně dotované oblasti zůstávají záporně nabití atomy a v záporně dotované oblasti zůstávají kladně nabití atomy daného dotujícího prvku.

Při dopadu fotonů na FV článek (Obr. 1.2), dochází ke vzniku vnitřního fotoelektrického jevu, čímž se uvolní záporné elektrony, a tím vznikne mezi přechodem P-N elektrické napětí. Toto elektrické napětí dosahuje hodnot nejčastěji okolo 0,5 – 0,65 V, což je typické zejména u křemíkových článků. Dochází k transformaci sluneční energie na energii elektrickou. Fotovoltaický článek je tedy tzv. opticko-elektrický převodník. Připojíme-li na výstup článku spotřebič, začne obvodem procházet SS elektrický proud. Články se zapojují do sério-parallelních kombinací, čímž dojde k navýšení elektrického napětí i proudu. Spojení těchto článků má za následek vznik fotovoltaického panelu. [1][2][3]



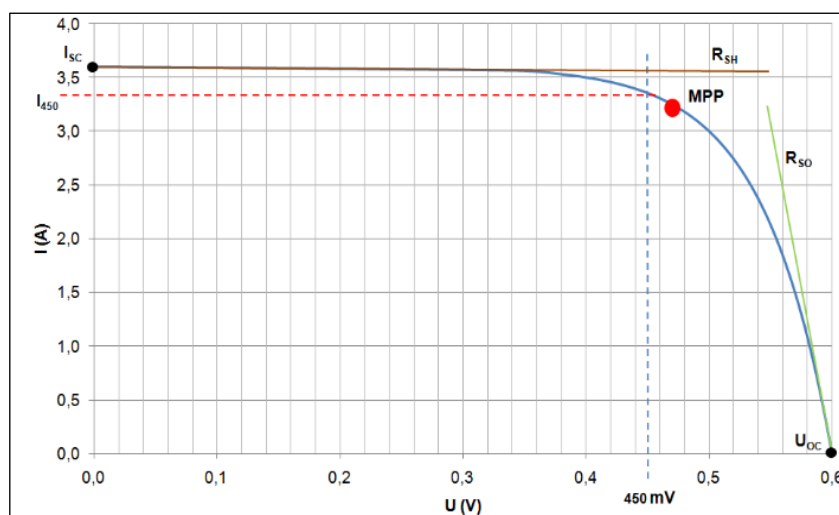
Obr. 1.2 Princip fotovoltaického jevu [9]

1.2 Elektrické parametry fotovoltaických článků

Pro možnost porovnávání FV článků či panelů mezi sebou je důležité porovnávat hodnoty za stejně definovaných podmínek. Z tohoto důvodu se zavedl zkušební standard vyjadřující zkoušení panelů při standardních testovacích podmínkách. Tento standard je označován zkratkou STC. Výsledné hodnoty takto zkoušených panelů jsou obsaženy v katalogových listech výrobců. Standardní testovací podmínky zahrnují zkoušení panelů při intenzitě osvětlení 1000 W/m^2 , teplotě $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a spektrálnímu složení světla, které odpovídá slunečnímu spektru AM 1.5 Global. Modelové spektrum AM 1.5 Global vyjadřuje spektrum slunečního záření prošlého 1,5násobnou tloušťkou zemské atmosféry. Některé parametry lze určit například pomocí VA charakteristiky.

1.2.1 Parametry odečtené z voltampérové charakteristiky

Pomocí VA charakteristiky fotovoltaických panelů lze popsat některé základní veličiny. Voltampérová charakteristika udává závislost proudu na napětí a má definované význačné body, které se využívají například při posuzování kvality fotočlánků nebo návrhu fotovoltaických zařízení a systémů.



Obr. 1.3 Voltampérová charakteristika fotovoltaického panelu s vyznačenými body MPP a I_{450} [5]

Ačkoliv VA charakteristika neumožňuje zjistit všechny parametry FV panelu, je zapotřebí si některé parametry dopočítat nebo zjistit z katalogových listů. [5][7]

1.2.1.1 Proud nakrátko - I_{sc}

Proud nakrátko jinak známý jako fotoelektrický proud je jedním ze základních parametrů FV článků. Hodnota proudu nakrátko bývá uvedena v katalogových listech nebo ji lze odečíst z VA charakteristiky. Definuje maximální proud, který je schopen FV článek při daném slunečním osvětlení dodávat. Velikost proudu je závislá na několika možných faktorech. Například intenzitě osvětlení, spektrální citlivosti FVČ, ploše FVČ a teplotě. Velikost proudu nakrátko může být v řádech desítek mA až jednotek A. [5][7]

1.2.1.2 Napětí naprázdno - U_{oc}

Napětí naprázdno lze charakterizovat jako maximální napětí na výstupních svorkách FV článku bez připojené zátěže za působení dané teploty a intenzity záření. Neprochází zde žádný proud. V případě monokrystalických článků se toto napětí pohybuje kolem hodnoty 0,6 V. [5]

1.2.1.3 Pracovní bod - PB

Pracovní bod lze definovat jako bod ležící na VA charakteristice FV článku. Tento bod charakterizuje aktuální stav, ve kterém FV článek pracuje. Poloha bodu je určena vlastnostmi spotřebiče a měla by být shodná s pozicí bodu maximálního výkonu M_{PP} . V případě, že je bod shodný s bodem U_{OC} a I_{SC} , pak je výkon dodávaný článkem nulový. Pracovní bod může být výrazně ovlivněn i teplotou, která se pak projeví v jeho výsledné poloze. Příkladem může být déle trvající intenzita záření v kombinaci s bezvětřím, kdy teplota vzduchu dosahuje hodnot $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, a to má za následek zvýšení povrchové teploty FV článku až na hodnotu $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tento fakt se projeví ve změně elektrických vlastností článku, které vedou ke snížení svorkového napětí na zátěžové charakteristice. Snížením svorkového napětí dojde ke zmenšení velikosti dodávaného výkonu do zátěže, následně ke zvětšení ztrát. Tyto ztráty se mohou vyšplhat až na 75% z dosažitelné denní výroby. Pro kompenzaci tohoto jevu je používán optimalizační člen pracující na principu řízení optimálního odporu zátěže nebo DC/DC měniče. [5][7]

1.2.1.4 Bod maximálního výkonu – M_{PP}

Bod maximálního výkonu je bod na VA charakteristice, ve kterém dosahuje FV článek maximálního výkonu. Bod M_{PP} je vyjádřen prostřednictvím napěťové a proudové souřadnice VA charakteristiky s indexem m. [5][7]

- U_m – napětí, při kterém dodává FVČ maximální výkon
- I_m – proud, při kterém dodává FVČ maximální výkon
- R_m – vnitřní odpor FVČ, při kterém dodává FVČ maximální výkon
- P_m – maximální výkon, bod se nachází přibližně uprostřed ohybu VA charakteristiky

1.2.1.5 Proud I_{450}

Proud I_{450} je proud protékající článkem při velikosti napětí 450 mV . Určení tohoto proudu se provádí z důvodu bližšího určení polohy bodu maximálního výkonu M_{PP} . [5]

1.2.1.6 Fill Factor – FF

Parametr Fill Factor reprezentuje poměr mezi maximálním výkonem a výkonem daným napětím naprázdno U_{OC} a proudem nakrátko I_{SC} . Jeho velikost je závislá na morfologii materiálu, odporu aktivní polovodičové vrstvy a na kvalitě kontaktů. Tento parametr je označován také jako činitel naplnění. V ideálním případě by měl být roven jedné, ale v praxi se k této hodnotě pouze přibližuje. Vyšší hodnota tohoto parametru definuje vyšší dodávaný výkon do zátěže fotovoltaickým článkem. [5][7]

$$FF = \frac{U_m * I_m}{U_{OC} * I_{SC}} \quad [-] \quad (1.2)$$

Kde U_m – napětí, při kterém FVČ dodává maximální výkon [V]

I_m – proud, při kterém FVČ dodává maximální výkon [A]

U_{OC} – napětí naprázdno [V]

I_{SC} – proud nakrátko [A]

1.2.1.7 Účinnost fotovoltaického článku – η

Tento parametr určuje účinnost přeměny slunečního záření fotovoltaickým článkem, který je ovlivněn vlastnostmi materiálu, ze kterých je článek vyroben. Zvolený materiál má podstatný vliv na spektrální citlivost, resp. rozložení citlivosti na dopadající záření tak, že pomocí materiálu lze definovat, jaká vlnová délka bude v článku využívána s největší účinností. [5][7]

$$\eta = \frac{P_m}{P_{rad}} = \frac{P_m}{E * A_C} \quad [\%] \quad (1.3)$$

Kde P_m – maximální výkon, který je schopen FVČ dodávat [W]

P_{rad} – výkon dopadajícího záření [W]

E – intenzita osvětlení při STC [W/m^2]

A_C – celková plocha FVČ [m^2]

1.2.1.8 Sériový odpor – R_{SO}

Parametr sériového odporu reprezentuje odpor v kontaktech, přívodech a obecně odpor polovodičového materiálu tvořící hlavní část fotovoltaického článku. V ideálním případě je hodnota sériového odporu rovna nule, ve skutečnosti je to však vyloučené. V závislosti na velikosti odporu se bude zvyšovat úbytek napětí na tomto odporu a to má za následek zmenšení

svorkového napětí článku. V grafické závislosti VA křivky se změna hodnoty odporu R_{SO} projevuje mírným sklonem části své charakteristiky v oblasti za ohybem výslednice. [5][7]

$$R_{SO} = \frac{\Delta U_{SO}}{\Delta I_{SO}} \quad [\Omega] \quad (1.4)$$

Kde U_{SO} – rozdíl dvou naměřených hodnot napětí v lineární oblasti za ohybem VA charakteristiky [V]

I_{SO} – rozdíl dvou naměřených hodnot proudu v lineární oblasti za ohybem VA charakteristiky [A]

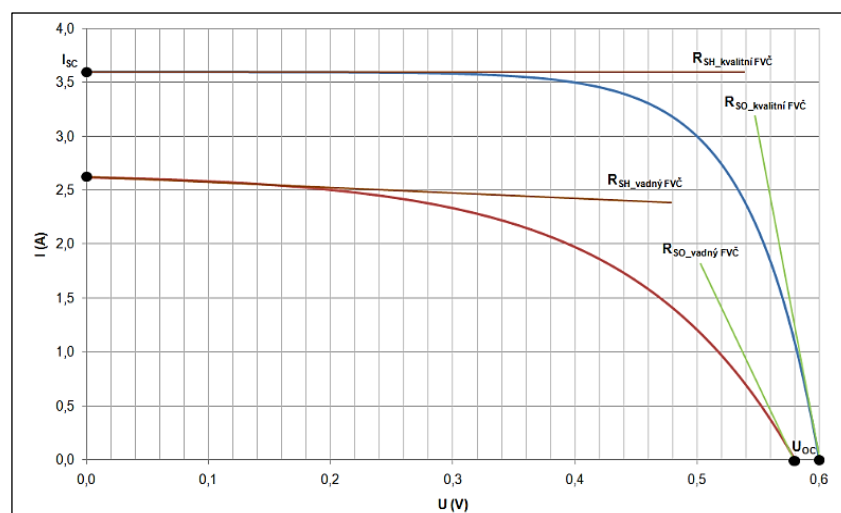
1.2.1.9 Paralelní odpor – R_{SH}

Paralelní odpor bývá často označován jako svodový odpor. Jeho hodnota by se v ideálním případě měla blížit nekonečnu, ale ve skutečnosti nelze takové hodnoty dosáhnout. Pokud panel vykazuje nízké hodnoty paralelního odporu, může se jednat o vadný fotovoltaický článek. Nízké hodnoty paralelního odporu mohou znamenat defekty krystalové mřížky či svodový proud na okrajích článku. Fotovoltaický článek se projevuje, jako kdyby byl vnitřně zkratován. Paralelní odpor má také značný vliv na VA charakteristiku. Podobně jako v případě sériového odporu i zde dochází k mírnému sklonu části charakteristiky v oblasti před ohybem výslednice.

$$R_{SH} = \frac{\Delta U_{SH}}{\Delta I_{SH}} \quad [\Omega] \quad (1.5)$$

Kde U_{SH} – rozdíl dvou naměřených hodnot napětí v lineární oblasti před ohybem VA charakteristiky [V]

I_{SH} – rozdíl dvou naměřených hodnot proudu v lineární oblasti před ohybem VA charakteristiky [A]



Obr. 1.4 VA charakteristiky fotovoltaického panelu se zobrazením paralelních a sériových odporů [5]

1.3 Další faktory ovlivňující účinnost fotovoltaických článků

1.3.1 Teplota - t

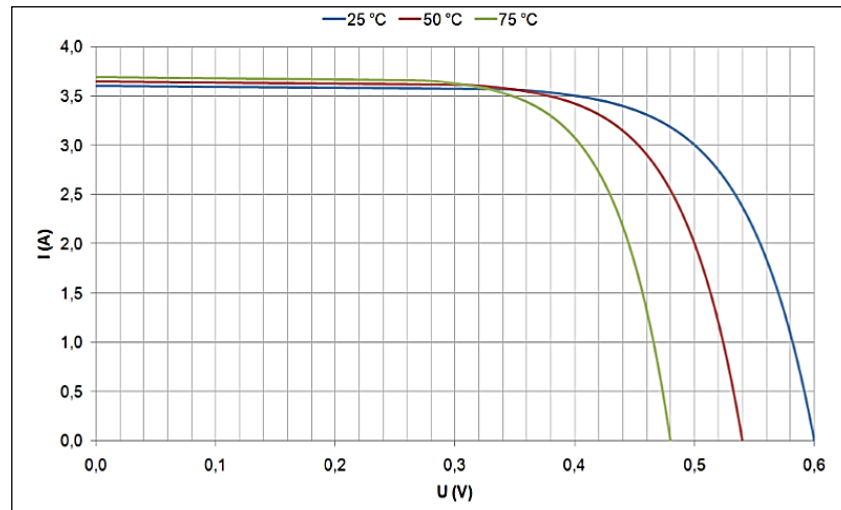
Výrazným vlivem se na provozu fotovoltaických článků podílí teplota. S rostoucí teplotou dochází k mírnému vzrůstu proudu nakrátko I_{SC} a k podstatnému poklesu velikosti napětí naprázdno U_{OC} . Poklesem napětí U_{OC} dochází ke změně velikosti napětí U_m a posuvu polohy pracovního bodu. Výsledný projev pak negativně ovlivňuje snížení maximálního výkonu a také snížení účinnosti článku. Pro názornost přikládám tabulku zobrazující změny parametrů v závislosti na změně teploty. [5]

Tab. 1.1 Tabulka procentuálních změn v závislosti na teplotě parametrů fotovoltaických panelů

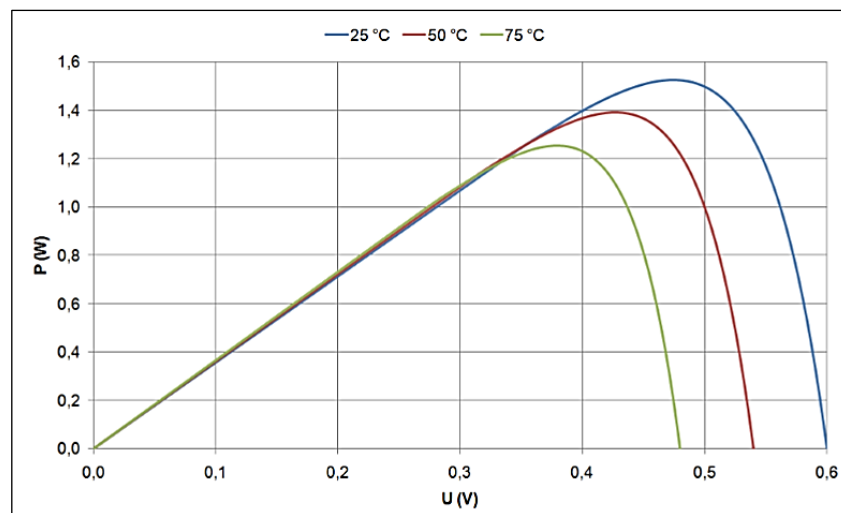
Parametr	Procentuální změna parametrů při přírůstku teploty o 1°C [%/°C]
I_{SC}	+ 0,05
U_{OC}	- 0,38
FF	- 0,20
R_{SO}	+ 0,32
R_{SH}	- 0,70

Z uvedené tabulky, charakterizující procentuální změnu parametrů fotovoltaických článků v závislosti na stupni Celsia, lze vidět přírůstkové a úbytkové hodnoty parametrů. Parametr proudu nakrátko I_{SC} a sériového odporu R_{SO} se úměrně zvýší v závislosti na vzrůstu teploty. U zbylých parametrů, tedy napětí naprázdno U_{OC} , činitele plnění FF a paralelního odporu R_{SH} dochází k poklesu hodnot při vzrůstající teplotě.

Výsledné projevy rozdílné teploty lze názorně předvést na uvedené VA a výkonové charakteristice.



Obr. 1.5 Voltampérové charakteristiky fotovoltaického panelu pro různé působení teplot [5]

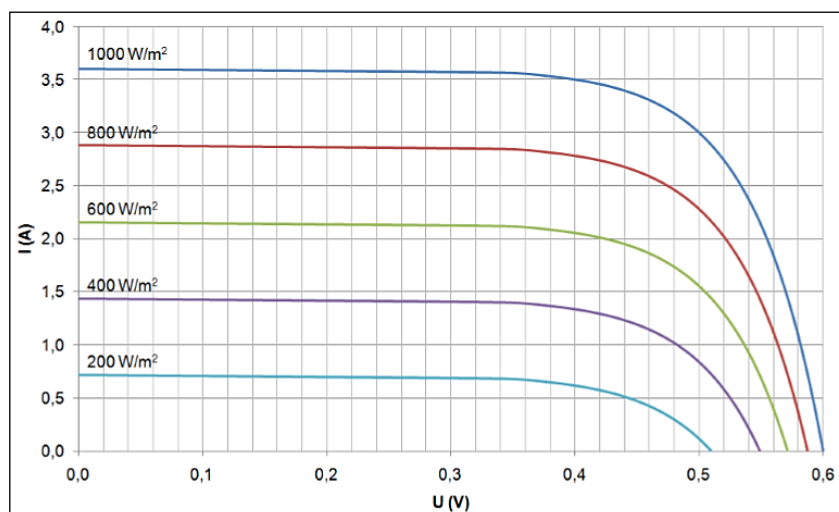


Obr. 1.6 Výkonové charakteristiky fotovoltaického panelu pro různé působení teplot [5]

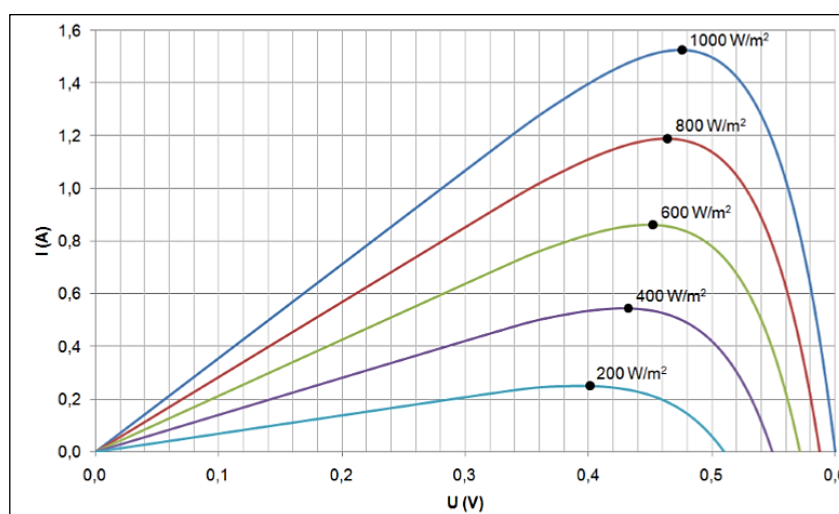
Prozkoumáním charakteristik lze vypožorovat, že tvrzení o poklesu účinnosti a tím pádem i dodávaného výkonu při působení vyšší teploty je pravdivé. Lze tedy říci, že panel umístěný v chladném prostředí by měl generovat vyšší výkon a měl by pracovat s vyšší účinností. V případě provozování panelů v zimních měsících by dle tohoto tvrzení měly panely generovat více elektrické energie. To však není pravdou, jelikož zde podstatnou úlohu hrají i jiné faktory. V tomto případě zejména velikost dopadající intenzity slunečního záření. Ta je v letních měsících tak výrazná, že panely během provozu generují více elektrické energie.

1.3.2 Intenzita slunečního záření – E

Podobně jako v případě ovlivnění elektrických parametrů i činnosti fotovoltaického článku teplotou, má zde mnohem větší podíl intenzita slunečního záření. Ta má ve své podstatě nejvýraznější vliv na účinnost fotovoltaického článku. Vlivem dopadajícího světla na plochu článku dochází k uvolňování elektronů z krystalické mřížky, které dokáží vést elektrický proud. Projev velikosti intenzity je takový, že dopadající intenzita slunečního záření na plochu panelu je přímo úměrná proudu nakrátko I_{SC} . V případě, že bude panel osvětlen poloviční intenzitou oproti referenční hodnotě, dojde k poklesu velikosti proudu nakrátko na polovinu z referenční hodnoty. Proud nakrátko I_{SC} , však není jediný parametr, který je vlivem působící intenzity ovlivněn. S rostoucí intenzitou záření dochází také k mírnému zvýšení velikosti napětí naprázdno U_{OC} a k posuvu pracovního bodu po křivce VA charakteristiky. [5][7]



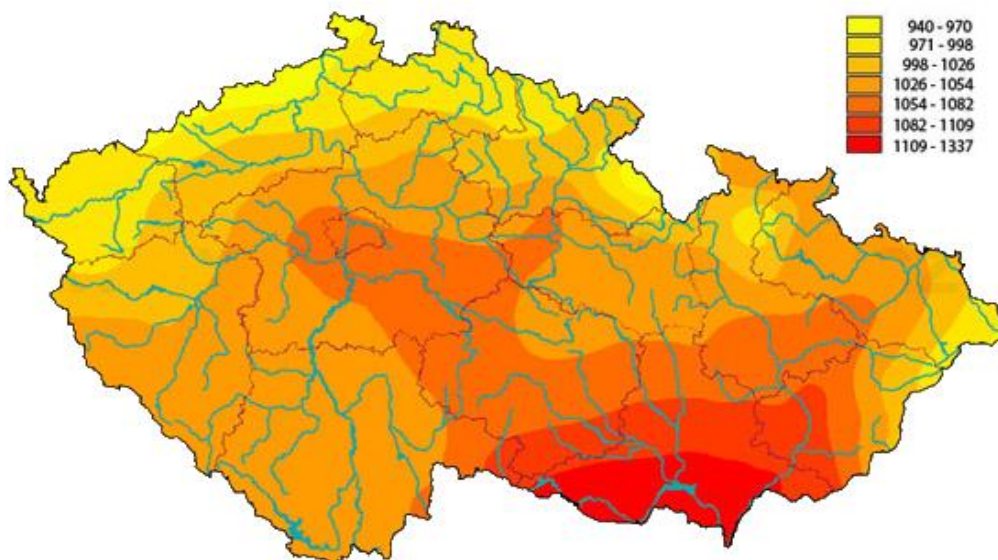
Obr. 1.7 VA charakteristiky fotovoltaického panelu pro různé intenzity záření [5]



Obr. 1.8 Výkonové charakteristiky fotovoltaického panelu pro různé intenzity záření [5]

V obou případech přiložených charakteristik si lze povšimnout projevu vyšších dopadajících intenzit. S vyšší dopadající intenzitou slunečního záření je panel schopen generovat větší výkon.

Velikost dopadající intenzity slunečního záření na povrch zemské atmosféry odpovídá hodnotě o velikosti 1367 W/m^2 , tato hodnota je označována pojmem solární konstanta. Rozloha České republiky je situována v severní polokouli ve středu evropského světadílu. Z tohoto pohledu lze usoudit, že zde není tak vysoký potenciál využitelnosti jako v zemích nacházejících se v okolí rovníku. Využitelnost potenciálu sluneční energie v oblasti České republiky lze objektivně prozkoumat z mapy globálního slunečního záření (Obr. 1.9). Tato mapa je založena a vychází z dlouhodobého meteorologického měření. Pokud se zaměříme na konkrétní hodnoty, pak celková doba slunečního svitu se v ČR pohybuje v rozmezí 1400–1700 hodin za rok a hodnoty intenzity slunečního záření se pohybují v intervalu 940 až 1337 kWh/m^2 . [1][2][3]



Obr. 1.9 Roční úhrn globálního slunečního záření a trvání slunečního svitu na území České republiky [8]

Z mapy znázorňující roční úhrn globálního slunečního záření lze jednoznačně stanovit, že nejefektivněji lze fotovoltaické či fototermické systémy využít v oblastech jižní Moravy a v oblastech Středočeského kraje. Naopak je tomu v severních oblastech České republiky, kde je výrazný pokles intenzity slunečního záření.

2 Analýza vlastností a chování fotovoltaických panelů

Hlavním úkolem této diplomové práce je zaměřit se na průzkum chování předložených fotovoltaických panelů z hlediska vlivu působení různých klimatických podmínek při jejich ohřevu a chladnutí. Panely určené pro zkoumání byly vybrány ve spolupráci s vedoucím diplomové práce tak, aby byla zajištěna variabilita jejich parametrů a vlastností. Celkem bylo pro testování zvoleno pět druhů panelů.

Vybrané druhy fotovoltaických panelů pro měření:

- **Calyxo CX60** – technologie článků CdTe, skleněná konstrukce
- **Q.Cells Q.SMART UF L 95** – technologie článků CIGS, skleněná konstrukce
- **Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B** – technologie článků CIGS, flexibilní konstrukční provedení
- **Q.Cells SL1-80F** – technologie článků CIGS, skleněná konstrukce s kovovým rámováním
- **Solartec SI 72-110 / 24 110WP** – technologie monokrystalických článků, skleněná konstrukce s kovovým rámováním

Pro přiblížení informací a vlastností jednotlivých druhů panelů přikládám tabulku s typickými hodnotami udávanými výrobcí. Všechny znázorněné hodnoty jsou stanoveny na základě jejich měření při standardních testovacích podmínkách (STC), tj. intenzita záření o velikosti 1000 W/m^2 , spektrum AM1,5 Global a teplota panelu $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tab. 2.1 Přehled parametrů testovaných fotovoltaických panelů

Typ panelu	Calyxo CX60	Q.Cells Q.SMART UF L 95	Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B	Q.Cells SL1-80F	Solartec SI 72-110 / 24 110WP
technologie	CdTe	CIGS	CIGS	CIGS	monokrystal Si
rozměry [mm]	1200 x 600	1190 x 789,5	1032 x 330	1190 x 630	1310 x 654
P_{\max} [W]	60	95	24	80	110
I_{sc} [A]	1,15	1,68	1,68	1,6	3,38
V_{oc} [V]	88,9	89	24,6	72,8	43,2
I_{mp} [A]	0,96	1,43	1,45	1,42	3,16
V_{mp} [A]	63,9	66,4	16,7	57,7	34,8
η [%]	8,33	10,11	7,04	10,5	12,84

2.1 Popis místa měření

Měření a testování všech fotovoltaických panelů bylo prováděno na střeše v osmém poschodí budovy Fakulty elektrotechnické ZČU v Plzni. Budova je situována blízko vodní nádrže České údolí a její souřadnice odpovídají hodnotám 49.7239422N zeměpisné šířky a 13.3495939E zeměpisné délky.

Pro ohřev jednotlivých panelů jsem využil volné plochy střechy, na kterou jsem pro každé měření umístil ručně vyrobenou konstrukci. Tu jsem navrhl a složil z regálových prvků výrobce Dynarax. Cílem tohoto snažení bylo vytvořit opěrnou plochu se sklonem 35° pro ohřev panelů a zároveň jsem se snažil minimalizovat vliv zkreslení hodnot při migraci ohřátého panelu do vnitřní části budovy. Ve vnitřním prostoru byl připraven plastový podstavec, na který byl panel odložen. Při návrhu jsem zvažoval i možnost ovlivnění jednotlivých měření ohřevem samotné kovové konstrukce, a proto jsem jako izolační prvek dotykových ploch zvolil termoizolační trubice Mirelon a kartonový podklad.



Obr. 2.1 Vytvořená konstrukce z prvků Dynarax pro měření FV panelů

2.2 Měření vlastností a teplotních charakteristik FVP

Pro měření vlastností fotovoltaických panelů jsem využíval tři hlavní měřicí přístroje. Snímání povrchové teploty panelu jsem prováděl pomocí zapůjčeného pyrometru Raytek Raynger ST (inventární číslo – 104175). Kontrolní ověřování teploty prostředí jsem zajistil anemometrem od výrobce Kane-May KM4003 (inventární číslo – 10436). Anemometr lze využít jako snímač teploty nebo rychlosti proudění vzduchu. Hlavním používaným přístrojem byl analyzátor s typovým označením I-V400 od firmy HT Instruments (inventární číslo – 501843), s jehož pomocí jsem zjišťoval veškeré měřené údaje pro daný panel.

Pyrometr značky Raytek Raynger ST je vhodným přístrojem pro snímání povrchové teploty z různých druhů těles. Přístroj pracuje na principu bezkontaktního měření povrchové teploty a hodnoty dokáže zobrazovat v jednotkách stupně Celsia nebo Fahrenheita. Při měření je důležité vhodně zvolit bod měření a dodržovat správnou vzdálenost od měřené plochy. Přesnost přístroje je stanovena $\pm 1\%$ z hodnoty nebo $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, podle toho, co je větší, dále $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ při teplotě -18 do $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ při teplotě -26 do $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ při teplotě -32 až $26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Spektrální citlivost je určena jmenovitou hodnotou $7 - 18\mu\text{m}$ (termočlankový detektor). Citlivost tohoto přístroje je $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a dokáže měřit v rozmezí teplot -32 až $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Emisivita přístroje je přednastavena výrobcem na hodnotu $0,95$ a lze s ním pracovat v rozsahu okolních teplot 0 až $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr. 2.2 Bezkontaktní měřič teploty Raytek Raynger ST

Teplotní anemometr KM4003 od výrobce Kane-May je zařízení, které lze použít pro odečet hodnot teploty a rychlosti proudění vzduchu. Měřené hodnoty teplot zařízení zobrazuje ve stupních Celsia a hodnoty rychlosti proudění vzduchu jsou cejchovány v metrech za sekundu. Přesnost přístroje pro měření teploty je výrobcem stanovena na $\pm 0,7\% \pm 1^{\circ}$ (teplota $> -10^{\circ}\text{C}$). V případě měření proudění vzduchu je přesnost stanovena v souvislosti s velikostí rychlosti proudění na $\pm 5\% \pm 0,1$ (od 1 do 30 m/s) a $\pm 5\% \pm 0,1$ (od 0 do 1 m/s). Přístroj lze použít pro měření teplot 0 až $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a jeho citlivost je definována $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro teploty a $0,1\text{ m/s}$ pro rychlost proudění.



Obr. 2.3 Teplotní anemometr Kane-May KM4003

Analyzátor HT I-V400 umožňuje proměření proudových, napěťových a výkonových parametrů panelu. Dále umožňuje provádět proměření VA charakteristik včetně rychlého módu, zobrazení naměřených hodnot i průběhů charakteristik na displeji přístroje. Pomocí externích připojovacích modulů lze zaznamenávat i teplotu povrchu a intenzitu dopadajícího záření. Všechna naměřená data je možné uložit do interní paměti přístroje a lze je pomocí doprovodného softwarového vybavení a USB kabelu přenést do počítače. Přístroj lze využít pro měření samostatných modulů, ale i pro měření více spojených panelů do série. Nesmí však být překročen napěťový rozsah v rozmezí hodnot 0,5 – 1000 V a proudový rozsah v intervalu 0,1 – 10 A. Překročením těchto limitů může dojít k poškození přístroje.



Obr. 2.4 Analyzátor I-V400 od výrobce HT instruments [10]

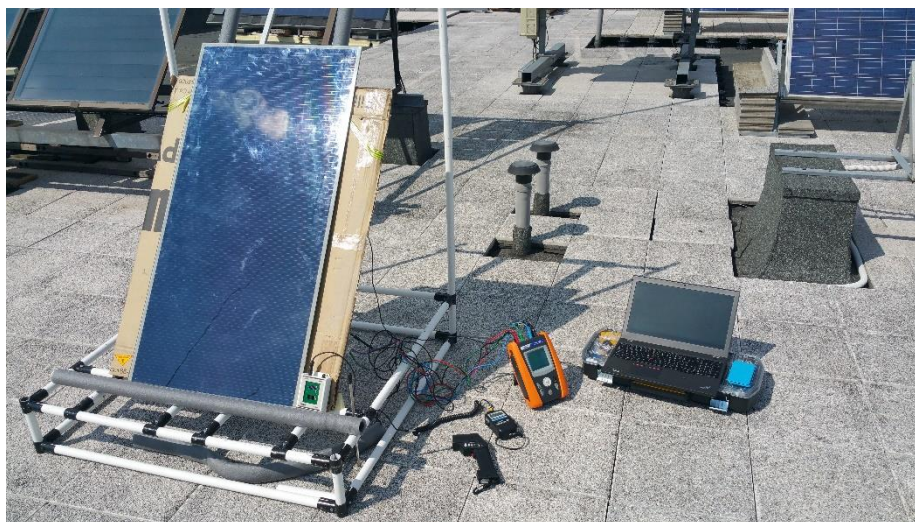
Měřicí analyzátor byl připojován k panelům pomocí čtyř vodičů s rozdílnými barvami. Oba dva páry byly připojeny do zdírek analyzátoru označenými písmeny C a P. Pár připojený do zdírek označených písmenem C je určen pro měření proudových hodnot. Naopak pár vodičů

připojených do zdírek P je určen pro měření napěťových hodnot. Dále byl k přístroji připojen snímač teploty a snímač dopadající intenzity slunečního záření. Snímač teploty jsem upevnil na zadní stranu panelu pomocí oboustranné lepicí pásky a snímač intenzity slunečního záření jsem přiložil na plochu se stejným sklonem jako byl umístěn proměřovaný panel.

Nejprve jsem si připravil a teplotně odizoloval opěrnou konstrukci a následně připravil vodiče k měřicímu analyzátoru. Poté jsem se snažil v co nejkratším intervalu přenést fotovoltaický panel z vnitřní části budovy a umístit jej na opěrnou konstrukci, dále připojit měřicí analyzátor k panelu a započít s měřením. Při každém měření jsem dbal na rychlost a efektivnost z důvodu zamezení možných vlivů, které by se mohly projevit a výsledek měření negativně ovlivnit. Zde by mohlo dojít k pozvolnému ohřevu v důsledku pomalého přenosu panelu a při připojování přístroje.

Samotné měření jsem prováděl v časovém intervalu jedné minuty, ve kterém jsem odečítal hodnoty povrchové teploty pomocí pyrometru a prováděl měření VA charakteristik za pomoci analyzátoru I-V 400. V každém provedeném kroku jsem si poznamenal teplotu prostředí a naměřené hodnoty z analyzátoru do vytvořené tabulky. Pro minimalizování chybovosti měření povrchové teploty pomocí pyrometru, je důležité snímat teplotu ve stejné vzdálenosti a v jednom definovaném bodě panelu. Pyrometr disponuje krátkodobou pamětí poslední změřené hodnoty, a proto je nutné věnovat pozornost odečtu teploty při každém následujícím měření. Měření ohřevu panelu jsem ukončil na základě ustálené teploty u konečných hodnot charakteristiky panelu při působení daných podmínek počasí. Po dosažení maximální teploty panelu docházelo buďto k lehkým poklesům, nebo opakujícím se hodnotám maximální dosažené teploty.

V návaznosti na proces ohřevu jsem panel společně s měřicími přístroji přenesl v co nejkratším čase do vnitřní části budovy, uložil jej na předem připravený plastový podnos a započal s měřením ochlazování. Měření jsem prováděl obdobně jako při procesu ohřevu. V minutovém intervalu jsem v počátku charakteristiky odečítal povrchové teploty za pomoci pyrometru a poznamenával si hodnoty napětí naprázdno a teploty panelu zobrazené na displeji připojeného analyzátoru I-V 400. Vzhledem ke skutečnosti, že v prostoru, kde probíhalo měření byla dopadající intenzita slunečního záření na plochu panelu nulová, nebylo možné proměřit voltampérové charakteristiky.



Obr. 2.5 Měření ohřevu FV panelu Calxyo CX60 umístěného na vytvořené konstrukci Dynarax



Obr. 2.6 Měření ohřevu FV panelu Solartec SI 72-110 / 24 110WP s použitím stínících kartonových ploch



Obr. 2.7 Měření ochlazování FV panelu Q.Cells SL1-80F uvnitř budovy ZČU FEL

Jak již bylo zmíněno, k měření bylo zvoleno pět druhů fotovoltaických panelů. Panely jsem cíleně proměřoval při odlišných podmínkách počasí v průběhu jarních, letních, podzimních a zimních měsíců. Při měření ohřevu s nízkou dopadající intenzitou slunečního záření v určitých dnech jsem byl nucen provést i odstínění panelu kartonovými stěnami, abych potlačil vliv proudícího vzduchu. Nepříjemné bylo zjištění, že při měření panelu Q.Cells SL1-80F v tomto roce se mi nepodařilo získat žádné hodnoty. Panel byl pravděpodobně vlivem mechanického působení při manipulaci poškozen. Prvotní myšlenka spočívala v nedostačujících provozních podmínkách. Tento vliv jsem nakonec vyloučil přeměřením panelu za obdobných podmínek z dřívějších měření.

U dvou vybraných panelů jsem provedl kontrolní měření teplotních charakteristik uvnitř budovy, z důvodu zajištění konstantních podmínek. Měření probíhalo za stálé teploty, minimálního až nulového proudění vzduchu. Cílem kontrolního měření bylo zjištění průběhu a chování panelů při zanedbání působících vlivů v podobě podmínek počasí.



Obr. 2.8 Kontrolní měření ohřevu FV panelu Solartec SI 72-110 / 24 110WP uvnitř budovy ZČU FEL

Ze všech získaných hodnot jsem poté určoval koeficient přírůstku teploty při ohřevu daného typu panelu. Vyjma tohoto určení jsem zkoumal různé průběhy naměřených hodnot v různých závislostech za cílem sledování charakteristických rysů chování panelů. Zvolené metody se neukázaly jako vhodný způsob sledování.

2.3 Určení koeficientu přírůstku a úbytku teploty

Koeficient přírůstku teploty jsem určil sledováním průběhu teplotní závislosti ohřívajícího se panelu, a to odečtením minimální a maximální dosažené teploty za určitý čas, podle níže uvedeného vzorce. Stejnou metodu jsem aplikoval pro teplotní charakteristiky ochlazování panelu.

$$K_{tep} = \frac{t_{max} - t_{min}}{t_{t_{max}} - t_{t_{min}}} \text{ [}^\circ\text{C / min]} \quad (2.1)$$

Kde K_{tep} – koeficient teplotního přírůstku / úbytku [$^\circ\text{C}/\text{min}$]

t_{max} – maximální dosažená teplota panelu [$^\circ\text{C}$]

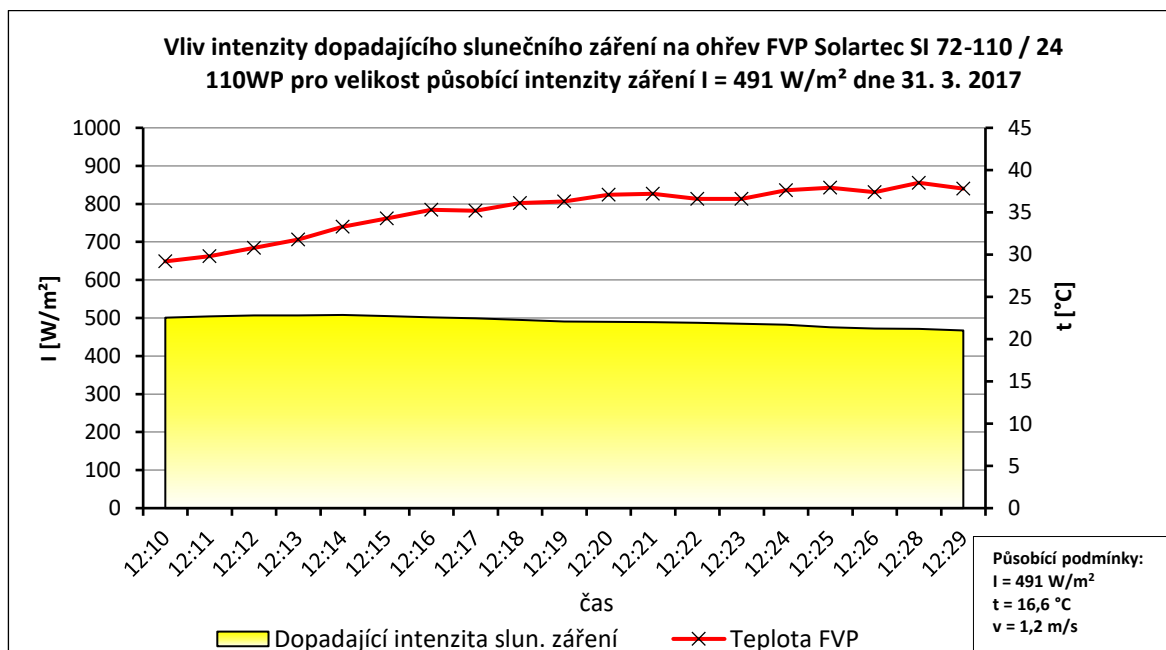
t_{min} – minimální teplota panelu [$^\circ\text{C}$]

$t_{t_{max}}$ – doba, za kterou se panel ohřál na t_{max} [min]

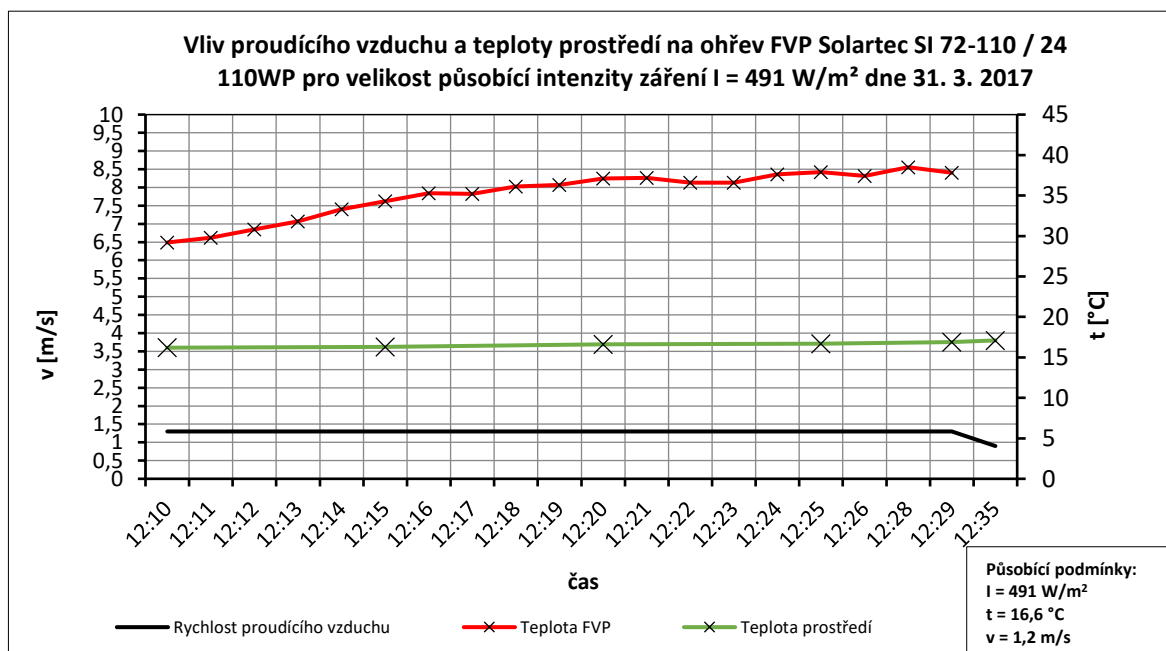
$t_{t_{min}}$ – časový údaj v počátku ohřevu panelu [min]

Aplikací tohoto vztahu na všechna provedená měření při různých intenzitách dopadajícího slunečního záření jsem získal tabulky koeficientů pro všechny typy testovaných panelů. Dle teoretického předpokladu by s větší intenzitou záření mělo dojít k rychlejšímu ohřevu panelu na určitou teplotu, která je do jisté míry limitována působícími provozními podmínkami. Předpokládaným výsledkem by měla být závislost vzrůstajícího koeficientu s rostoucí intenzitou dopadajícího slunečního záření. Proto jsem vypočtené hodnoty podrobil grafické analýze, ze které jsem následně zjistil výsledné průběhy závislostí koeficientu. Jelikož měření neprobíhalo vždy za stejných provozních podmínek, bylo zapotřebí prozkoumat každé měření detailně v souvislosti s působícími vlivy. Vytvořil jsem proto několik grafických závislostí pro porovnání působících činitelů na základě dostupných dat z meteostanice a z naměřených hodnot intenzit dopadajícího záření na plochu panelu. U velmi rozdílných hodnot působících podmínek nebo v případě výrazně ovlivňujících faktorů, jsem provedl korekci hodnot koeficientů. Jako příklad výrazně ovlivňujících faktorů měření uvádím výrazné působení větru a proměnnou intenzitu slunečního záření. Rozdílnými podmínkami je myšleno působení nízké nebo vysoké teploty prostředí a vlivu proudícího větru vůči ostatním měřením. Touto komparací dat jsem dokázal vyloučit odlišné a zavádějící vypočtené hodnoty z naměřených charakteristik. Pro takto upravené hodnoty jsem poté provedl proložení dat polynomickou regresí, jež je založena na matematické metodě nejmenších čtverců a pomocí ní dopočítal hodnoty koeficientů pro interval působící intenzity slunečního záření od 0 do 1000 W/m².

Měření teplotní závislosti fotovoltaického panelu za ideálního působení podmínek je zobrazeno na níže uvedených obrázcích (Obr. 2.9, Obr. 2.10). Z grafických závislostí je vidět nekolísající působení provozních podmínek, tedy téměř neměnné hodnoty intenzity slunečního záření, teploty prostředí a konstantní průběh vlivu působení větru po dobu měření teplotní charakteristiky ohřevu.

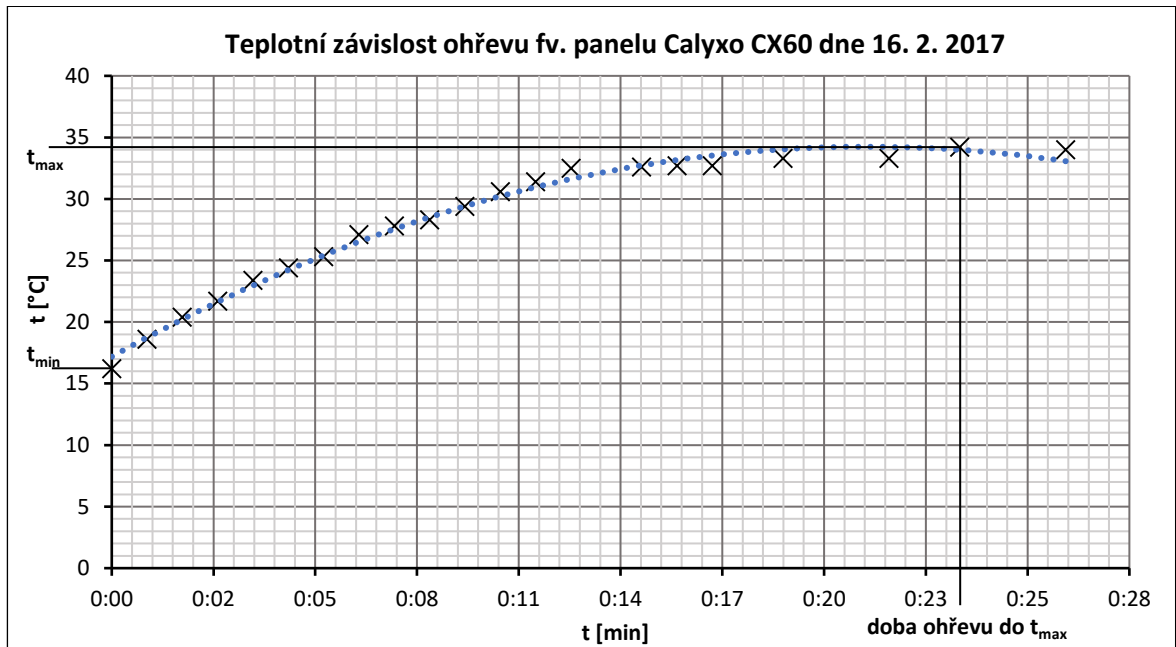


Obr. 2.9 Měření teplotní charakteristiky ohřevu fotovoltaického panelu Solartec SI 72-110 / 24 110WP při ideálním působení intenzity slunečního záření

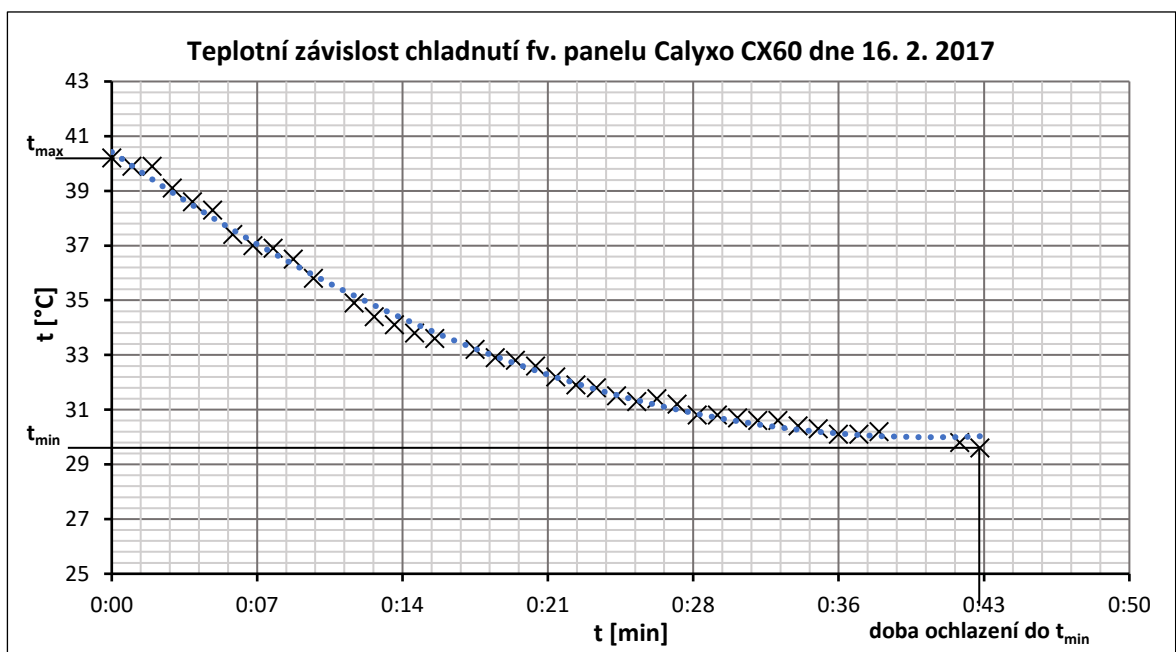


Obr. 2.10 Měření teplotní charakteristiky ohřevu fotovoltaického panelu Solartec SI 72-110 / 24 110WP při ideálním působení teploty prostředí a proudění vzduchu

Na níže uvedených charakteristikách přikládám ukázkou stanovení rozdílu hodnot teploty a času graficko-početní metodou pro ohřev a chladnutí panelu. Pomocí odečtených hodnot z grafických závislostí jsem poté vypočítal hodnoty koeficientů. Pro názornost bude lepší věnovat každému panelu vlastní podkapitulu.



Obr. 2.11 Teplotní závislost ohřevu fotovoltaického panelu Calyxo CX60



Obr. 2.12 Teplotní závislost chladnutí fotovoltaického panelu Calyxo CX60

2.3.1 Fotovoltaický panel Calyxo CX60

Fotovoltaický panel Calyxo CX60 je panel s použitou technologií článků CdTe. Panel je specifický svým celoskleněným provedením. Tento panel se mi podařilo proměřit celkem osmkrát při různých podmínkách. Všechny hodnoty podmínek uvádím v následující tabulce s označením Tab. 2.2.

Tab. 2.2 Podmínky měření - FVP Calyxo CX60

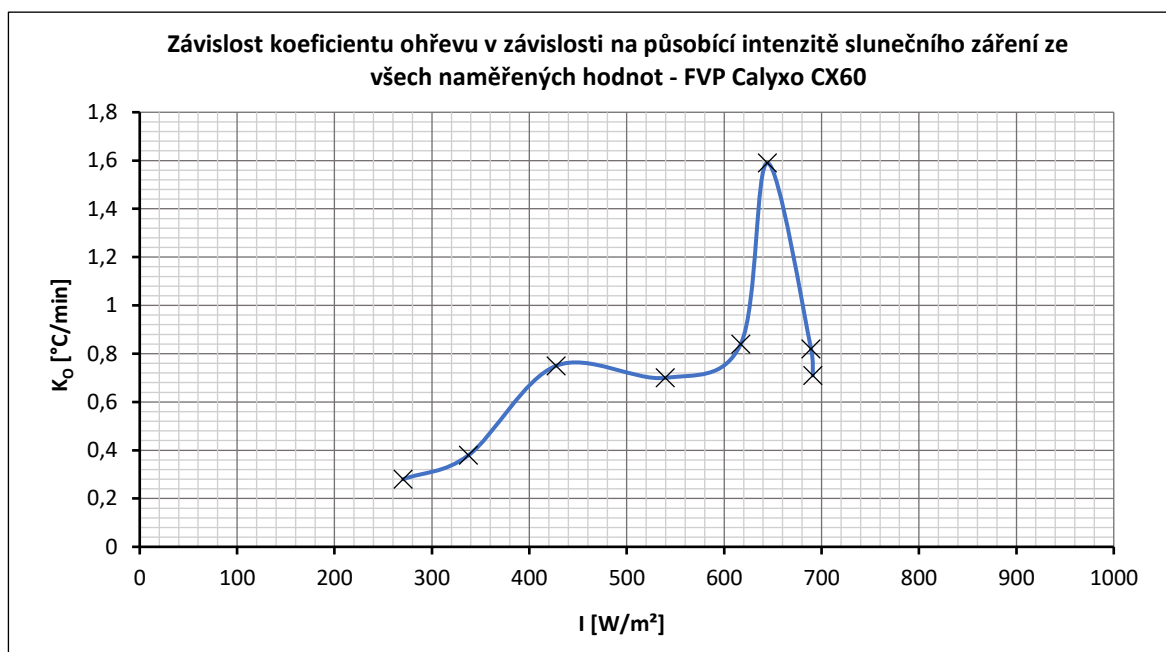
Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8
I [W/m ²]	270	337	427	539	617	644	689	691
vlhkost [%]	72,86	61,9	55,4	36,83	37,3	43	49,1	57,4
teplota - venku [°C]	25,7	15	10,9	22	27,3	24	21,85	7,5
rychlost proudění vzduchu [m/s]	0,7	1,7	2,4	2	4,2	0,9	4,9	0,8
tlak [hPa]	1017	1016	1029	1014	1009	1018	1013	1024
teplota - uvnitř [°C]	26,7	25,5	28,7	28,7	28	28,9	28,9	28,7

2.3.1.1 Vyhodnocení koeficientu ohřevu

Koeficienty ohřevu pro jednotlivá měření jsou uvedeny v Tab. 2.3. Kromě koeficientů jsou v tabulce uvedeny zprůměrované hodnoty dopadající intenzity slunečního záření, které dopadaly na panel při měření teplotních charakteristik. Dále zde uvádím počáteční hodnoty teploty před začátkem ohřevu a maximální dosažené teploty po ohřátí panelu. Lze si povšimnout, že nejnižší dosažená maximální hodnota teploty nastala při nejmenší působící intenzitě dopadajícího záření za dobu 25 minut ohřevu. Opačným příkladem, tedy nejvyšší dosažené teploty dosáhl panel při působící intenzitě o hodnotě $I = 644 \text{ W/m}^2$. Veškeré hodnoty budou dále detailně zkontrolovány a některé případně vyloučeny.

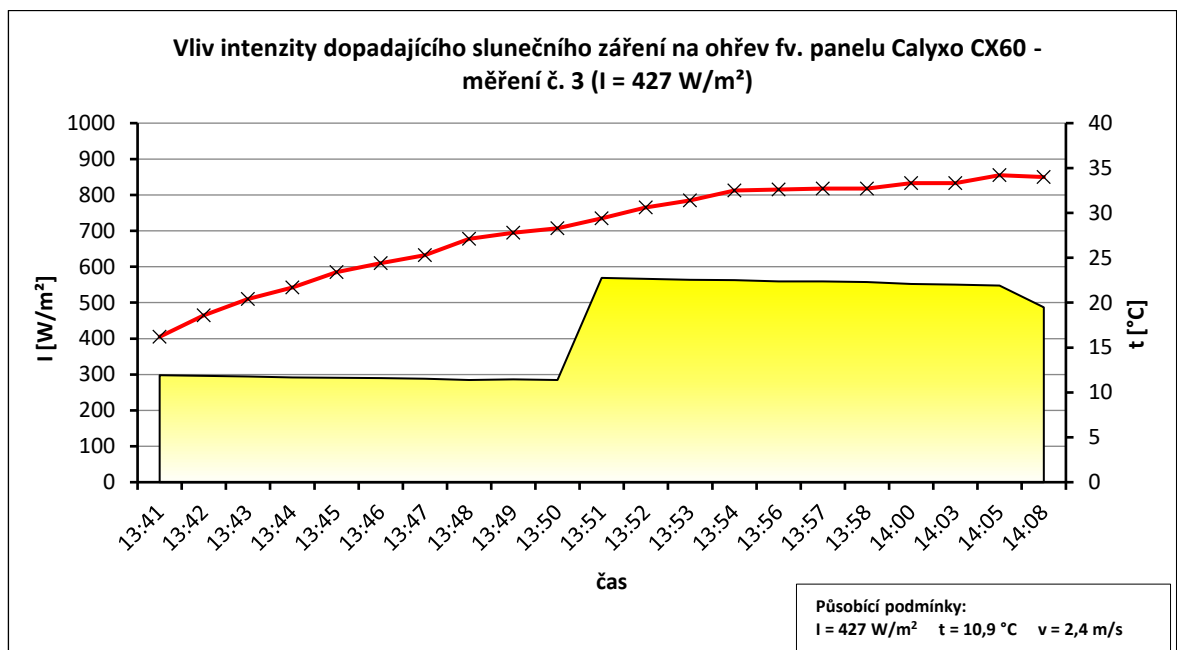
Tab. 2.3 Tabulka vypočtených koeficientů ohřevu ze všech naměřených hodnot panelu Calyxo CX60

fotovoltaický panel – Calyxo CX60								
Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8
I [W/m ²]	270	337	427	539	617	644	689	691
K [°C/min]	0,28	0,38	0,75	0,7	0,84	1,59	0,82	0,71
t _{max} [°C]	24,2	28,2	34,2	43,2	47,6	56,7	50,6	43,5
t _{min} [°C]	17,2	18,8	16,2	25,7	31,6	26,5	22,6	25,7
t [min]	25	25	24	25	19	19	34	25

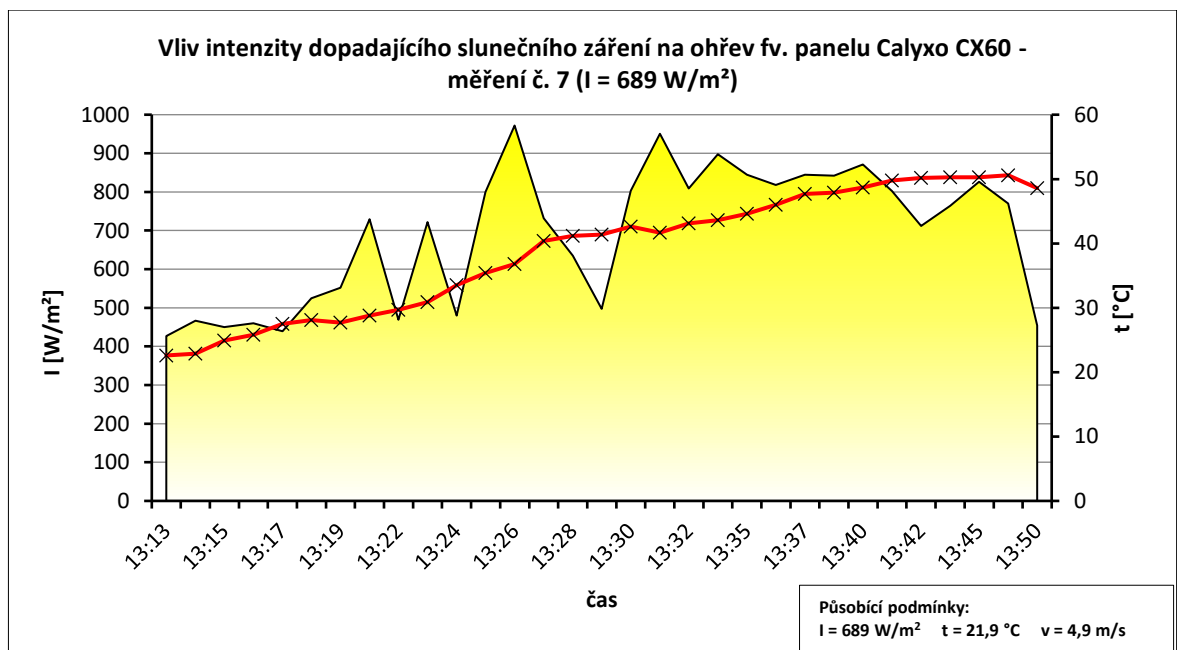


Obr. 2.13 Závislost koeficientu ohřevu na působící intenzitě slunečního záření pro všechny naměřené hodnoty - FVP Calyxo CX60

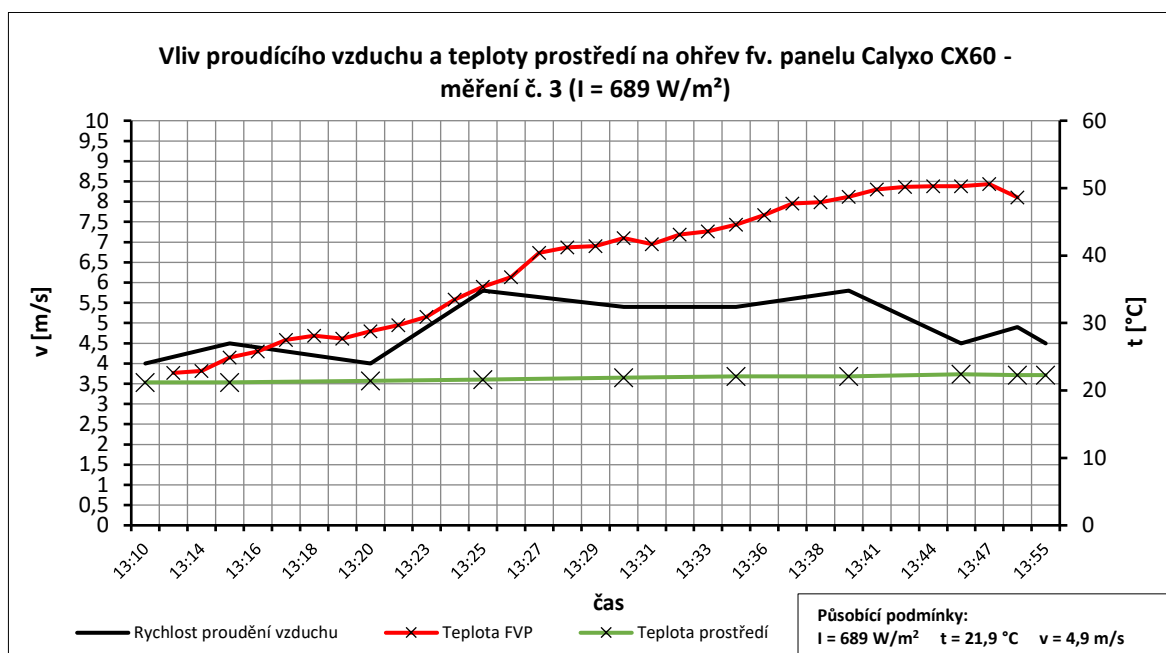
Z grafické závislosti je patrné, že křivka v určitých bodech vzrůstá a v jiných klesá. V tomto případě jsem se zaměřil na koeficienty z třetího, sedmého a osmého měření. Podrobnějším zkoumáním jsem tyto hodnoty vyloučil, jelikož nekořespondovaly s ostatními hodnotami. V případě velikosti koeficientu u třetího měření byl zaznamenán schod v působení dopadající intenzity. Tento jev nastal vyjasněním zatažené oblohy. Vypočtený koeficient ze sedmého měření jsem vyloučil na základě působení proměnlivé dopadající intenzity záření a vlivem vysokého proudění vzduchu, který se v době měření pohyboval v rozmezí hodnot 4 až 6 m/s. V tomto případě šlo jednoznačně o proměnlivou oblačnost a nepříznivé podmínky. Poslední hodnotu jsem byl nucen také vyřadit, z důvodu příliš nízké teploty prostředí. Osmé měření bylo prováděno při teplotě prostředí $7,5^{\circ}\text{C}$, zatímco ostatní měření byla prováděna při teplotách vyšších než 15°C . Tyto skutečnosti dle mého názoru negativně ovlivňují výslednou hodnotu koeficientu a rád bych je demonstroval na přiložených závislostech.



Obr. 2.14 Závislost teplotní charakteristiky ohřevu při FVP Calyxo CX60 při působení dopadající intenzity záření – defekt: schodový přírůstek intenzity



Obr. 2.15 Závislost teplotní charakteristiky ohřevu FVP Calyxo CX60 při působení dopadající intenzity záření – defekt: příliš proměnlivé hodnoty intenzity slunečního záření



Obr. 2.16 Závislost teplotní charakteristiky ohřevu FVP Calyxo CX60 při působení teploty prostředí a vlivu proudění větru – defekt: výrazný projev proudění vzduchu

Po provedení korekce hodnot dostaneme upravenou tabulku koeficientů. Pro zbylé hodnoty byla použita funkce proložení polynomem druhého stupně, aby bylo možné dopočítat hodnoty koeficientu v pásmu hodnot 0 až 1000 W/m^2 intenzity slunečního záření. Vypočtené hodnoty uvádím ve vývojové tabulce koeficientu pro hodnoty se skokovým intervalem o velikosti 100 W/m^2 , abych docílil lepší názornosti.

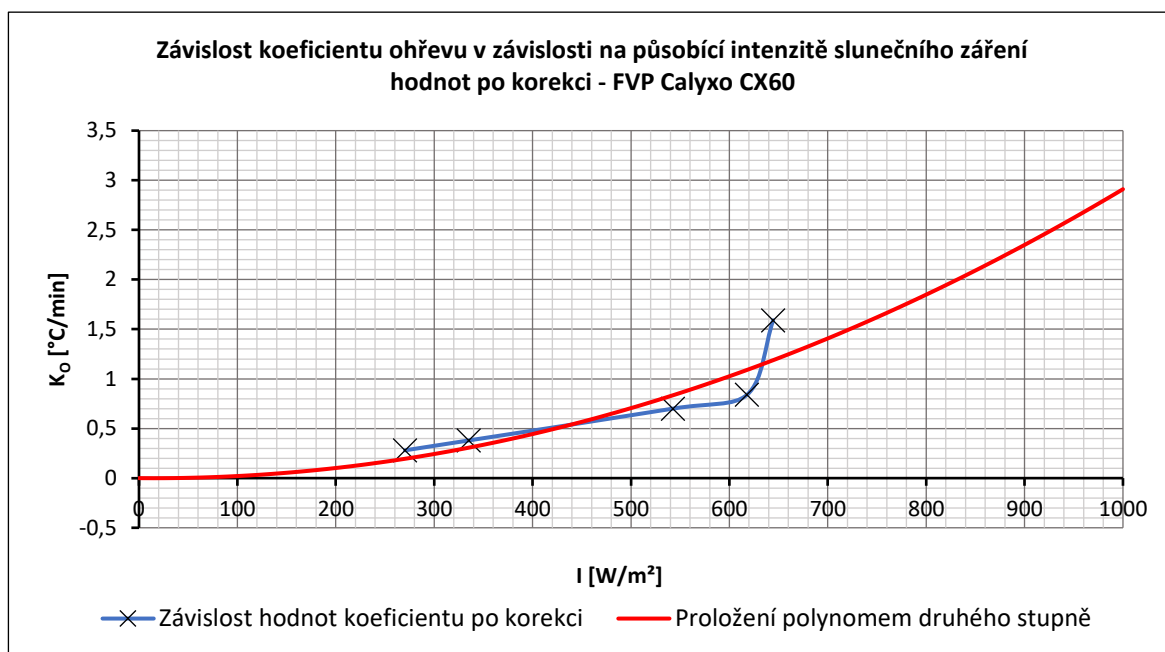
Tab. 2.4 Tabulka vypočtených koeficientů ohřevu po korekci hodnot panelu Calyxo CX60

fotovoltaický panel - Calyxo CX60					
Číslo měření	1	2	4	5	6
$I \text{ [W/m}^2\text{]}$	270	337	539	617	644
$K \text{ [}^\circ\text{C/min]}$	0,28	0,38	0,7	0,84	1,59
$t_{\max} \text{ [}^\circ\text{C]}$	24,2	28,2	43,2	47,6	56,7
$t_{\min} \text{ [}^\circ\text{C]}$	17,2	18,8	25,7	31,6	26,5
$t \text{ [min]}$	25	25	25	19	19

Pro výpočet hodnot koeficientu jsem použil proložení polynomem druhého stupně, jehož rovnice odpovídá $y = 0,000003 * x^2 - 0,00009 * x$.

Tab. 2.5 Vývojová tabulka vypočteného koeficientu ohřevu z rovnice polynomu panelu Calyxo CX60

fotovoltaický panel - Calyxo CX60											
$I \text{ [W/m}^2\text{]}$	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$K \text{ [}^\circ\text{C/min]}$	0	0,02	0,1	0,24	0,44	0,71	1,03	1,41	1,85	2,35	2,91



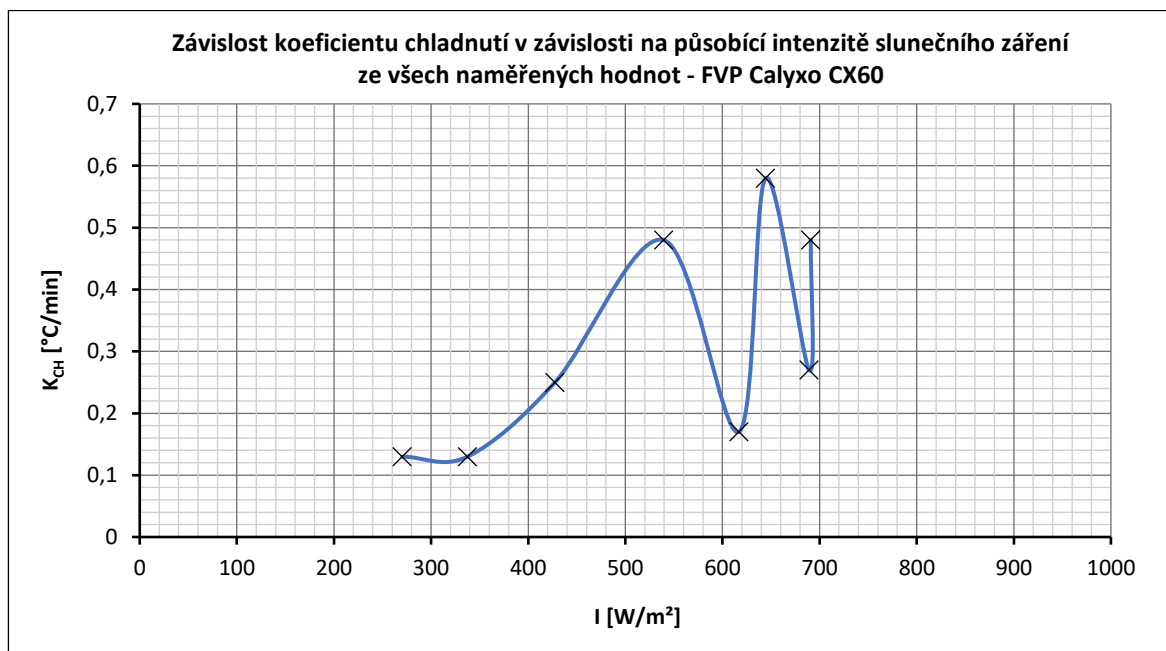
Obr. 2.17 Závislost upravených hodnot koeficientu ohřevu a výsledného proložení polynomem druhého stupně – FVP Calyxo CX60

2.3.1.2 Vyhodnocení koeficientu chladnutí

Hodnoty koeficientu chladnutí jsou součástí přiložené tabulky Tab. 2.6. Tabulka je koncipována stejným způsobem jako v předchozím případě kapitoly o vyhodnocení koeficientu ohřevu FV panelu Calyxo CX60.

Tab. 2.6 Tabulka vypočtených koeficientů chladnutí ze všech naměřených hodnot panelu Calyxo CX60

fotovoltaický panel - Calyxo CX60								
Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8
I [W/m ²]	270,4	337	427	539	617	644	689	691
K [°C/min]	0,13	0,13	0,25	0,48	0,17	0,58	0,27	0,48
t_{\max} [°C]	29,8	31,4	40,2	45,4	48,1	54,4	50,6	45,2
t_{\min} [°C]	27,1	28,6	29,6	29,7	34,7	32,3	30,4	29,9
t [min]	21	22	43	33	80	38	75	32



Obr. 2.18 Závislost koeficientu chladnutí na působící intenzitě slunečního záření pro všechny naměřené hodnoty - FVP Calyxo CX60

Výše uvedená závislost koeficientu chladnutí na intenzitě dopadajícího záření byla vytvořena ze všech naměřených hodnot. I v tomto případě jsem byl nucen provést nápravná opatření a výslednou křivku vytvořit z odpovídajících hodnot. Hodnoty jsem vytřídil na základě působící teploty prostředí. Jelikož proces chlazení fotovoltaického panelu probíhal vždy uvnitř budovy Fakulty elektrotechnické, můžeme zde opomenout vliv působení větru a proměnné intenzity dopadajícího záření na plochu panelu.

Vhodným vyčleněním nekorespondujících hodnot byly získány hodnoty koeficientu uvedené v tabulce Tab. 2.7. Výsledné průběhy hodnot proložení a koeficientu jsou znázorněny v grafické závislosti na obrázku Obr. 2.19.

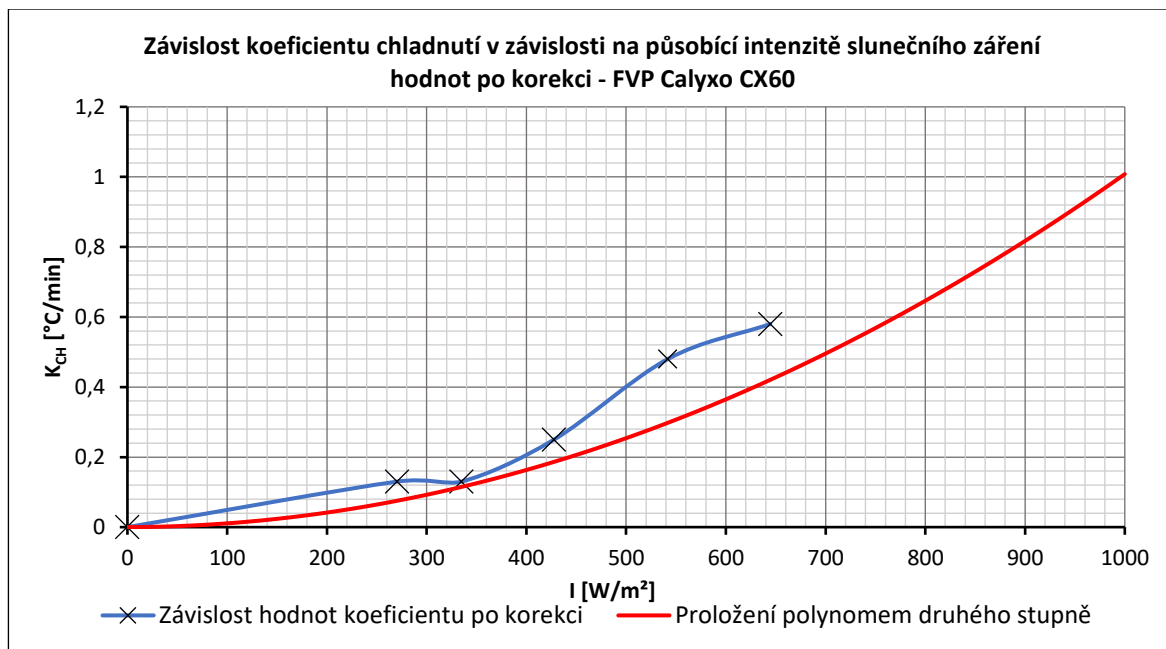
Tab. 2.7 Tabulka vypočtených koeficientů chladnutí po korekci hodnot panelu Calyxo CX60

fotovoltaický panel - Calyxo CX60					
Číslo měření	1	2	3	4	6
I [W/m²]	270	337	427	539	644
K [°C/min]	0,13	0,13	0,25	0,48	0,58
t _{max} [°C]	29,8	31,4	40,2	45,4	54,4
t _{min} [°C]	27,1	28,6	29,6	29,7	32,3
t [min]	21	22	43	33	38

Pro výpočet hodnot koeficientu jsem použil proložení polynomem druhého stupně, jehož rovnice odpovídá $y = 0,000001 * x^2 + 0,000008 * x$.

Tab. 2.8 Vývojová tabulka vypočteného koeficientu chladnutí z rovnice polynomu panelu Calyxo CX60

fotovoltaický panel - Calyxo CX60											
I [W/m ²]	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
K [°C/min]	0	0,01	0,04	0,09	0,16	0,25	0,36	0,50	0,65	0,82	1,01



Obr. 2.19 Závislost upravených hodnot koeficientu chladnutí a výsledného proložení polynomem druhého stupně – FVP Calyxo CX60

2.3.2 Fotovoltaický panel Q.Cells Q.SMART UF L 95

Fotovoltaický panel od výrobce Q.Cells s typovým označením Q.SMART UF L 95 je panel se skleněným provedením, u kterého byla použita technologie článků CIGS. Tento typ panelu jsem měřil celkem sedmkrát při působení odlišných podmínek uvedených v následující tabulce s označením Tab. 2.9.

Tab. 2.9 Podmínky měření - FVP Q.Cells Q.SMART UF L 95

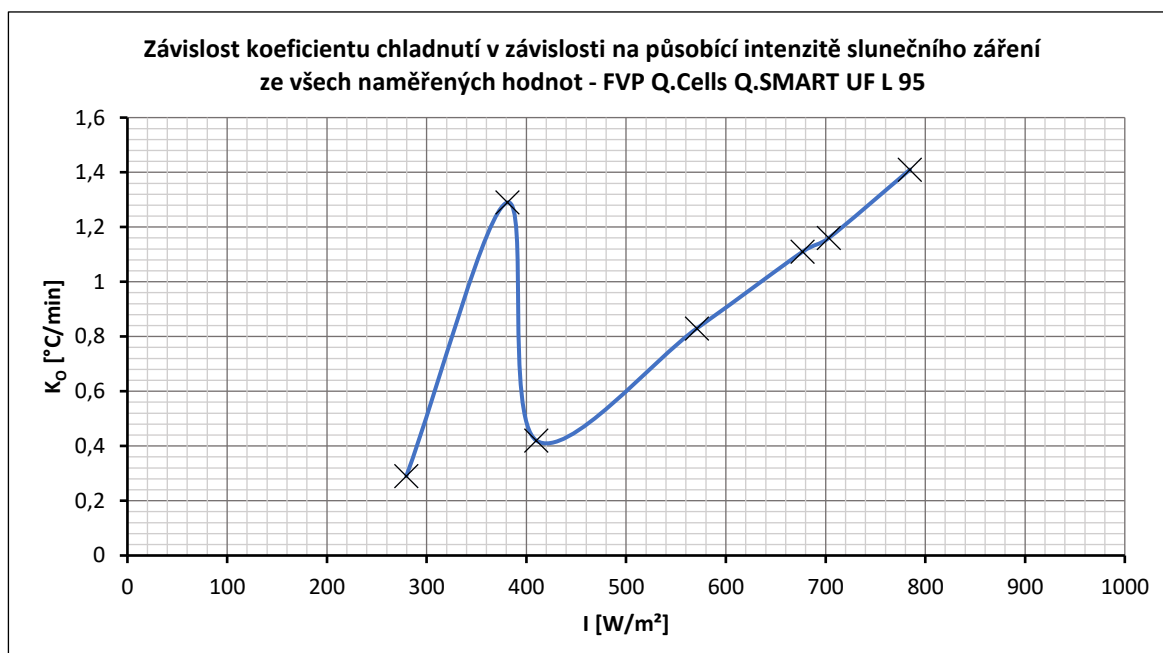
Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7
I [W/m ²]	279	381	410	597	677	703	784
vlhkost [%]	36,8	50	36,29	35,4	64	48,1	45,6
teplota - venku [°C]	22,24	22,5	22,6	29,1	8,2	19,8	11,3
rychlost proudění vzduchu [m/s]	0,5	4,7	0,7	3,6	1,5	2,5	2,2
tlak [hPa]	1014	1012	1014	1013,4	1030,7	1021,5	1024
teplota - uvnitř [°C]	30,8	28,9	28,7	31,6	25,4	28	28,7

2.3.2.1 Vyhodnocení koeficientu ohřevu

Z tabulky vypočtených koeficientů ohřevu (Tab. 2.10) je patrné, že nejvyšší teploty dosáhl panel při šestém měření, kdy na něj působila průměrná intenzita dopadajícího záření o velikosti $I = 703 \text{ W/m}^2$. Panel se dokázal ohřát na teplotu $55,3 \text{ }^\circ\text{C}$ za dobu 26 minut od počátku měření. Naopak nejnižší teploty po ohřevu dosáhl panel při prvním měření o nejnižší průměrné působící intenzitě $I = 279 \text{ W/m}^2$. Doba do ohřátí na jeho maximální teplotu v tomto případě trvala 14 minut.

Tab. 2.10 Tabulka vypočtených koeficientů ohřevu ze všech naměřených hodnot panelu Q.Cells Q.SMART UF L 95

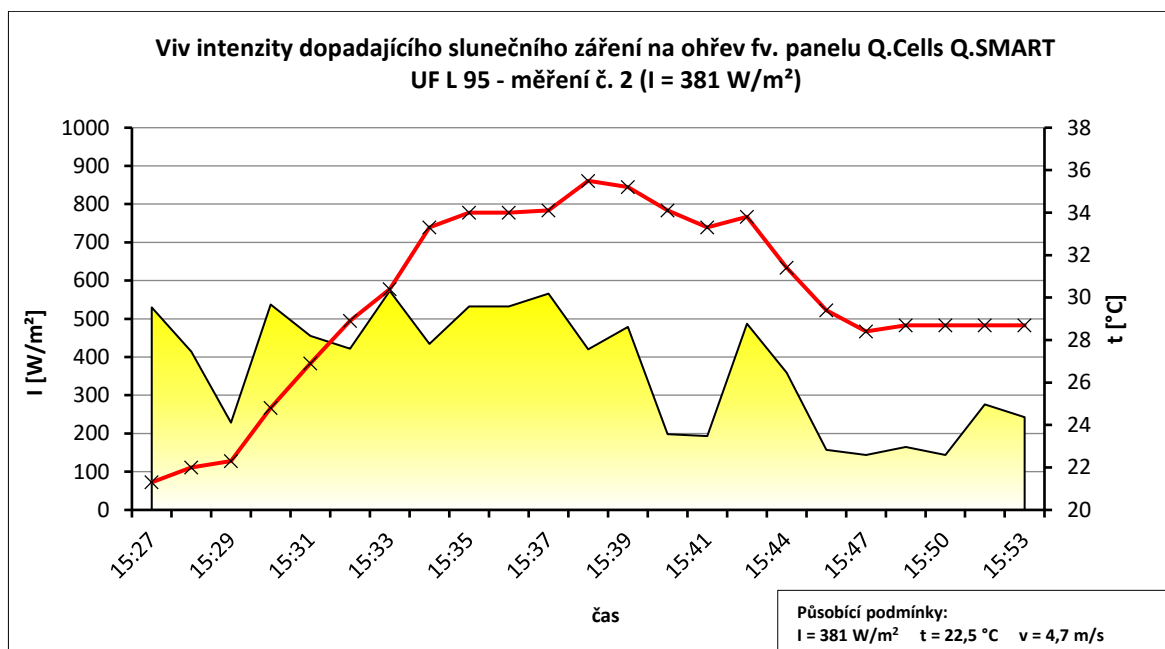
fotovoltaický panel - Q.Cells Q.SMART UF L 95							
Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7
$I \text{ [W/m}^2\text{]}$	279	381	410	571	677	703	784
$K \text{ [}^\circ\text{C/min]}$	0,29	1,29	0,42	0,83	1,11	1,16	1,41
$t_{\text{max}} \text{ [}^\circ\text{C]}$	28,9	35,5	35,2	46,9	41,1	55,3	48,7
$t_{\text{min}} \text{ [}^\circ\text{C]}$	24,8	21,3	23,9	26,9	19	25,1	17,6
$t \text{ [min]}$	14	11	27	24	20	26	22



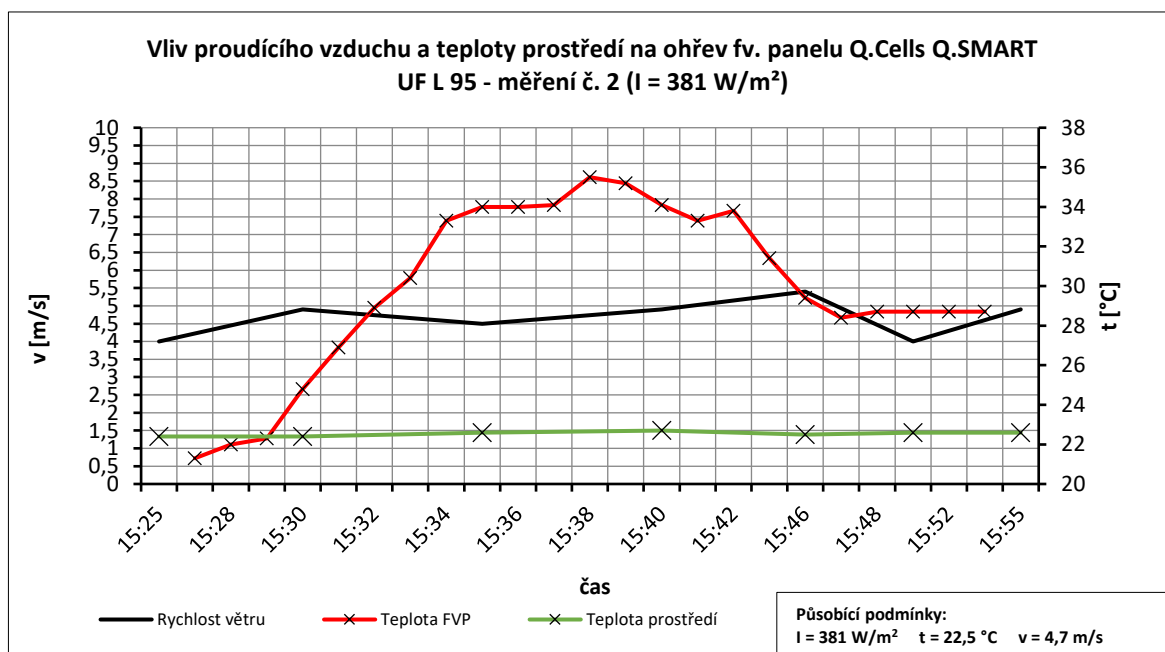
Obr. 2.20 Závislost koeficientu ohřevu na působící intenzitě slunečního záření pro všechny naměřené hodnoty - FVP Q.Cells Q.SMART UF L 95

V případě fotovoltaického panelu Q.Cells s typovým označením Q.SMART UF L 95 se povedlo získat relativně odpovídající charakteristiku teoretickému předpokladu, a proto jsem po prozkoumání hodnot vyloučil hodnotu koeficientu ohřevu v druhém měření při intenzitě slunečního záření o velikosti $I = 381 \text{ W/m}^2$. Bližší komparací a zkoumáním jsem zjistil, že při

tomto měření se projeví výrazné skokové změny dopadající intenzity slunečního záření a také docházelo k výraznému ovlivnění měření z hlediska proudění vzduchu. Rychlost proudění vzduchu byla v rozsahu hodnot 4 až 5,5 m/s. Skutečnosti lze ověřit pomocí přiložených grafů na obrázcích Obr. 2.21 a Obr. 2.22.



Obr. 2.21 Závislost teplotní charakteristiky ohřevu FVP Q.Cells Q.SMART UF L 95 při působení dopadající intenzity záření – defekt: výrazné skokové změny intenzity slunečního záření



Obr. 2.22 Závislost teplotní charakteristiky ohřevu FVP Q.Cells Q.SMART UF L 95 při působení teploty prostředí a vlivu proudění větru – defekt: výrazný projev proudění vzduchu

Vyřazením této hodnoty dostaneme upravenou tabulku koeficientů (Tab. 2.11), která byla použita pro dopočítání hodnot koeficientů pomocí rovnice proložení.

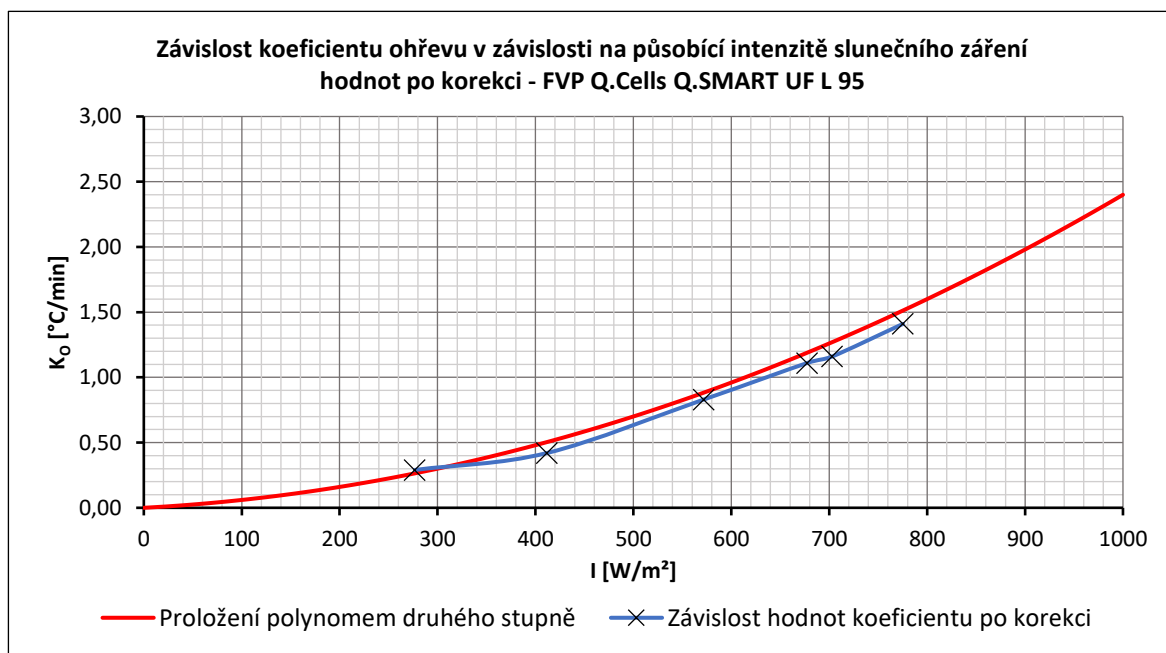
Tab. 2.11 Tabulka vypočtených koeficientů ohřevu po korekci hodnot panelu Q.Cells Q.SMART UF L 95

fotovoltaický panel - Q.Cells Q.SMART UF L 95						
Číslo měření	1	3	4	5	6	7
I [W/m ²]	279	410	571	677	703	784
K [°C/min]	0,29	0,42	0,83	1,11	1,16	1,41
t _{max} [°C]	28,9	35,2	46,9	41,1	55,3	48,7
t _{min} [°C]	24,8	23,9	26,9	19	25,1	17,6
t [min]	14	27	24	20	26	22

Pro výpočet hodnot koeficientu jsem použil proložení polynomem druhého stupně, jehož rovnice odpovídá $y = 0,000002 * x^2 + 0,0004 * x$.

Tab. 2.12 Vývojová tabulka vypočteného koeficientu ohřevu z rovnice polynomu panelu Q.Cells Q.SMART UF L 95

fotovoltaický panel - Q.Cells Q.SMART UF L 95											
I [W/m ²]	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
K [°C/min]	0	0,06	0,16	0,30	0,48	0,70	0,96	1,26	1,60	1,98	2,40



Obr. 2.23 Závislost upravených hodnot koeficientu ohřevu a výsledného proložení polynomem druhého stupně – FVP Q.Cells Q.SMART UF L 95

2.3.2.2 Vyhodnocení koeficientu chlazení

Tabulka koeficientů chlazení (Tab. 2.13) je koncipována stejným způsobem jako tabulka koeficientů ohřevu fotovoltaického panelu Q.Cells Q.SMART UF L 95.

Tab. 2.13 Tabulka vypočtených koeficientů chlazení ze všech naměřených hodnot panelu Q.Cells Q.SMART UF L 95

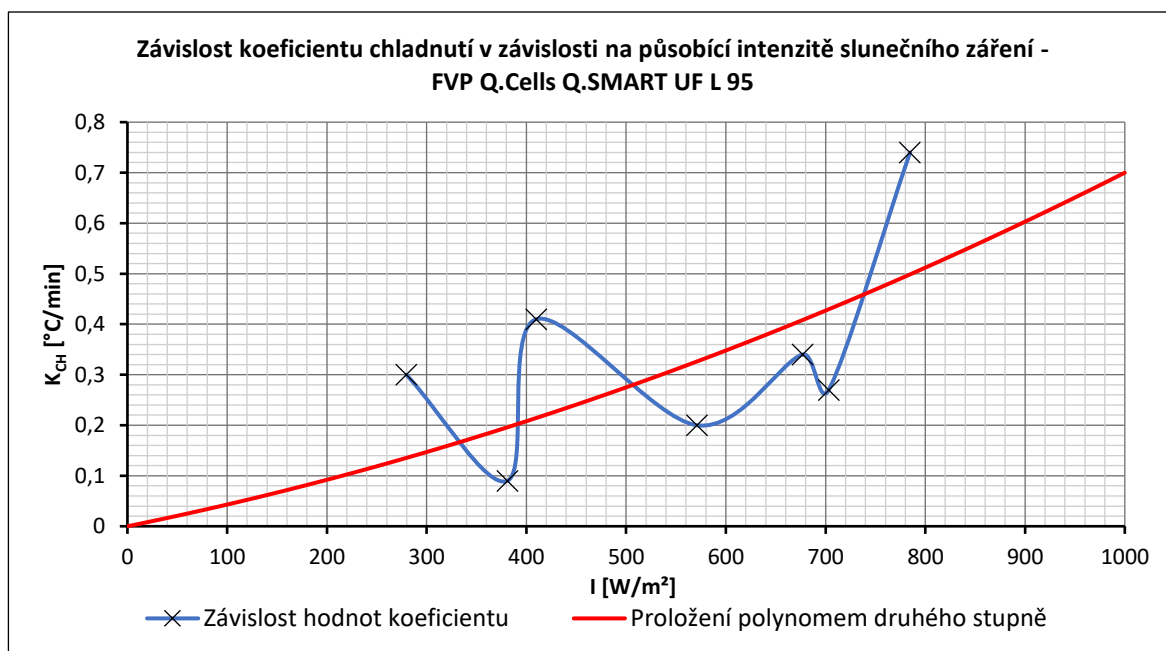
fotovoltaický panel - Q.Cells Q.SMART UF L 95							
Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7
I [W/m ²]	279	381	410	571	677	703	784
K [°C/min]	0,3	0,09	0,41	0,2	0,34	0,27	0,74
t _{max} [°C]	35,4	32,1	41	48,1	48	54,9	49,3
t _{min} [°C]	30,3	29,1	30,8	35,4	31	33,2	29,2
t [min]	17	35	25	63	50	79	27

V případě vyhodnocení koeficientu chlazení u fotovoltaického panelu Q.Cells Q.SMART UF L 95 jsem v souvislosti s proložením hodnot rovnicí polynomu druhého stupně nemohl provést úpravu vstupních dat. Všechny nabízející se matematické možnosti proložení se ve výsledné charakteristice projeví zápornou částí křivky v intervalu hodnot 0 až 350 W/m² intenzity slunečního záření. Z tohoto důvodu jsem proložení provedl ze všech hodnot koeficientů. Výsledná křivka pak odpovídá zbytku křivek u všech druhů panelů.

Pro výpočet hodnot koeficientu jsem použil proložení polynomem druhého stupně, jehož rovnice odpovídá $y = 0,0000003 * x^2 + 0,0004 * x$.

Tab. 2.14 Tabulka vypočtených koeficientů chlazení po korekci hodnot panelu Q.Cells Q.SMART UF L 95

fotovoltaický panel - Q.Cells Q.SMART UF L 95											
I [W/m ²]	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
K [°C/min]	0	0,04	0,09	0,15	0,21	0,28	0,35	0,43	0,51	0,60	0,70



Obr. 2.24 Závislost hodnot koeficientu chlazení a výsledného proložení polynomem druhého stupně – FVP Q.Cells Q.SMART UF L 95

2.3.3 Fotovoltaický panel Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B

Měřený fotovoltaický panel Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B je charakteristický svým flexibilním konstrukčním provedením. U panelu je použita technologie článků CIGS. Tento panel byl podroben devíti měření při působení podmínek uvedených v následující tabulce s označením Tab. 2.15. Pro tento typ panelu bylo provedeno zkušební měření ohřevu ve vnitřní části budovy. V tabulce je toto kontrolní měření řazeno jako první, bez uvedených hodnot vlhkosti a tlaku prostředí.

Tab. 2.15 Podmínky měření - FVP Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B

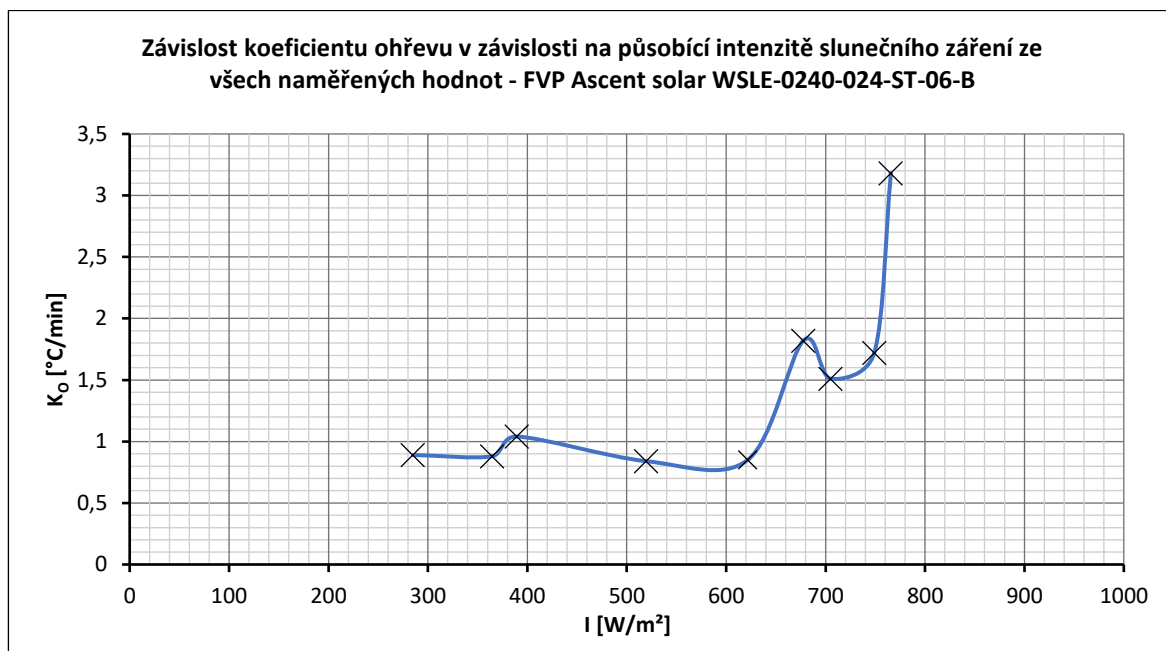
Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I [W/m ²]	276	367	390	519	621	678	704	763	766
vlhkost [%]	-	56	46,2	40,7	38,3	62,6	42,4	39,5	47,25
teplota - venku [°C]	31	20,6	19,2	20,9	21,5	5,4	28,9	12,9	22,8
rychlost proudění vzduchu [m/s]	0	5	1,1	1,1	2,1	0,8	1,5	1,5	2
tlak [hPa]	-	1013	1017	1017	1016	1035	1016	1023	1019
teplota - uvnitř [°C]	29	28,9	30,8	30,8	28,6	27	34,5	27	28,9

2.3.3.1 Vyhodnocení koeficientu ohřevu

V tabulce Tab. 2.16 uvádím vypočtené koeficienty ohřevu pro všechny změřené charakteristiky tohoto panelu. Tento panel dosáhl nejvyšší teploty $t_{\max} = 69,4$ °C při působení intenzity záření $I = 705$ W/m² za dobu 15 minut. Nejnižší maximální dosažená teplota o velikosti $t_{\max} = 46,1$ °C nastala při třetím měření za působení intenzity záření $I = 389$ W/m². Panel se na tuto teplotu nahřál za 14 minut.

Tab. 2.16 Tabulka vypočtených koeficientů ohřevu ze všech naměřených hodnot panelu Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B

fotovoltaický panel - Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B									
Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I [W/m ²]	284	364	389	519	621	677	705	748	765
K [°C/min]	0,89	0,88	1,04	0,84	0,85	1,82	1,51	1,72	3,18
t_{\max} [°C]	48,9	46,3	46,1	55	59,1	46,4	69,4	60,9	67,1
t_{\min} [°C]	33,7	30,5	31,6	38,3	37	11,8	46,8	31,7	41,7
t [min]	17	18	14	20	26	19	15	17	8



Obr. 2.25 Závislost koeficientu ohřevu na působící intenzitě slunečního záření pro všechny naměřené hodnoty - FVP Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B

Při detailnějším rozboru vypočtených a naměřených hodnot jsem se cíleně zaměřil na šesté měření, kde je vidět lehce vychýlená hodnota. Díky vzájemné komparaci hodnot jsem došel k rozhodnutí tuto hodnotu vyřadit. Ta se v porovnání s ostatními měřeními výrazně odlišovala příliš nízkou teplotou prostředí, která v tomto případě byla okolo 5 °C. Po vyřazení odchýlené hodnoty, dostaneme tabulku vypočtených koeficientů ohřevu po korekci, z níž jsem poté určil rovnici proložení polynomem druhého stupně.

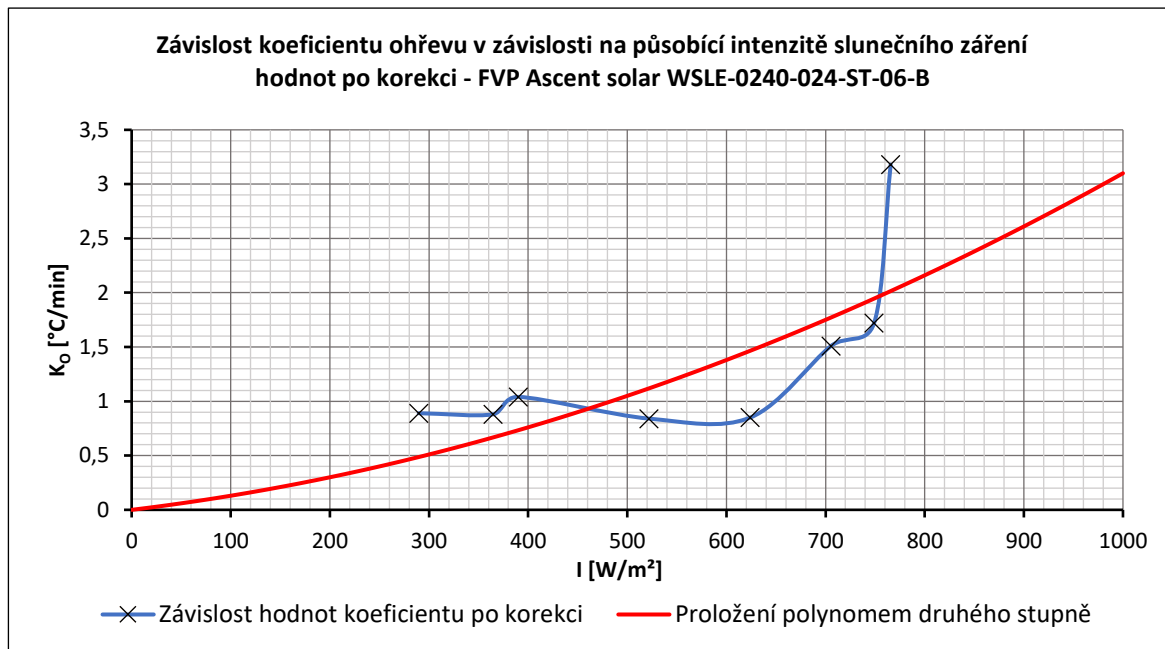
Tab. 2.17 Tabulka vypočtených koeficientů ohřevu po korekci hodnot panelu Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B

fotovoltaický panel - Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B								
Číslo měření	1	2	3	4	5	7	8	9
I [W/m²]	284	364	389	519	621	705	748	765
K [°C/min]	0,89	0,88	1,04	0,84	0,85	1,51	1,72	3,18
t _{max} [°C]	48,9	46,3	46,1	55	59,1	69,4	60,9	67,1
t _{min} [°C]	33,7	30,5	31,6	38,3	37	46,8	31,7	41,7
t [min]	17	18	14	20	26	15	17	8

Pro výpočet hodnot koeficientu jsem použil proložení polynomem druhého stupně, jehož rovnice odpovídá $y = 0,000002 * x^2 + 0,0011 * x$.

Tab. 2.18 Vývojová tabulka vypočteného koeficientu ohřevu z rovnice polynomu panelu Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B

fotovoltaický panel - Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B											
I [W/m ²]	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
K [°C/min]	0	0,13	0,30	0,51	0,76	1,05	1,38	1,75	2,16	2,61	3,10



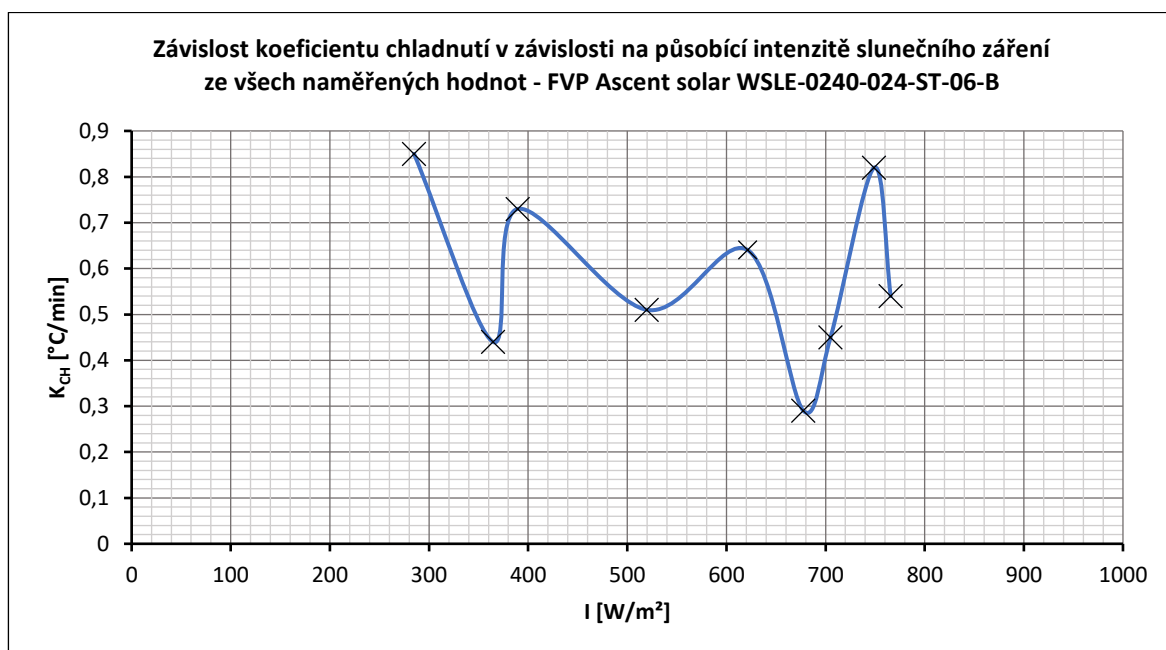
Obr. 2.26 Závislost upravených hodnot koeficientu ohřevu a výsledného proložení polynomem druhého stupně – FVP Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B

2.3.3.2 Vyhodnocení koeficientu chladnutí

Vyhodnocení koeficientu chladnutí jsem provedl obdobným způsobem, jako v případě vyhodnocení koeficientu ohřevu. Tabulka výsledných hodnot koeficientů chladnutí odpovídá stejnému provedení jako v případě tabulky koeficientů ohřevu fotovoltaického panelu.

Tab. 2.19 Tabulka vypočtených koeficientů chladnutí ze všech naměřených hodnot panelu Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B

fotovoltaický panel - Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B									
Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I [W/m ²]	284	364	389	519	621	677	705	748	765
K [°C/min]	0,85	0,44	0,73	0,51	0,64	0,29	0,45	0,82	0,54
t _{max} [°C]	42,2	37,3	34,8	38,6	41,9	39,7	51,2	42,8	41,7
t _{min} [°C]	31,2	29,8	28,2	29,5	29,2	28,8	34,7	28,9	30,4
t [min]	13	17	9	18	20	37	37	17	21



Obr. 2.27 Závislost koeficientu chladnutí na působící intenzitě slunečního záření pro všechny naměřené hodnoty - FVP Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B

Z předložené grafické závislosti koeficientu chladnutí je vidět kolísající průběh charakteristiky. Koeficient dosahuje v některých intenzitách slunečního záření vysokých hodnot a v některých hodnotách intenzity slunečního záření nízkých hodnot. Z tohoto důvodu jsem se pokusil vyloučit zavádějící hodnoty, které výsledný průběh ovlivňují. Výsledkem je křivka vytvořená z hodnot druhého, čtvrtého, pátého a osmého měření. Takto ořezaná charakteristika byla následně proložena rovnicí polynomu druhého stupně i když se v grafu spíše jeví jako rovnice lineárního průběhu.

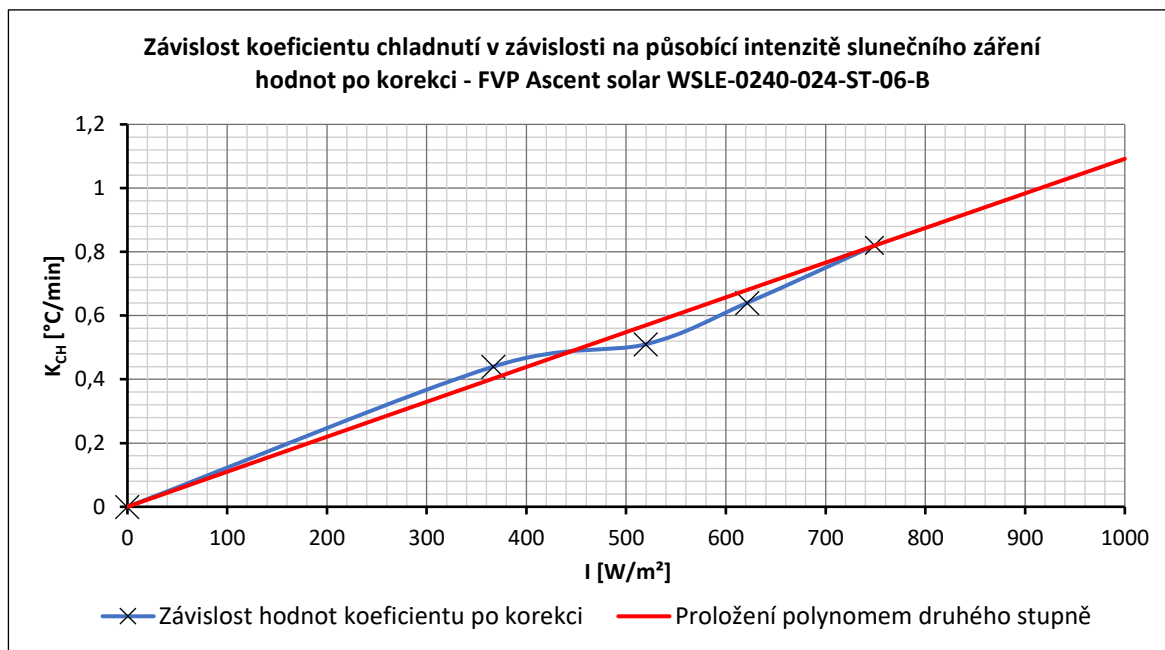
Tab. 2.20 Tabulka vypočtených koeficientů chladnutí po korekci hodnot panelu Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B

fotovoltaický panel - Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B				
Číslo měření	2	4	5	8
I [W/m ²]	364	519	621	748
K [°C/min]	0,44	0,51	0,64	0,82
t _{max} [°C]	37,3	38,6	41,9	42,8
t _{min} [°C]	29,8	29,5	29,2	28,9
t [min]	17	18	20	17

Pro výpočet hodnot koeficientu jsem použil proložení polynomem druhého stupně, jehož rovnice odpovídá $y = -0,000000008 * x^2 + 0,0011 * x$.

Tab. 2.21 Vývojová tabulka vypočteného koeficientu chladnutí z rovnice polynomu panelu Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B

fotovoltaický panel - Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B											
I [W/m ²]	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
K [°C/min]	0	0,11	0,22	0,33	0,44	0,55	0,66	0,77	0,87	0,98	1,09



Obr. 2.28 Závislost upravených hodnot koeficientu ohřevu a výsledného proložení polynomem druhého stupně – FVP Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B

2.3.4 Fotovoltaický panel Solartec SI 72-110 / 24 110WP

Tento typ fotovoltaického panelu je složen z článků monokrystalického křemíku. Konstrukční řešení v tomto případě je založeno na kovovém rámování a zaskleno pomocí tvrzeného skla. Fotovoltaický panel Solartec SI 72-110 / 24 110WP jsem měřil celkem osmkrát za působení různých provozních podmínek. Provozní podmínky uvádím v níže přiložené tabulce s označením Tab. 2.22. Pro tento typ panelu bylo provedeno kontrolní měření ohřevu ve vnitřní části budovy. I v tomto případě je kontrolní měření v tabulce na prvním místě, bez uvedených hodnot vlhkosti a tlaku.

Tab. 2.22 Podmínky měření - FVP Solartec SI 72-110 / 24 110WP

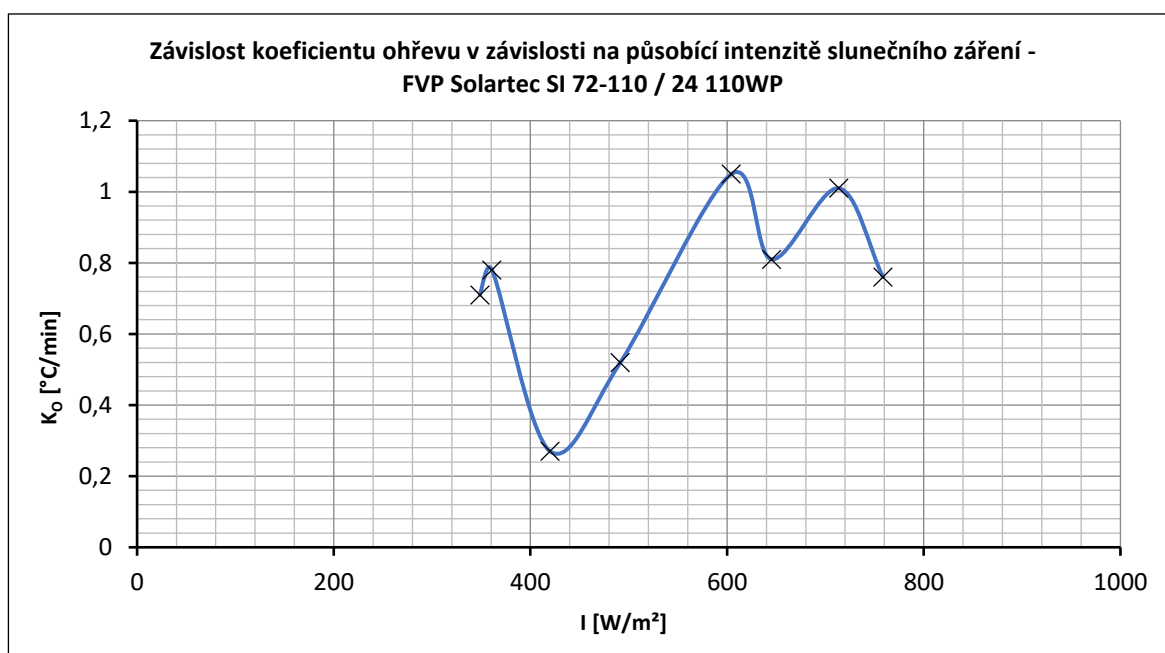
Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8
I [W/m ²]	348	360	420	491	604	645	713	758
vlhkost [%]	-	64	52,1	58,7	36,3	52	65,4	42,1
teplota - venku [°C]	32,5	14,8	7,7	16,6	30	18,2	9,3	21,8
rychlost proudění vzduchu [m/s]	0	1,3	1,1	1,2	2,8	3,6	2,5	2,1
tlak [hPa]	-	1019	1033,8	1018	1015	1015	1024	1021
teplota - uvnitř [°C]	30,2	28,6	25,4	28,6	34,3	28,4	27	28

2.3.4.1 Vyhodnocení koeficientu ohřevu

Vypočtené koeficienty ohřevu jsou uvedeny v tabulce Tab. 2.23. Z tabulky je zřejmé, že nejvyšší maximální teploty dosáhl panel v osmém měření při působení intenzity o velikosti 758 W/m^2 . Panel se ohřál na teplotu $54,8 \text{ }^\circ\text{C}$ za dobu 29 min. Naopak v případě ohřevu panelu na nejnižší maximální teplotu, panel dosáhl teploty $23,1 \text{ }^\circ\text{C}$ za dobu působení slunečního záření a ostatních podmínek v délce 22 minut. Následně budou tyto hodnoty podrobeny bližšímu zkoumání a komparaci s ostatními hodnotami z měření.

Tab. 2.23 Tabulka vypočtených koeficientů ohřevu ze všech naměřených hodnot panelu Solartec SI 72-110 / 24 110WP

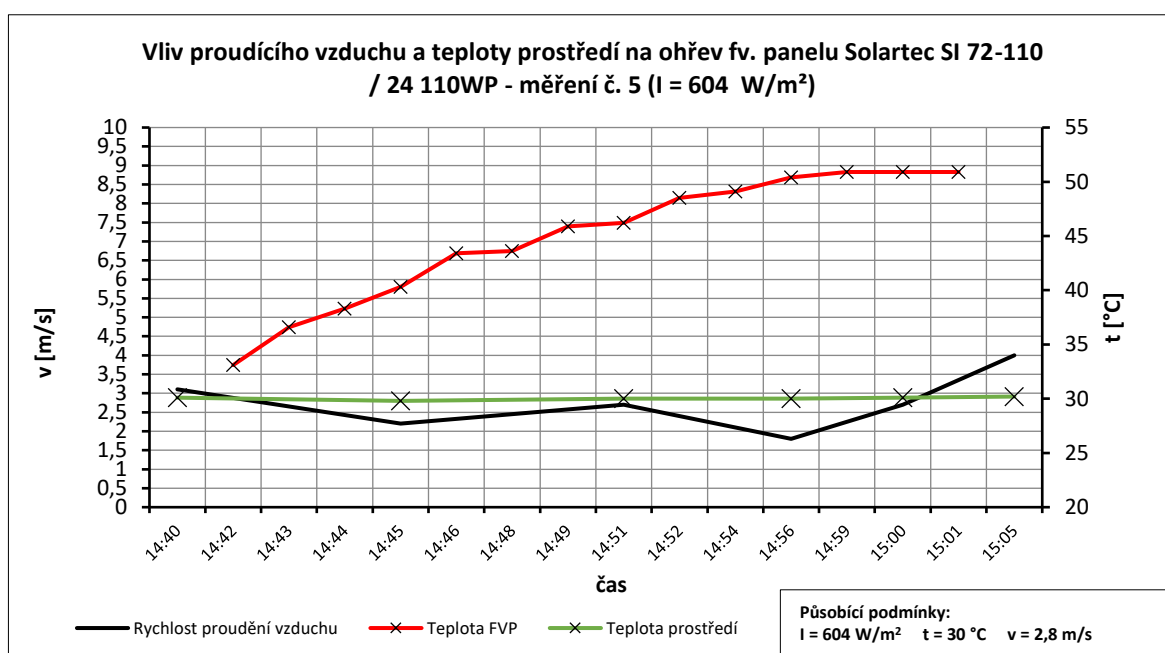
fotovoltaický panel - Solartec SI 72-110 / 24 110WP								
Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8
$I \text{ [W/m}^2\text{]}$	348	360	420	491	604	645	713	758
$K \text{ [}^\circ\text{C/min]}$	0,71	0,78	0,27	0,52	1,05	0,81	1,01	0,76
$t_{\text{max}} \text{ [}^\circ\text{C]}$	46,9	30,9	23,1	38,5	50,9	38,1	40,6	54,8
$t_{\text{min}} \text{ [}^\circ\text{C]}$	30,6	15,3	17,2	15,3	33,1	25,9	18,4	32,8
$t \text{ [min]}$	23	20	22	20	17	15	22	29



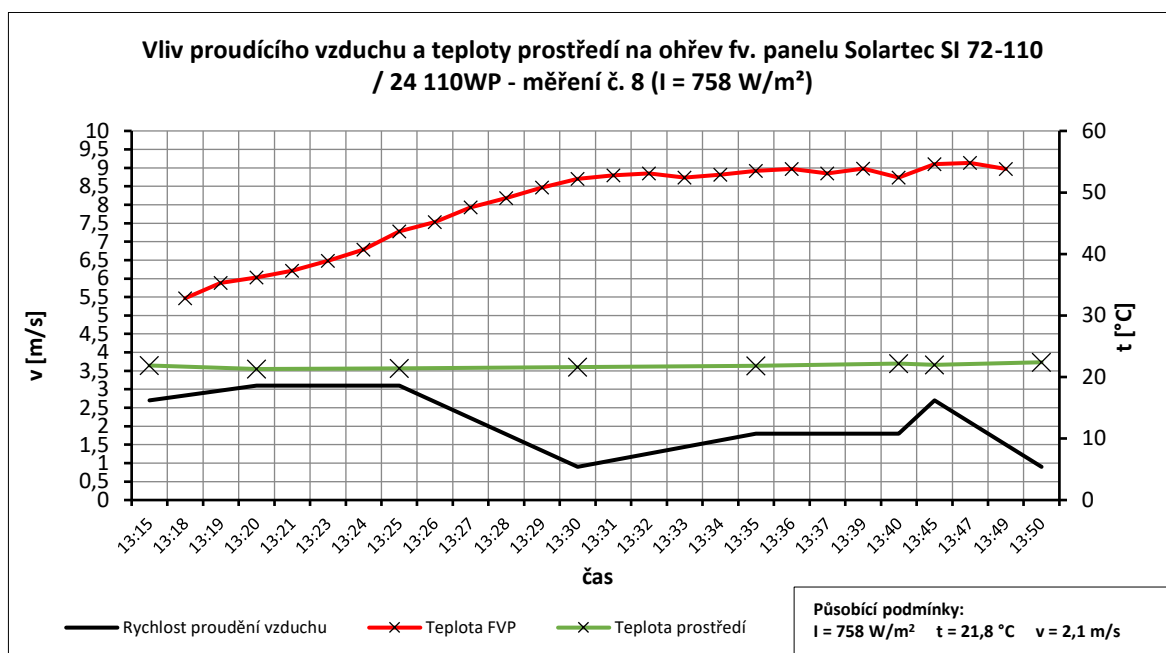
Obr. 2.29 Závislost koeficientu ohřevu na působící intenzitě slunečního záření pro všechny naměřené hodnoty - FVP Solartec SI 72-110 / 24 110WP

Ze závislosti koeficientu ohřevu při působící intenzitě záření je i v tomto případě výsledná charakteristika proměnná. Vzhledem k výrazné kolísavosti křivky a odlišným působícím hodnotám jsem se zaměřil na výsledné koeficienty pro první, druhé, třetí, páté a osmé měření. U všech provedených měření byl vliv dopadající intenzity slunečního záření vyloučen, jelikož všechny výsledné průběhy byly takřka konstantní bez výrazných odchylek. V případě prvního

měření byl panel měřen uvnitř budovy, kde byla konstantní teplota prostředí okolo 30 °C, měření nebylo ovlivněno působením větru. Dalším faktem bylo ohřátí panelu z relativně vyšší teploty (teploty prostředí) než v ostatních případech. Dosažený koeficient z druhého měření byl vyřazen na základě nižší působící teploty prostředí o velikosti 15°C. Z obdobného důvodu jsem vyloučil i hodnotu koeficientu z třetího měření, kde teplota prostředí odpovídá hodnotě 7,7 °C. Hodnota koeficientu pro páté měření byla vyjmuta z důvodu kolísajícího působení proudícího vzduchu, jehož rychlost ke konci měření dosahovala až 4 m/s, a výrazně odlišné teploty prostředí o hodnotě 30 °C. Prozkoumáním posledního měření byla hodnota koeficientu vyloučena z důvodu proměnlivého působení vzduchu. Ten v počátku měření dosahoval velikosti 3 m/s a mohl tak způsobit pomalejší efekt ohřevu panelu. Takto stanovené skutečnosti ovlivňují průběhy teplotních charakteristik. Pro názornost přikládám některé charakteristiky, u kterých byl zjištěn ovlivňující faktor.



Obr. 2.30 Závislost teplotní charakteristiky ohřevu FVP Solartec SI 72-110 / 24 110WP při působení teploty prostředí a vlivu proudění větru – měření č. 5



Obr. 2.31 Závislost teplotní charakteristiky ohřevu FVP Solartec SI 72-110 / 24 110WP při působení teploty prostředí a vlivu proudění větru – měření č. 8

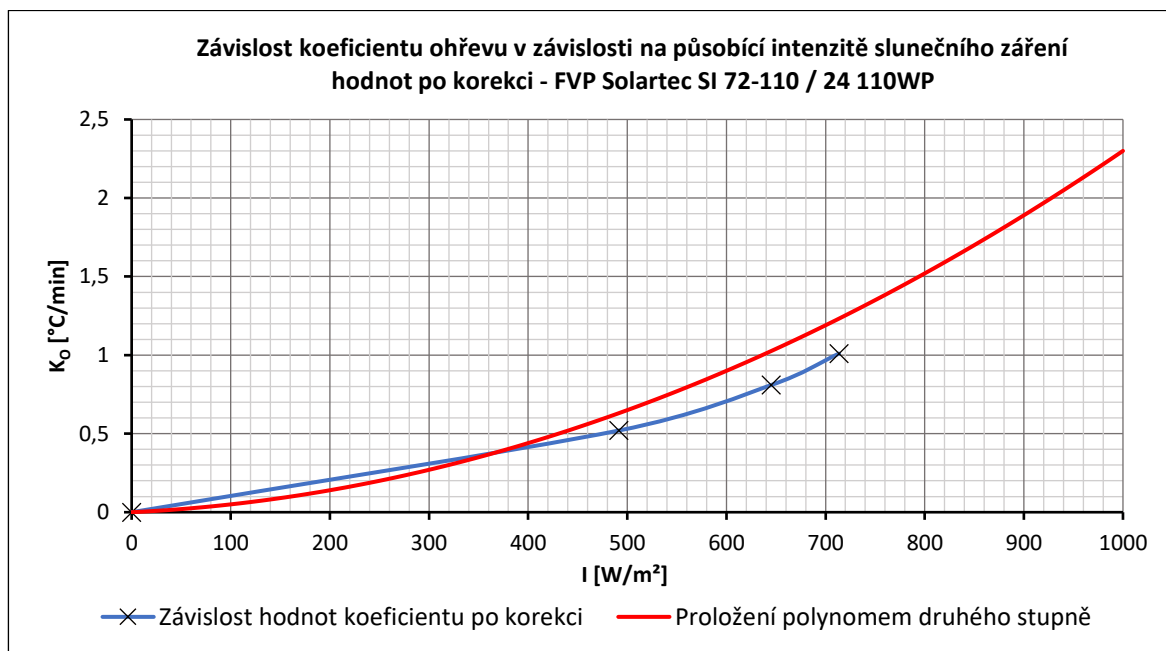
Tab. 2.24 Tabulka vypočtených koeficientů ohřevu po korekci hodnot panelu Solartec SI 72-110 / 24 110WP

fotovoltaický panel - Solartec SI 72-110 / 24 110WP			
Číslo měření	4	6	7
I [W/m^2]	491	645	713
K [$^\circ\text{C}/\text{min}$]	0,52	0,81	1,01
t_{max} [$^\circ\text{C}$]	38,5	38,1	40,6
t_{min} [$^\circ\text{C}$]	15,3	25,9	18,4
t [min]	20	15	22

Pro výpočet hodnot koeficientu jsem použil proložení polynomem druhého stupně, jehož rovnice odpovídá $y = 0,000002 * x^2 + 0,0003 * x$.

Tab. 2.25 Vývojová tabulka vypočteného koeficientu ohřevu z rovnice polynomu panelu Solartec SI 72-110 / 24 110WP

fotovoltaický panel - Solartec SI 72-110 / 24 110WP											
I [W/m^2]	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
K [$^\circ\text{C}/\text{min}$]	0	0,05	0,14	0,27	0,44	0,65	0,90	1,19	1,52	1,89	2,30



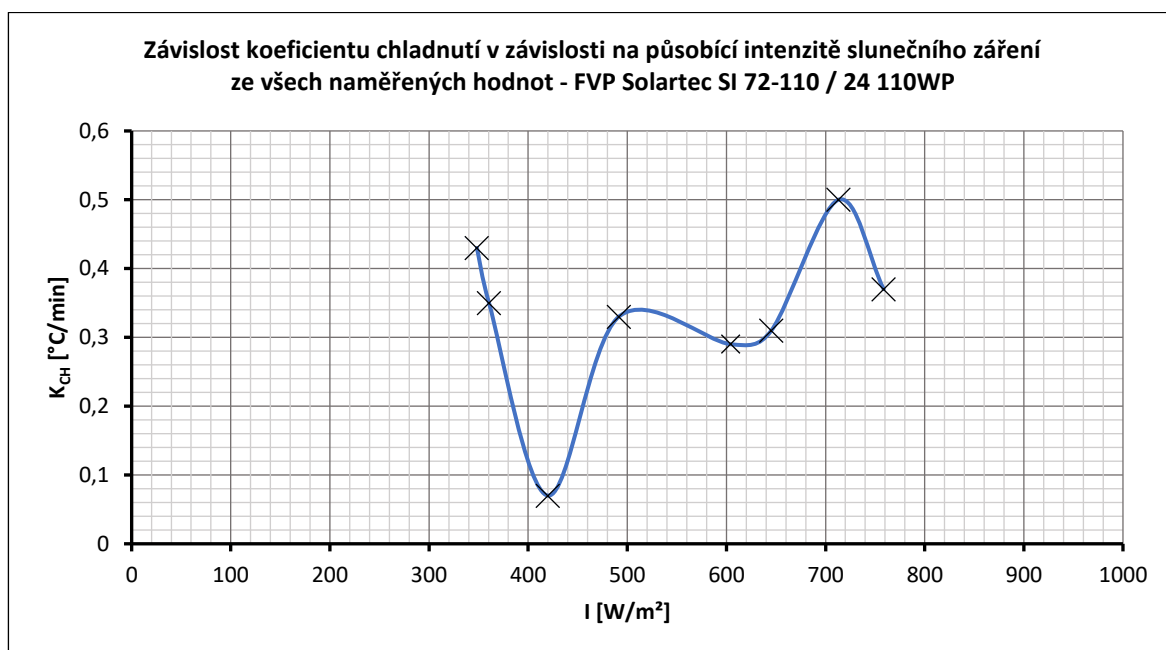
Obr. 2.32 Závislost upravených hodnot koeficientu ohřevu a výsledného proložení polynomem druhého stupně – FVP Solartec SI 72-110 / 24 110WP

2.3.4.2 Vyhodnocení koeficientu chladnutí

Vyhodnocení koeficientu chladnutí u fotovoltaického panelu Solartec SI 72-110 / 24 110WP jsem provedl obdobným způsobem jako v případě vyhodnocení koeficientu ohřevu. Výsledné hodnoty koeficientů chladnutí jsou uvedeny v tabulce s označením Tab. 2.26. Tabulka je koncipována stejným provedením jako tabulka koeficientů ohřevu tohoto fotovoltaického panelu.

Tab. 2.26 Tabulka vypočtených koeficientů chladnutí ze všech naměřených hodnot panelu Solartec SI 72-110 / 24 110WP

fotovoltaický panel - Solartec SI 72-110 / 24 110WP								
Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8
I [W/m ²]	348	360	420	491	604	645	713	758
K [°C/min]	0,43	0,35	0,07	0,33	0,29	0,31	0,5	0,37
t _{max} [°C]	45,7	32,6	28,2	39,9	49,3	39,6	42,6	51,1
t _{min} [°C]	30,1	29,1	25,6	30,4	34,2	29,6	28,6	33,5
t [min]	36	10	35	29	52	32	28	48



Obr. 2.33 Závislost koeficientu chladnutí na působící intenzitě slunečního záření pro všechny naměřené hodnoty - FVP Solartec SI 72-110 / 24 110WP

Výsledkem grafické závislosti průběhu koeficientu chladnutí je i v tomto případě rostoucí i klesající křivka. Pro výsledné proložení vhodnou rovnicí jsem byl nucen vyloučit některé vypočtené hodnoty. Porovnal jsem zaznamenané hodnoty teplot naměřené ve vnitřní části budovy a pokusil jsem se vhodným způsobem křivku proložit. Naměřené teploty prostředí jsou proměnné, a proto jsem vyřadil hodnoty z prvního, druhého, čtvrtého a osmého měření tak, aby byl zajištěn pozvolný růst výslednice. Po vytvoření nové grafické závislosti jsem provedl vhodné proložení polynomem třetího stupně, který se pro tuto charakteristiku ukázal jako nejlepší řešení. Průběh obou výslednic je znázorněn na obrázku Obr. 2.34.

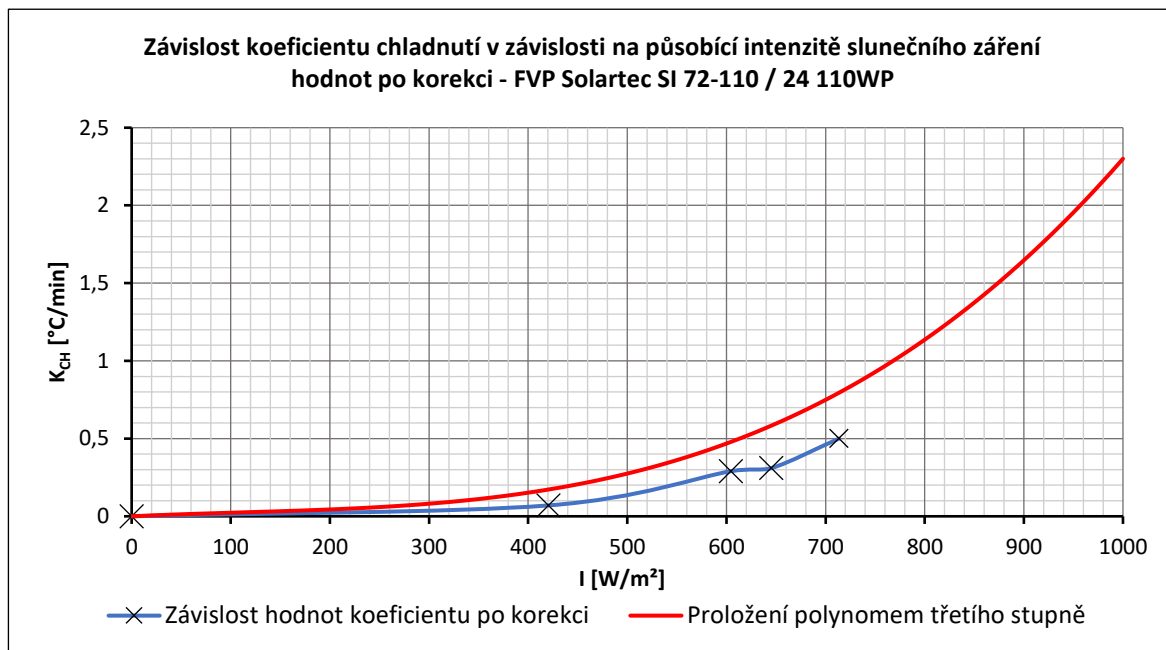
Tab. 2.27 Tabulka vypočtených koeficientů chladnutí po korekci hodnot panelu Solartec SI 72-110 / 24 110WP

fotovoltaický panel - Solartec SI 72-110 / 24 110WP				
Číslo měření	3	5	6	7
I [W/m ²]	420	604	645	713
K [°C/min]	0,07	0,29	0,31	0,5
t _{max} [°C]	28,2	49,3	39,6	42,6
t _{min} [°C]	25,6	34,2	29,6	28,6
t [min]	35	52	32	28

Pro výpočet hodnot koeficientu jsem použil proložení polynomem třetího stupně, jehož rovnice odpovídá $y = 0,000000003 * x^3 - 0,000001 * x^2 + 0,0003 * x$. Důvodem pro použití této aproximace jsou dosažené hodnoty, jelikož v případě ostatních aproximací vycházely hodnoty koeficientu chladnutí v intervalu působící intenzity záření od 10 do 360 W/m² záporné. To by vedlo k zavádějícím výsledkům v provedeném simulačním výpočtu.

Tab. 2.28 Vývojová tabulka vypočteného koeficientu chladnutí z rovnice polynomu panelu Solartec SI 72-110 / 24 110WP

fotovoltaický panel - Solartec SI 72-110 / 24 110WP											
I [W/m ²]	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
K [°C/min]	0	0,02	0,04	0,08	0,15	0,28	0,47	0,75	1,14	1,65	2,30



Obr. 2.34 Závislost upravených hodnot koeficientu ohřevu a výsledného proložení polynomem třetího stupně – FVP Solartec SI 72-110 / 24 110WP

2.4 Zhodnocení dosažených výsledků

Na závěr této kapitoly bych rád shrnul a zhodnotil dosažené výsledky z určování teplotních koeficientů. U fotovoltaického panelu Calyxo CX60 bylo celkově provedeno osm měření, pro které byly stanoveny teplotní koeficienty. Na základě výše uvedeného vysvětlení o nekorespondujících hodnotách, byly u tohoto panelu vyčleněny tři hodnoty koeficientů ohřevu a tři hodnoty koeficientů chladnutí. Po výsledném proložení a dopočtení hodnot byla stanovena hodnota koeficientu ohřevu při intenzitě slunečního záření 1000 W/m² na hodnotu o velikosti $K_O = 2,91$ °C/min. Hodnota koeficientu chladnutí, při stejné působící intenzitě, byla stanovena na hodnotu $K_{CH} = 1,01$ °C/min.

Dalším testovaným panelem byl panel Q.Cell Q.SMART UF L 95 u něhož bylo provedeno celkově sedm měření. Na základě provedených měření a dopočtených hodnot koeficientů jsem vyřadil pouze jednu nekorespondující hodnotu, a to v případě závislosti koeficientu ohřevu. Hodnoty koeficientů po vypočtení z rovnic aproximace jsou při působící intenzitě slunečního

záření o velikosti 1000 W/m^2 výpočtem stanoveny na hodnoty $K_O = 2,40 \text{ }^\circ\text{C/min}$ pro ohřev a $K_{CH} = 0,7 \text{ }^\circ\text{C/min}$ pro chladnutí.

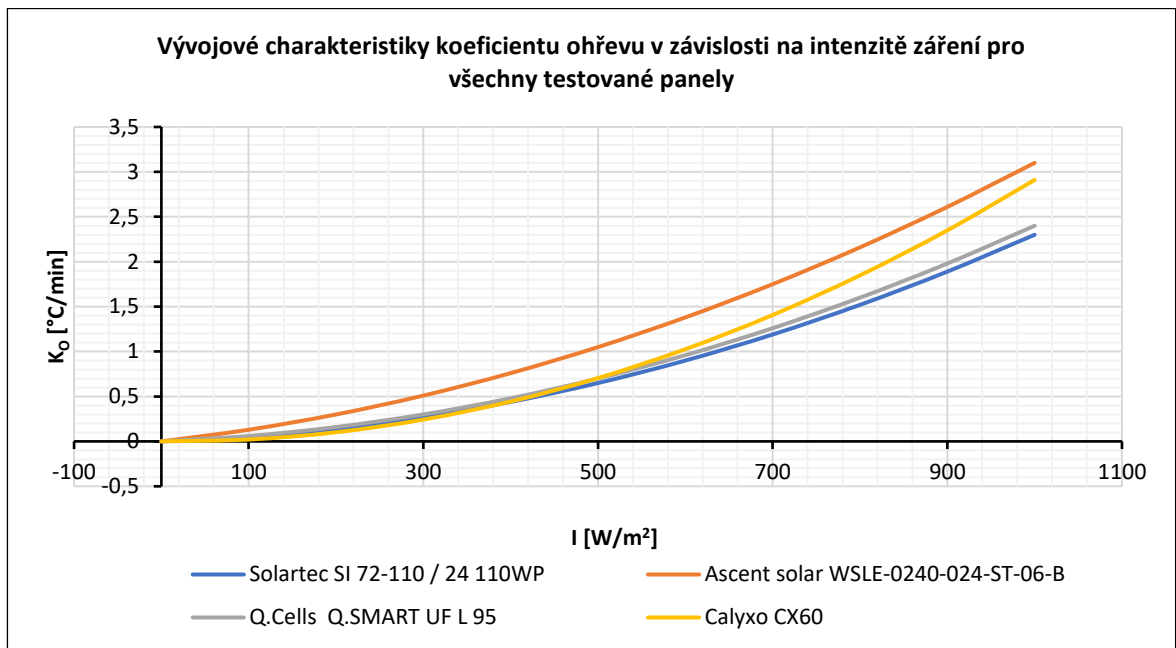
U panelu Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B bylo provedeno devět měření, ze kterých byly vypočteny teplotní koeficienty. Ze závislosti koeficientu ohřevu jsem vyřadil pouze jednu hodnotu, naopak u závislosti koeficientu chladnutí bylo vyřazeno pět hodnot vzhledem k proměnnému charakteru závislosti. Výpočtem z rovnice aproximace je hodnota koeficientu ohřevu pro hodnotu intenzity záření 1000 W/m^2 stanovena na $K_O = 3,10 \text{ }^\circ\text{C/min}$. Koeficient chladnutí je roven $K_{CH} = 1,09 \text{ }^\circ\text{C/min}$ pro stejnou působící intenzitu záření.

Fotovoltaický panel Solartec SI 72-110 / 24 110WP byl podroben osmi měřeními a pro výraznou proměnlivost charakteristiky bylo vyloučeno pět hodnot koeficientu ohřevu. V závislosti chladnutí byly ve výsledku vyřazeny čtyři hodnoty. Hodnota vypočteného koeficientu ohřevu i chladnutí pro intenzitu záření 1000 W/m^2 je v tomto případě rovna hodnotě $K_O, K_{CH} = 2,30 \text{ }^\circ\text{C/min}$. Ačkoliv jsou hodnoty ve výsledku stejné, jejich vývojový průběh je odlišný viz Tab. 2.29.

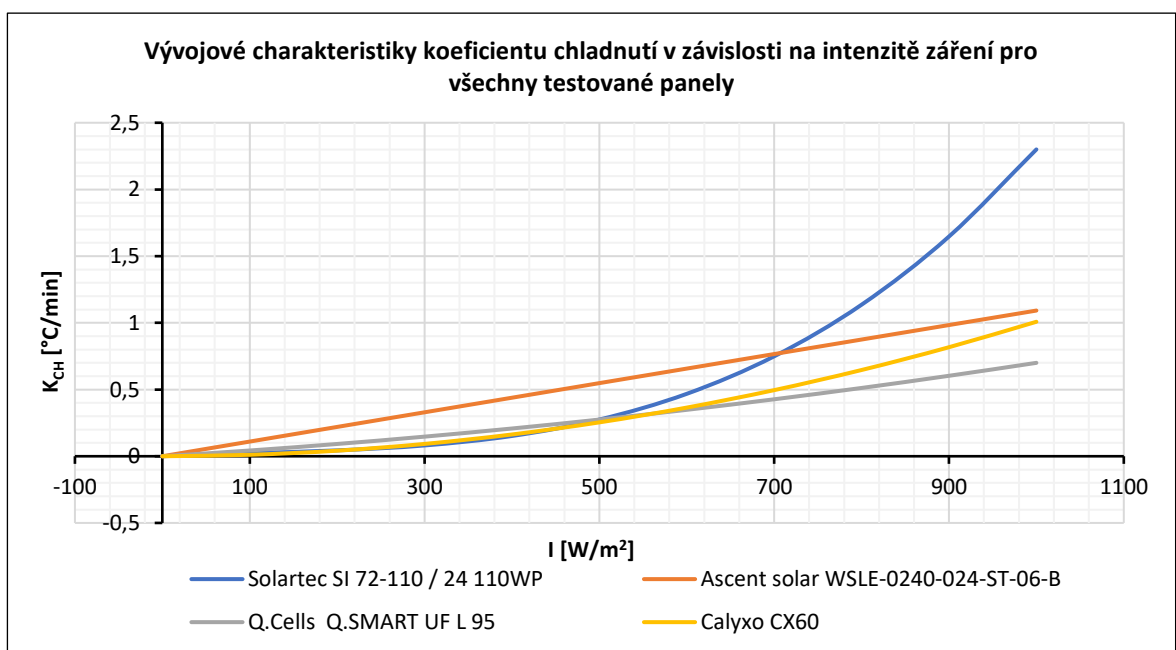
Srovnání vypočtených hodnot teplotních koeficientů fotovoltaických panelů uvádím v kompaktním režimu níže přiložené tabulky s označením Tab. 2.29.

Tab. 2.29 Srovnání vypočtených hodnot teplotních koeficientů z rovnic aproximací

I [W/m^2]	Solartec SI 72-110 / 24 110WP		Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B		Q.Cells Q.SMART UF L 95		Calyxo CX60	
	K_O [$^\circ\text{C/min}$]	K_{CH} [$^\circ\text{C/min}$]	K_O [$^\circ\text{C/min}$]	K_{CH} [$^\circ\text{C/min}$]	K_O [$^\circ\text{C/min}$]	K_{CH} [$^\circ\text{C/min}$]	K_O [$^\circ\text{C/min}$]	K_{CH} [$^\circ\text{C/min}$]
0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0,05	0,02	0,13	0,11	0,06	0,04	0,02	0,01
200	0,14	0,04	0,30	0,22	0,16	0,09	0,10	0,04
300	0,27	0,08	0,51	0,33	0,30	0,15	0,24	0,09
400	0,44	0,15	0,76	0,44	0,48	0,21	0,44	0,16
500	0,65	0,28	1,05	0,55	0,70	0,28	0,71	0,25
600	0,90	0,47	1,38	0,66	0,96	0,35	1,03	0,36
700	1,19	0,75	1,75	0,77	1,26	0,43	1,41	0,50
800	1,52	1,14	2,16	0,87	1,60	0,51	1,85	0,65
900	1,89	1,65	2,61	0,98	1,98	0,60	2,35	0,82
1000	2,30	2,30	3,10	1,09	2,40	0,70	2,91	1,01



Obr. 2.35 Vývojové charakteristiky koeficientu ohřevu v závislosti na intenzitě záření pro všechny testované panely



Obr. 2.36 Vývojové charakteristiky koeficientu chladnutí v závislosti na intenzitě záření pro všechny testované panely

Z vývojové charakteristiky koeficientu ohřevu zobrazené na obrázku Obr. 2.35 je patrné, že výsledné závislosti všech panelů mají podobný průběh. Pokud se zaměřím na charakteristiky jednotlivých fotovoltaických panelů ve vývojovém grafu koeficientu chladnutí je patrné, že průběh charakteristiky panelu Solartec SI 72-110 / 24 110WP je výrazně odlišný. V tomto případě byla provedena aproximace polynomem třetího stupně. Odlišný průběh charakteristiky fotovoltaického panelu Solartec by se mohl následně projevit výrazným poklesem teploty ve výpočtech provozní teploty fotovoltaického panelu. Druhou potenciální variantou je příliš malý pokles teplot daný průběhy charakteristik koeficientu chladnutí u ostatních typů při výpočtech provozních teplot.

Dalšími měřeními teplotních charakteristik fotovoltaických panelů by bylo možné docílit přesnějších hodnot pro určení aproximačních rovnic teplotních koeficientů. Měření by bylo vhodné provést za různého působení intenzity slunečního záření a v ideálním případě při působení různých podmínek. Tímto bychom získali více dostupných dat, ze kterých by šlo mnohem lépe určit hodnoty teplotních koeficientů. Výsledné charakteristiky na základě takového zpracování by měly podobu plošného grafu.

3 Simulace chování testovaných panelů v modelové lokalitě

Druhým hlavním úkolem této diplomové práce je vytvořit simulaci chování jednotlivých fotovoltaických panelů v modelové lokalitě. Pro výpočty jsem použil dosažených hodnot z měření a dodaných hodnot získaných z místní meteostanice od vedoucího diplomové práce. Modelovou lokalitou je myšleno místo měření všech fotovoltaických panelů, tedy budova Fakulty elektrotechnické Západočeské univerzity. Podrobnější informace o zmíněné modelové lokalitě jsou uvedeny v jedné z podkapitol kapitoly věnující se Analýze vlastností a chování fotovoltaických panelů.

Simulaci chování testovaných panelů v modelové lokalitě jsem provedl ve třech provedeních. První výpočtová metoda pracuje se vstupními daty získanými z dostupného online matematického modelu PVGIS. Pro druhý simulační výpočet jsem využil získaných naměřených dat a určených teplotních koeficientů s použitím dat získaných z místní meteostanice. Poslední výpočtový model je založen na výpočtech ze vstupních dat naměřených za uplynulý rok 2016 z meteostanice umístěné na střeše budovy ZČU FEL. První a třetí metoda je aplikována na všechny druhy testovaných panelů včetně rozbitého panelu Q.Cells - SL1-80F. Druhá metoda je aplikována pouze pro ostatní čtyři druhy fotovoltaických panelů. Každá metoda simulace bude popsána v samostatné kapitole.

3.1 Simulace se vstupními daty z programu PVGIS

První simulační metodou byla zvolena simulace se vstupními daty z matematického modelu PVGIS. Data je možné získat z volně dostupného internetového portálu programu PVGIS. Program nabízí velkou řadu možností pro co nejpřesnější simulaci založené na uživatelem zvolených kritériích jako je druh FV panelu, účinnost, instalovaný výkon, typ konstrukčního uspořádání, sklon panelu a řady jiných možností. Pomocí programu PVGIS lze získat data pro denní či měsíční záření. Nutnou podmínkou je definice konkrétní modelové polohy, pro kterou chceme vstupní data získat. Jak již bylo napsáno, zvolený modelový bod odpovídá hodnotám 49.7239422N zeměpisné šířky a 13.3495939E zeměpisné délky.

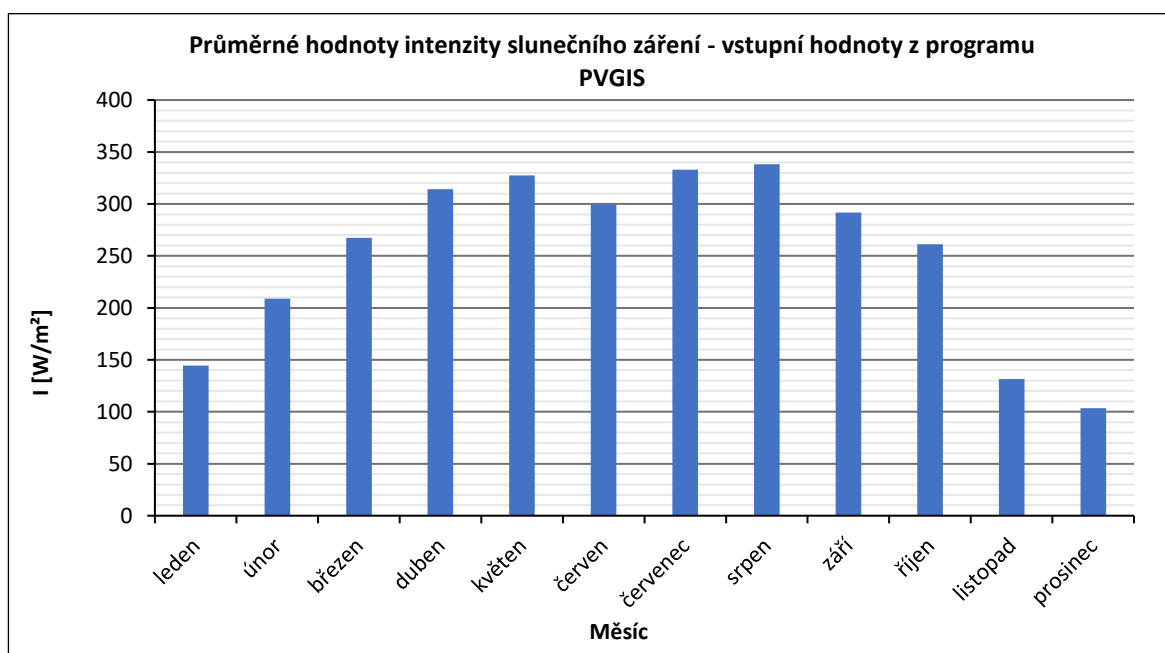
Pro takto definovaný bod jsem pomocí programu PVGIS získal potřebná data k dalším výpočtům. Všechny získané hodnoty byly zkontrolovány a vyčleněny na potřebná data. Pro následující výpočty je zapotřebí mít k dispozici hodnoty určené za průměrný den v měsíci.

Konkrétně je potřeba znát hodnoty teplot okolí, intenzit solárního záření a množství dopadajících energií na plochu. Získané hodnoty uvádím v tabulce s označením Tab. 3.1 a pro názornost přikládám grafické závislosti těchto hodnot.

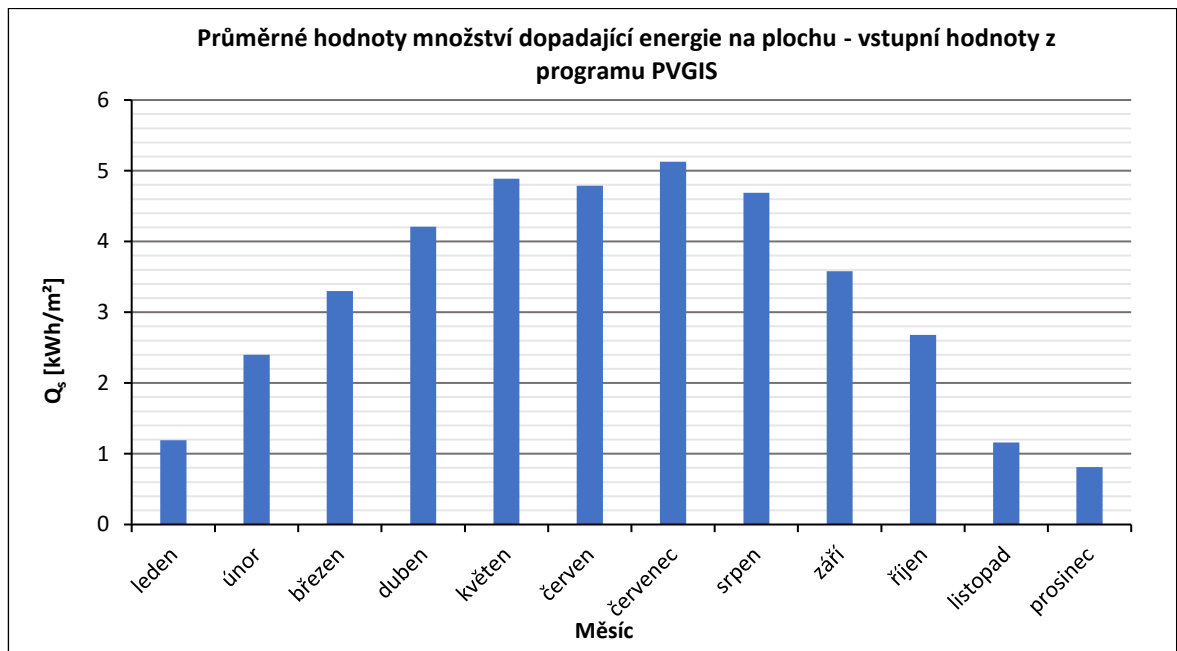
Tab. 3.1 Vstupní hodnoty získané z programu PVGIS

Měsíc	t_v [°C]	Q_s [kWh/m ²]	I [W/m ²]
leden	-0,2	1,19	144
únor	-0,8	2,4	209
březen	4,1	3,3	267
duben	9,1	4,21	314
květen	13,1	4,89	328
červen	17	4,79	300
červenec	19,1	5,13	333
srpen	18,1	4,69	338
září	14	3,58	292
říjen	8,1	2,68	261
listopad	4,1	1,16	131
prosinec	1,1	0,81	103

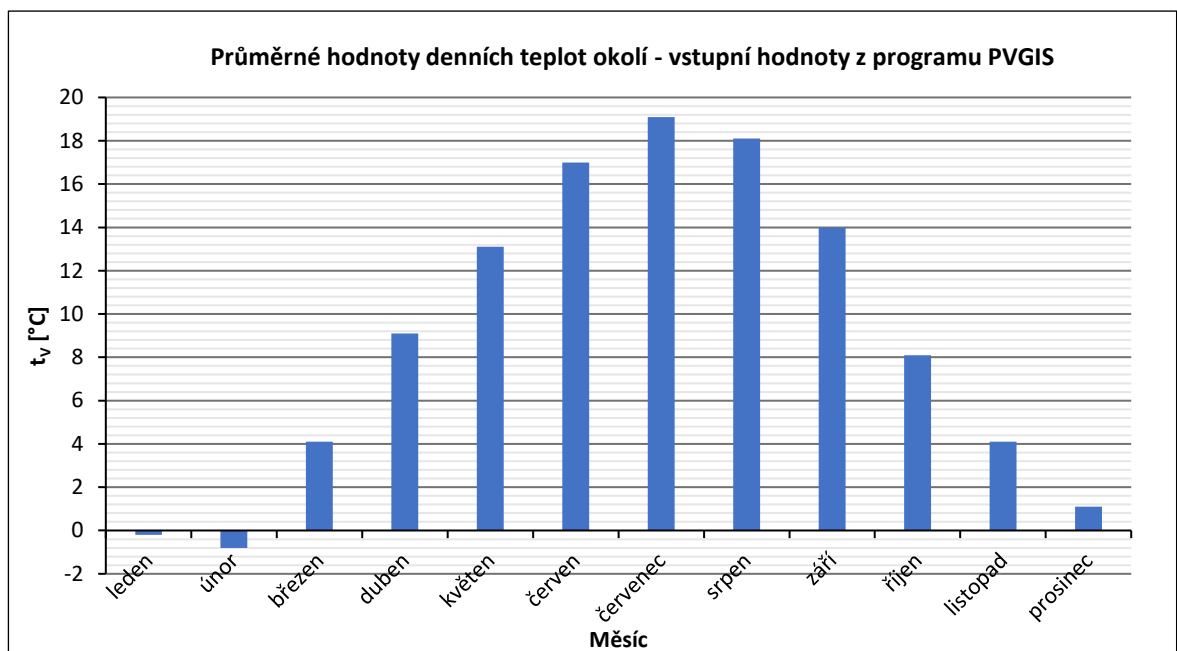
Na obrázku Obr. 3.1 je zobrazeno grafické vyjádření průměrných hodnot intenzity slunečního záření pro každý měsíc. Následující graf zobrazuje průměrné hodnoty množství dopadající energie na plochu se sklonem 35° orientovanou na jih (0°) během dne v měsíci. Posledním grafem je zobrazení průměrné denní teploty okolí pro jednotlivé měsíce.



Obr. 3.1 Graf průměrných hodnot intenzity slunečního záření během dne v měsíci – simulace ze získaných dat pomocí programu PVGIS



Obr. 3.2 Graf průměrných hodnot množství dopadající energie na plochu během dne v měsíci – simulace ze získaných dat pomocí programu PVGIS



Obr. 3.3 Graf průměrných denních teplot v měsíci – simulace ze získaných dat pomocí programu PVGIS

3.1.1 Výpočet účinnosti a množství vyrobené energie fotovoltaickými panely

Z teoretického předpokladu vlastností fotovoltaického panelu je zřejmé že podstatný vliv na jeho účinnost má teplota prostředí a dopadající intenzita. Na základě získaných dat z programu PVGIS je možné provést výpočet průměrné denní provozní teploty FV panelu dle vztahu (3.1).

$$t_{FV} = t_v + \left(\frac{NOCT-20}{800} \right) * I = -0,2 + \left(\frac{50-20}{800} \right) * 144,5 = 5,2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.1)$$

Kde t_v – průměrná hodnota teploty okolí dne v měsíci [$^\circ\text{C}$]

I – průměrná intenzita slunečního záření dne v měsíci [W/m^2]

NOCT – teplota panelu za nominálních provozních podmínek (Nominal Operating Cell Temperature)

Takto vypočtené hodnoty pro všechny panely přikládám v následující tabulce s označením Tab. 3.2.

Tab. 3.2 Tabulka vypočtených hodnot teplot fotovoltaických panelů pro jednotlivé měsíce – simulace ze vstupních dat programu PVGIS

Měsíc	Calyxo CX60	Q.Cells Q.SMART UF L 95	Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B	Q.Cells SL1-80F	Solartec SI 72-110 / 24 110WP
leden	5,2	5,4	5,2	5,4	4,7
únor	7,0	7,3	7,0	7,3	6,3
březen	14,1	14,5	14,1	14,5	13,1
duben	20,9	21,3	20,9	21,3	19,7
květen	25,4	25,8	25,4	25,8	24,2
červen	28,2	28,6	28,2	28,6	27,1
červenec	31,6	32,0	31,6	32,0	30,3
srpen	30,8	31,2	30,8	31,2	29,5
září	24,9	25,3	24,9	25,3	23,8
říjen	17,9	18,2	17,9	18,2	16,9
listopad	9,0	9,2	9,0	9,2	8,5
prosinec	5,0	5,1	5,0	5,1	4,6

Dále jsem vypočítal na základě uvedeného vztahu (3.2) jednotlivé účinnosti fotovoltaických panelů po celý rok.

$$\eta = \eta_{STC} * \left(1 - \gamma * (t_{FV} - t_{STC}) + \lambda * \log \frac{I}{I_{STC}} \right) = 0,0833 * \left(1 - 0,0025 * (5,2 - 25) + 0,12 * \log \frac{144,5}{1000} \right) = 0,079 = 7,9 \% \quad (3.2)$$

Kde η_{STC} – účinnost panelu při standardních podmínkách [-]

γ – koeficient změny výkonu v závislosti na teplotě [$\%/^\circ\text{C}$, $\%/K$]

t_{FV} – provozní teplota FV panelu [$^\circ\text{C}$]

t_{STC} – teplota při standardních podmínkách, definována $t_{STC} = 25$ [$^\circ\text{C}$]

λ – koeficient zohledňující hladinu intenzity dopadajícího slunečního záření, stanoven $\lambda = 0,12$ [-]

I_{STC} – intenzita slunečního záření při standardních podmínkách, definována $I_{STC} = 1000$ [W/m^2]

Přehled vypočtených účinností testovaných fotovoltaických panelů pro jednotlivé měsíce uvádím v tabulce Tab. 3.3.

Tab. 3.3 Tabulka vypočtených účinností FV panelů pro jednotlivé měsíce – simulace ze vstupních dat programu PVGIS

Měsíc	Calyxo CX60	Q.Cells Q.SMART UF L 95	Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B	Q.Cells SL1-80F	Solartec SI 72-110 / 24 110WP
leden	0,079	0,098	0,101	0,098	0,099
únor	0,080	0,100	0,102	0,100	0,100
březen	0,080	0,098	0,100	0,098	0,099
duben	0,079	0,096	0,097	0,096	0,097
květen	0,078	0,095	0,095	0,095	0,096
červen	0,077	0,093	0,093	0,093	0,094
červenec	0,077	0,093	0,092	0,093	0,093
srpen	0,077	0,093	0,092	0,093	0,094
září	0,078	0,094	0,095	0,094	0,095
říjen	0,079	0,097	0,098	0,097	0,097
listopad	0,078	0,096	0,098	0,096	0,097
prosinec	0,078	0,097	0,099	0,097	0,097

3.1.2 Výpočet energetické bilance

V této kapitole se budu věnovat postupu výpočtů týkající se energetické bilance, a to konkrétně kolik energie je schopný každý typ testovaného panelu vygenerovat v každém měsíci.

Pro výpočet jsem použil vstupních dat množství dopadající energie z programu PVGIS a dosadil je do níže uvedeného vzorce. Vzorec pojednává o součinu množství dopadající energie, účinnosti a plochy FV panelu. Výsledkem je vyrobená energie panelem během dne v jednotlivých měsících.

$$Q_{FVP} = \eta * Q_S * S_{FVP} = 0,098 * 1,19 * 0,72 = \mathbf{0,07 kWh} \quad (3.3)$$

Kde η – účinnost panelu pro konkrétní měsíc [-]

Q_S – množství dopadající energie [kWh/m²]

S_{FVP} – plocha fotovoltaického panelu [m²]

Pokud výsledek z předchozího výpočtu vynásobíme počtem dnů v daném měsíci, lze jednoduše určit hodnotu vyrobené energie konkrétním panelem za daný měsíc.

$$Q_{FVP-měsíc} = Q_{FVP} * n = 0,0677 * 31 = \mathbf{2,10 \text{ kWh}} \quad (3.4)$$

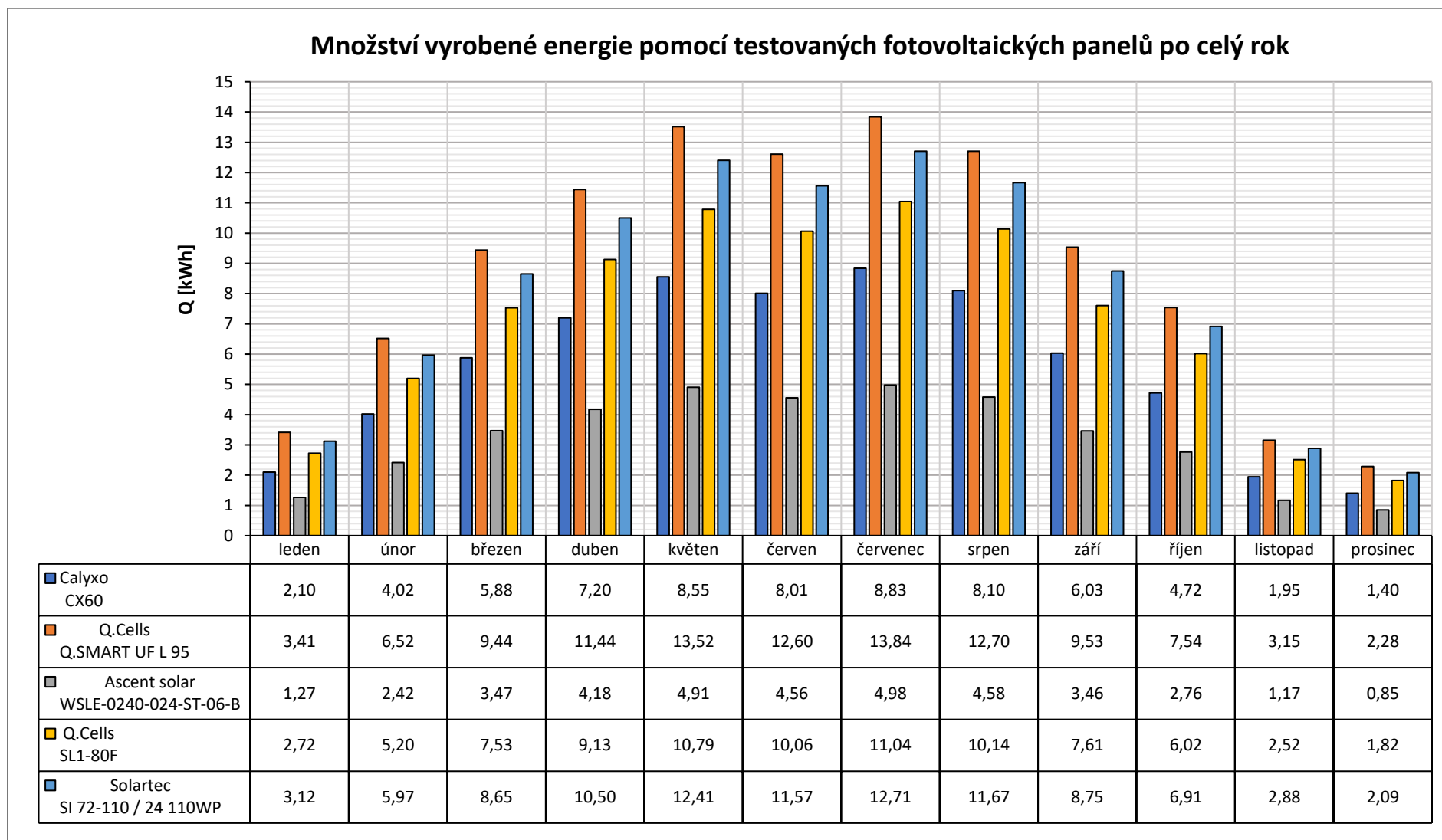
Kde Q_{FVP} – energie vyrobená panelem za jeden den v měsíci [kWh/m²]

n – počet dnů v měsíci [-]

Výsledné hodnoty vyrobené energie panelu za den i měsíc pro každý typ FV uvádím v tabulce Tab. 3.4 a následně v grafické závislosti uvedené na další stránce s číselným označením Obr. 3.4.

Tab. 3.4 Vypočtené hodnoty vyrobené energie testovaných fotovoltaických panelů za den a měsíc – simulace ze vstupních dat programu PVGIS

Měsíc	Calyxo CX60		Q.Cells Q.SMART UF L 95		Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B		Q.Cells SL1-80F		Solartec SI 72-110 / 24 110WP	
	Q _{DEN} [kWh]	Q _{MĚSÍC} [kWh]	Q _{DEN} [kWh]	Q _{MĚSÍC} [kWh]	Q _{DEN} [kWh]	Q _{MĚSÍC} [kWh]	Q _{DEN} [kWh]	Q _{MĚSÍC} [kWh]	Q _{DEN} [kWh]	Q _{MĚSÍC} [kWh]
leden	0,07	2,10	0,11	3,41	0,04	1,27	0,09	2,72	0,10	3,12
únor	0,14	4,02	0,22	6,52	0,08	2,42	0,18	5,20	0,21	5,97
březen	0,19	5,88	0,30	9,44	0,11	3,47	0,24	7,53	0,28	8,65
duben	0,24	7,20	0,38	11,44	0,14	4,18	0,30	9,13	0,35	10,50
květen	0,28	8,55	0,44	13,52	0,16	4,91	0,35	10,79	0,40	12,41
červen	0,27	8,01	0,42	12,60	0,15	4,56	0,34	10,06	0,39	11,57
červenec	0,28	8,83	0,45	13,84	0,16	4,98	0,36	11,04	0,41	12,71
srpen	0,26	8,10	0,41	12,70	0,15	4,58	0,33	10,14	0,38	11,67
září	0,20	6,03	0,32	9,53	0,12	3,46	0,25	7,61	0,29	8,75
říjen	0,15	4,72	0,24	7,54	0,09	2,76	0,19	6,02	0,22	6,91
listopad	0,06	1,95	0,11	3,15	0,04	1,17	0,08	2,52	0,10	2,88
prosinec	0,05	1,40	0,07	2,28	0,03	0,85	0,06	1,82	0,07	2,09



Obr. 3.4 Grafické zobrazení vypočteného množství vyrobené energie jednotlivými FVP po celý rok – simulace s daty PVGIS

3.1.3 Zhodnocení výsledků

Porovnáním dosažených výsledků je patrné, že nejvíce energie vyrobí panel s typovým označením Q.SMART UF L 95 od výrobce Q.Cells. Panel je založen na technologii CIGS v celoskleněném provedení. Druhým nejvíce produktivním panelem je FVP od firmy Solartec SI 72-110 / 24 110WP, který produkuje obdobné množství hodnot v zimních měsících jako panel Q.Cells Q.SMART UF L 95. Třetím nejvíce produktivním panelem je panel od společnosti Q.Cells s typovým označením SL1-80F. Je založen na technologii CIGS s rámovým konstrukčním provedením. Další porovnávaný panel je celoskleněný, založený na technologii CdTe od výrobce Calyxo CX60. Panel s technologií CIGS a flexibilním provedením od výrobce Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B je nejméně produktivní. V případě této výpočtové simulace dosahují nejvyšších hodnot vyrobené energie všechny panely v měsíci květnu a poté v červenci.

3.2 Simulace se vstupními daty z meteorostanice s použitím teplotních koeficientů

Druhou zvolenou metodou je simulace na základě vstupních dat z místní meteorostanice, ve které jsem uplatnil mnoho výpočtových metod a získané rovnice teplotních koeficientů jednotlivých panelů. Postup provedeného výpočtu v této simulaci je do jisté míry odlišný od předchozího typu simulačního výpočtu. Následující postup se liší v získání hodnot intenzity slunečního záření, a především v matematickém modelu vývoje provozní teploty fotovoltaických panelů. Hlavní částí této simulační metody bylo provedení velkého počtu matematických výpočtů, které se pokusím vysvětlit a zdůvodnit v následujících řádcích.

První výpočet se zabývá určením deklinace Slunce. Deklinace je úhel, který svírá spojnice středu Slunce se středem Země a rovinou zemského rovníku. Je tedy zřejmé, že hodnoty deklinace s měnící se polohou Slunce a Země jsou každým dnem jiné. Pro vypočtení hodnot deklinace jsem použil vztah (3.5) a výpočet jsem provedl vždy pro konkrétní den v roce.

$$\delta = 23,45^\circ * \sin(0,98^\circ * D + 29,7^\circ * M - 109^\circ) = 23,45^\circ * \sin(0,98^\circ * 1 + 29,7^\circ * 1 - 109^\circ) = -22,964^\circ \quad (3.5)$$

Kde D – pořadí dne v měsíci [-]

M – pořadí měsíce v roce [-]

Pro kompaktnost zobrazení uvádím vybrané hodnoty vypočtené deklinace pro určené dny, ty jsou obsahem tabulky s označením Tab. 3.5. Kompletní tabulka bude přiložena se zbytkem vypočtených dat na přiloženém datovém médiu.

Tab. 3.5 Tabulka s vypočtenými hodnotami deklinace pro vybrané dny

Den v měsíci	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
1	-22,964	-17,596	-7,604	4,386	15,223	22,061	23,102	18,074	8,297	-3,660	-14,656	-21,800
5	-22,586	-16,495	-6,069	5,951	16,407	22,553	22,773	17,010	6,778	-5,235	-15,873	-22,340
10	-21,965	-15,011	-4,112	7,866	17,778	23,019	22,212	15,569	4,835	-7,169	-17,289	-22,867
15	-21,183	-13,417	-2,125	9,725	19,019	23,317	21,489	14,014	2,858	-9,049	-18,579	-23,227
20	-20,247	-11,725	-0,123	11,512	20,122	23,445	20,608	12,357	0,859	-10,864	-19,733	-23,418
25	-19,162	-9,947	1,881	13,215	21,077	23,401	19,577	10,610	-1,146	-12,600	-20,743	-23,437
29	-18,193	-8,472	3,474	14,508	21,730	23,243	18,649	9,155	-2,744	-13,922	-21,443	-23,329
30	-17,937	-	3,870	14,821	21,878	23,186	18,403	8,785	-3,142	-14,243	-21,602	-23,285
31	-17,676	-	4,265	-	22,019	-	18,152	8,411	-	-14,559	-	-23,234

Další nutnou početní veličinou pro následující postup výpočtu je časový úhel slunce τ [°]. Výpočet časového úhlu jsem provedl na základě úvahy, kdy v pravé poledne, tedy v čase 12:00 je časový úhel slunce roven 0°. Ve směru hodinových ručiček s každou následující hodinou narůstá o 15°. Stanovil jsem hodnoty tohoto úhlu pro celý den v intervalu pěti minut. Úhel se od půlnoci, kdy má hodnotu -180° pozvolna mění do kladných hodnot, až jeho maximální hodnota nabyde 180°.

Na základě stanoveného časového úhlu slunce, hodnoty zeměpisné šířky a vypočtené deklinace slunce jsem pomocí vztahu (3.6) vypočetl výšku slunce nad obzorem. Tento vzorec byl aplikován v návaznosti na časový interval pěti minut vypočteného časového úhlu slunce.

$$\sin(h) = \sin(\delta) * \sin(\varphi) + \cos(\delta) * \cos(\varphi) * \cos(\tau) \rightarrow h = \arcsin[\sin(\delta) * \sin(\varphi) + \cos(\delta) * \cos(\varphi) * \cos(\tau)]$$

$$h = \arcsin[\sin(\delta) * \sin(\varphi) + \cos(\delta) * \cos(\varphi) * \cos(\tau)] = \arcsin[\sin(-22,964^\circ) * \sin(50^\circ) + \cos(-22,964^\circ) * \cos(50^\circ) * \cos(0^\circ)] = \mathbf{17,04^\circ} \quad (3.6)$$

Kde δ – deklinace Slunce [°]

φ – zeměpisná šířka [°]

τ – sluneční časový úhel [°]

Další výpočet se týkal určení hodnoty azimutu slunce a [°]. Výpočet je možné provést při znalosti vypočtené hodnoty výšky slunce nad obzorem, vypočtené deklinace slunce a známého časového úhlu slunce.

$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta)}{\cos(h)} * \sin(\tau) \rightarrow a = \arcsin \left[\frac{\cos(\delta)}{\cos(h)} * \sin(\tau) \right]$$

$$a = \arcsin \left[\frac{\cos(\delta)}{\cos(h)} * \sin(\tau) \right] = \arcsin \left[\frac{\cos(-22,964)}{\cos(17,04)} * \sin(0) \right] = \mathbf{0^\circ} \quad (3.7)$$

Kde δ – deklinace Slunce [°]

h – výška slunce nad obzorem [°]

τ – sluneční časový úhel [°]

Předposledním provedeným výpočtem byl výpočet úhlu dopadu. Úhel dopadu je úhel mezi spojnicí středu Slunce a ozářené plochy a vnější kolmicí vztyčenou nad ozářenou plochou. Výsledný vztah je uveden níže s označením (3.8).

$$\cos(\gamma) = \sin(h) * \cos(\alpha) + \cos(h) * \sin(\alpha) * \cos(a - a_s) =$$

$$\sin(17,04^\circ) * \cos(35^\circ) + \cos(17,04^\circ) * \sin(35^\circ) * \cos(0^\circ) = \mathbf{0,788} \quad (3.8)$$

Kde α – úhel sklonu [°]

h – výška slunce nad obzorem [°]

a – azimut Slunce [°]

a_s – azimutový úhel normály osluněné plochy [°]

Jelikož byly panely vždy natočené na jih, můžeme hodnotu azimutového úhlu normály osluněné plochy zanedbat a počítat pouze s hodnotou azimutu Slunce.

Tímto krokem se dostávám ke stanovení intenzity slunečního záření, kterou je zapotřebí přepočítat pomocí již známého úhlu dopadu. Vynásobením úhlu dopadu $\cos(\gamma)$ s globální intenzitou získáme intenzitu slunečního záření dopadající na plochu panelu. Vstupní hodnoty globální intenzity záření jsem získal z místní meteorostanice.

$$I = I_n * \cos(\gamma) = 74 * 0,788 = \mathbf{58,3 \text{ W/m}^2} \quad (3.9)$$

Kde I_n – globální hodnota intenzity záření [W/m^2]

$\cos(\gamma)$ – vypočtený úhel dopadu [rad]

Všechny výše uvedené výpočty byly aplikovány vždy pro konkrétní den v časovém intervalu pěti minut v rozsahu získaných dat z minulého roku. Výpočtový interval jsem zachoval vzhledem k pořízeným datům z meteostanice. Vzhledem k objemu vypočtených dat zde neuvádím vypočtené hodnoty z výše zmíněných vzorců. Všechny provedené výpočty budou součástí této diplomové práce v elektronické podobě na přiloženém médiu.

Získané nenulové hodnoty intenzity slunečního záření ze všech provedených výpočtů jsem zprůměroval za konkrétní den a poté v daném měsíci. Dále je nutné znát působící teplotu okolí a množství dopadající energie. Pro vyhodnocení těchto dílčích hodnot jsem využil nabízené možnosti tabulkového procesoru Microsoft Excel. Vytvořil jsem kontingenční tabulky, kde jsem definoval jednotlivé měsíce a tím získal požadované zprůměrované hodnoty. Touto cestou jsem získal působící teploty okolí pro jednotlivé měsíce. Pro získání hodnot množství dopadající energie bylo zapotřebí provést výpočtovou metodu založenou na součinu hodnot intenzity slunečního záření za určitý čas.

$$Q_{Svyp} = \frac{(I*t)}{1000} = \frac{(31*9,833)}{1000} = \mathbf{0,304 kWh} \quad (3.10)$$

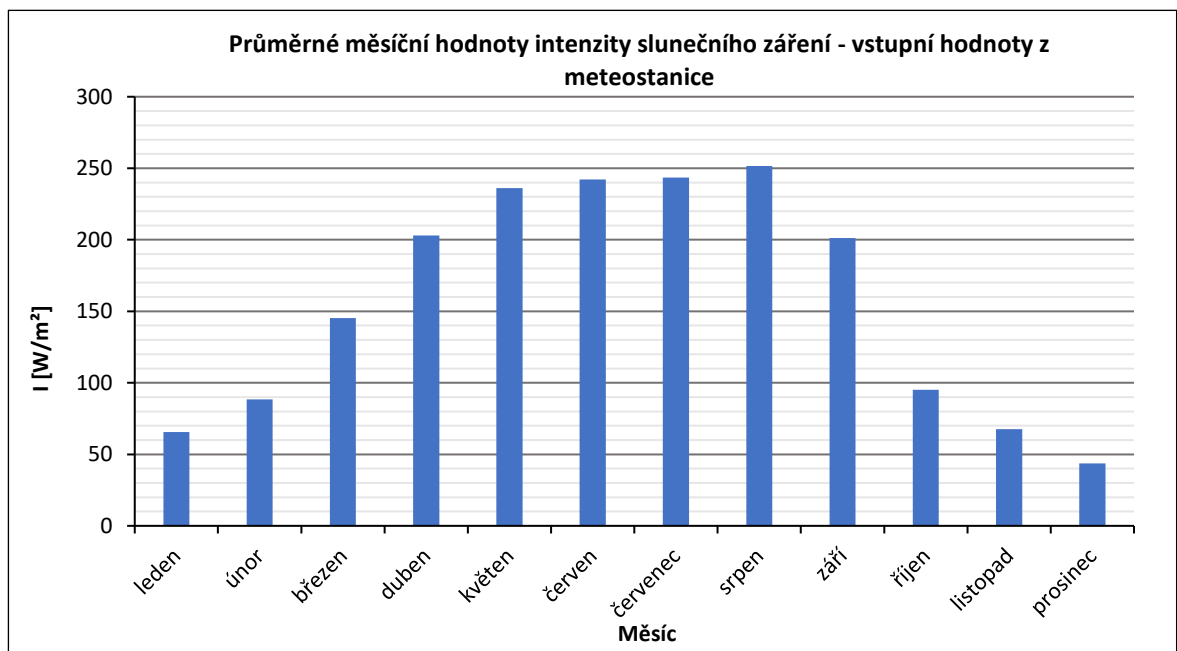
Kde I – intenzita slunečního záření [W/m^2]

t – časový interval [hod]

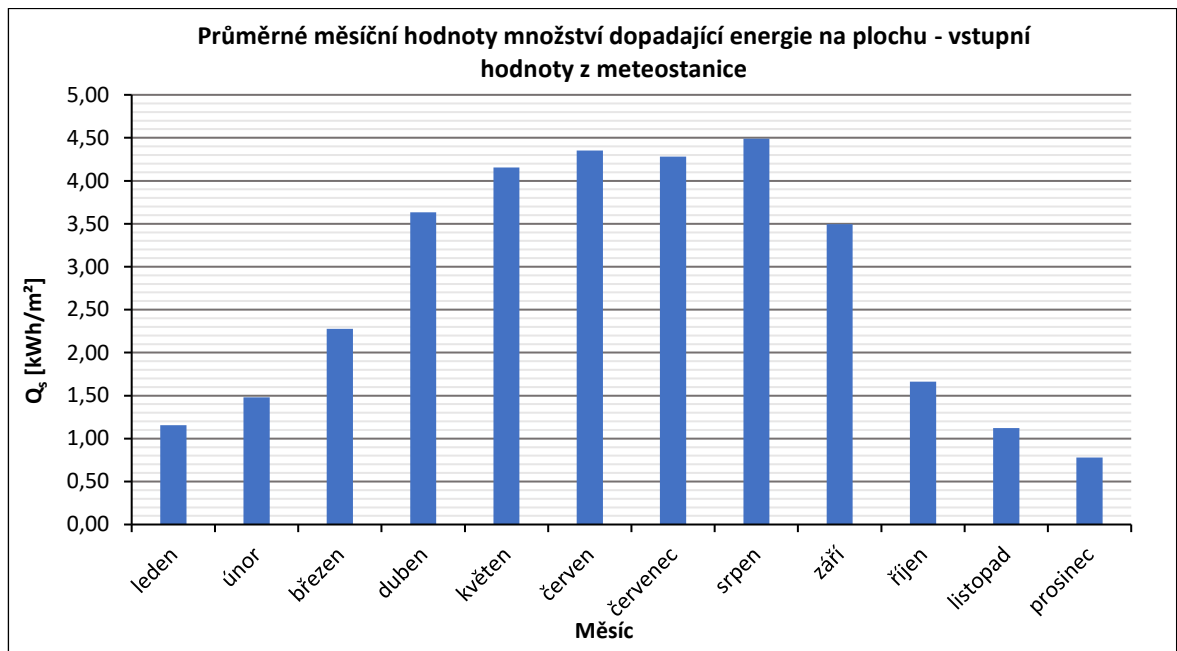
Spočítal jsem dílčí hodnoty energie po celý den v časovém intervalu pěti minut. Postup byl aplikován na všechny dny a měsíce. Z výsledných hodnot jsem vyloučil nulové hodnoty, abych zamezil vlivu zkreslení, a poté jsem hodnoty nasčítal pomocí kontingenční tabulky v tabulkovém procesoru. Vypočtené vstupní hodnoty této simulace uvádím v tabulce s označením Tab. 3.6. Dále na obrázcích Obr. 3.6, Obr. 3.7 a Obr. 3.8 zobrazuji výsledné grafické závislosti průměrných měsíčních hodnot teploty okolí, dopadající intenzity a množství dopadající energie.

Tab. 3.6 Vstupní hodnoty získané a vypočtené z dat místní meteorostanice pro simulaci pomocí vypočtených koeficientů

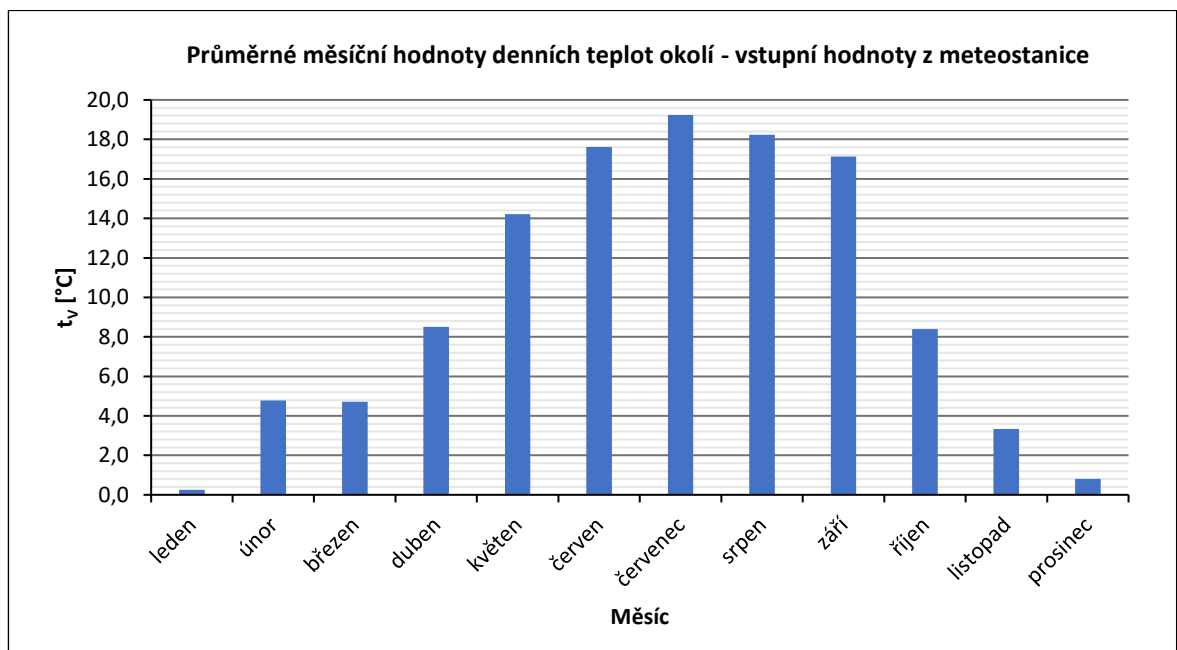
Měsíc	t_v [°C]	Q_s [kWh/m ²]	I [W/m ²]
leden	0,3	1,16	66
únor	4,8	1,48	88
březen	4,7	2,28	145
duben	8,5	3,63	203
květen	14,2	4,16	236
červen	17,6	4,35	242
červenec	19,2	4,28	243
srpen	18,2	4,49	252
září	17,1	3,50	201
říjen	8,4	1,66	95
listopad	3,3	1,12	68
prosinec	0,8	0,78	44



Obr. 3.5 Graf průměrných hodnot intenzity slunečního záření během dne v měsíci – simulace ze vstupních dat místní meteorostanice s použitím vypočtených koeficientů



Obr. 3.6 Graf průměrných hodnot množství dopadající energie na plochu během dne v měsíci – simulace ze vstupních dat místní meteostanice s použitím vypočtených koeficientů



Obr. 3.7 Graf průměrných denních hodnot v měsíci – simulace ze vstupních dat místní meteostanice s použitím vypočtených koeficientů

3.2.1 Výpočet účinnosti a množství vyrobené energie fotovoltaickými panely

Následující odstavce je věnován výpočtu provozní teploty fotovoltaických panelů založeného na aplikaci vypočtených koeficientů ohřevu a chladnutí. Proces získání těchto koeficientů byl nastíněn v kapitole zabývající se analýzou vlastností a chování fotovoltaických panelů. Hlavní myšlenka této simulační metody je postavena na matematickém výpočtu ohřevu

a chladnutí fotovoltaických panelů pomocí získaných rovnic koeficientů. Pro výpočet výsledné teploty bylo zapotřebí provést komplexní výpočet všech dosavadních hodnot pro získání dopadající intenzity slunečního záření na plochu panelu. Tato složka představuje podstatnou část nutnou k dalšímu výpočtu.

Koeficienty ohřevu a chladnutí jsou definovány jako přírůstek nebo úbytek teplot v daném časovém intervalu v závislosti na dopadající intenzitě. Pro upřesnění uvádím, že časovou měrou jsou v tomto případě minuty. Výpočet jsem provedl na základě úvahy ohřevu a chladnutí daného fotovoltaického panelu v závislosti působící intenzity. Lze říci, že v souvislosti s proměnlivostí vypočtené dopadající intenzity jsem v každém časovém intervalu porovnával aktuální hodnotu s následující hodnotou dopadající intenzity slunečního záření a podle charakteru aplikoval výpočtový vzorec. Zde se nabízejí dvě možné varianty, a to přírůstku anebo úbytku následující hodnoty. V případě, že následující hodnota byla vyšší než aktuální, uvažoval jsem charakter ohřevu fotovoltaického panelu a v opačném případě, kdy následující hodnota dopadající intenzity byla nižší než aktuální, byl zde předpoklad projevu chladnutí. Pro případ, kdy dopadající intenzita slunečního záření byla nulová, to znamená v časové oblasti, než slunce vychází, popřípadě po jeho západu, jsem uvažoval ustálený stav bez působení vlivu ohřevu či chlazení. Díky této úvaze jsem vytvořil podmínkovou funkci zohledňující tyto stavy a pro všechny případy provedl vývojový výpočet teploty panelu. V případě první nenulové intenzity dopadajícího záření jsem použil hodnotu teploty okolí jako počáteční provozní teplotu FV panelu. Následující výpočty byly navázány na aktuální hodnotu vypočtené teploty.

$$t_{FV} = t_v \pm (K_{TEP} * t) [^{\circ}\text{C}] \quad (3.11)$$

Kde t_v – teplota okolí (pro první nenulovou hodnotu „I“), poté teplota FVP [$^{\circ}\text{C}$]

K_{TEP} – teplotní koeficient ohřevu nebo chladnutí [$^{\circ}\text{C}/\text{min}$]

t – časový interval, v tomto případě $t = 5$ [min]

Za teplotní koeficient ve vztahu (3.11) je pro každý panel dosazena rovnice získaná aproximací naměřených a vypočtených hodnot, která spočte aktuální hodnotu koeficientu pro konkrétní hodnotu dopadající intenzity slunečního záření.

Aplikací výše uvedeného vztahu pro vybrané dny a všechny typy fotovoltaických panelů jsem získal výsledné provozní teploty během daného dne. Nevýhoda takto použitého vztahu se projevila kumulací hodnot a výrazným zvyšováním provozní teploty panelu v případech vysokého působení dopadající intenzity. To se ve výsledku projevilo v tak výrazné míře, že hodnoty násobně převyšovaly skutečně naměřené hodnoty. Z tohoto důvodu jsem se snažil provést korekci této rovnice tak, aby zohledňovala maximální možnou teplotu při dané intenzitě záření. Maximální dosažené hodnoty teplot jsou uvedeny v tabulkách vyhodnocení jednotlivých koeficientů po korekci dat. Myšlenka zohlednění naměřených hodnot byla z části naplněna, a to pouze pro nejvyšší dosažené teploty při nejvyšší měřené intenzitě. Program Microsoft Excel ze sady Microsoft Office bohužel nedokáže při použití podmínkové funkce „KDYŽ“ s vnořenou funkcí „A“, zpracovat více podmínkových argumentů. Výsledek korekce výpočtového vztahu byl nastaven na rozpoznání velikosti intenzity slunečního záření a v případě překročení limitní hodnoty nepočítal s předchozí hodnotou teploty panelu, ale s hodnotou maximální skutečně naměřené teploty. Výsledkem této částečné korekce se vypočtené hodnoty provozní teploty přiblížily skutečným hodnotám. Takto vypočtené hodnoty jsem poté zprůměroval pro každý den a následně i měsíc.

Tab. 3.7 Tabulka vypočtených hodnot teplot fotovoltaických panelů pro jednotlivé měsíce – simulace ze vstupních dat místní meteorologie s použitím vypočtených koeficientů

Měsíc	Calyxo CX60	Q.Cells Q.SMART UF L 95	Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B	Solartec SI 72-110 / 24 110WP
leden	0,6	4,7	3,2	2,4
únor	5,5	11,4	6,8	7,9
březen	18,6	26,4	24,6	17,4
duben	29,6	42,4	43,7	23,4
květen	36,4	39,7	42,8	24,9
červen	39,8	40,7	45,1	26,6
červenec	40,9	45,0	49,1	27,6
srpen	36,4	64,7	67,5	36,2
září	42,0	55,7	59,7	42,2
říjen	9,6	16,5	11,6	12,3
listopad	3,3	7,6	5,7	5,2
prosinec	0,4	2,9	1,4	1,4

Následujícím krokem bylo určení účinností jednotlivých druhů fotovoltaických panelů. Pro získání hodnot účinností jsem použil již zmíněného vztahu (3.2) z předchozí simulace. Vypočtené hodnoty pro všechny měsíce jsou uvedeny v tabulce Tab. 3.8.

Tab. 3.8 Tabulka vypočtených účinností FV panelů pro jednotlivé měsíce – simulace ze vstupních dat místní meteostanice s použitím vypočtených koeficientů

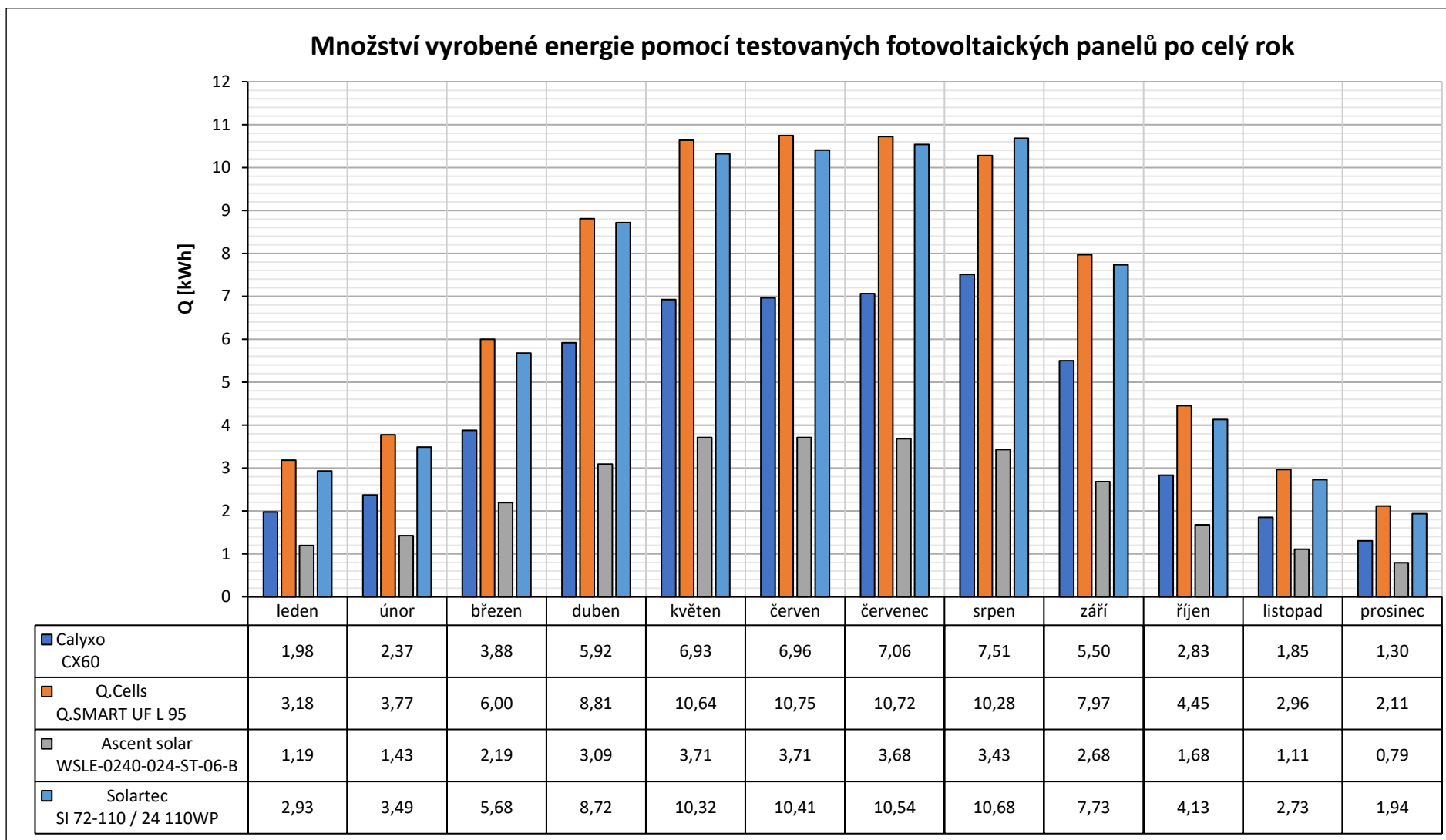
Měsíc	Calyxo CX60	Q.Cells Q.SMART UF L 95	Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B	Solartec SI 72-110 / 24 110WP
leden	0,077	0,095	0,098	0,095
únor	0,077	0,094	0,098	0,095
březen	0,076	0,090	0,091	0,094
duben	0,075	0,086	0,083	0,093
květen	0,075	0,088	0,085	0,094
červen	0,074	0,088	0,083	0,093
červenec	0,074	0,086	0,081	0,093
srpen	0,075	0,079	0,072	0,090
září	0,073	0,081	0,075	0,086
říjen	0,076	0,092	0,095	0,094
listopad	0,076	0,094	0,097	0,095
prosinec	0,075	0,093	0,097	0,094

3.2.2 Výpočet energetické bilance

V zájmu zjištění hodnot výpočtu energetické bilance, tedy kolik daný fotovoltaický panel dokáže vyrobit energie v každém měsíci jsem provedl výpočet na základě uvedených vztahů s označením (3.3), (3.4) v simulaci výpočtů pomocí dat z programu PVGIS. Vypočtené hodnoty vyrobené energie za den a měsíc jsou zobrazeny v tabulce s označením Tab. 3.9.

Tab. 3.9 Vypočtené hodnoty vyrobené energie testovaných fotovoltaických panelů za den a měsíc – simulace ze vstupních dat místní meteostanice s použitím vypočtených koeficientů

Měsíc	Calyxo CX60		Q.Cells Q.SMART UF L 95		Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B		Solartec SI 72-110 / 24 110WP	
	Q _{DEN} [kWh]	Q _{MĚSÍC} [kWh]	Q _{DEN} [kWh]	Q _{MĚSÍC} [kWh]	Q _{DEN} [kWh]	Q _{MĚSÍC} [kWh]	Q _{DEN} [kWh]	Q _{MĚSÍC} [kWh]
leden	0,064	1,976	0,103	3,184	0,039	1,194	0,095	2,930
únor	0,082	2,374	0,130	3,772	0,049	1,426	0,120	3,489
březen	0,125	3,878	0,194	6,000	0,071	2,193	0,183	5,679
duben	0,197	5,920	0,294	8,811	0,103	3,090	0,291	8,716
květen	0,223	6,926	0,343	10,636	0,120	3,709	0,333	10,324
červen	0,232	6,963	0,358	10,749	0,124	3,712	0,347	10,407
červenec	0,228	7,060	0,346	10,722	0,119	3,684	0,340	10,541
srpen	0,242	7,512	0,332	10,279	0,111	3,431	0,345	10,680
září	0,183	5,498	0,266	7,968	0,089	2,682	0,258	7,732
říjen	0,091	2,830	0,144	4,452	0,054	1,675	0,133	4,131
listopad	0,062	1,847	0,099	2,964	0,037	1,110	0,091	2,729
prosinec	0,042	1,300	0,068	2,111	0,026	0,793	0,062	1,937



Obr. 3.8 Grafické zobrazení vypočteného množství vyrobené energie jednotlivými FVP po celý rok – simulace s daty z meteostanice s použitím koeficientů

3.2.3 Zhodnocení výsledků

Grafická závislost zobrazuje hodnoty vyrobené energie pomocí testovaných panelů v daném měsíci. Výsledkem této simulace je získání hodnot na základě uplatnění výpočtových vztahů a zjištění vývoje provozní teploty fotovoltaických panelů uplatněním a aplikací spočteného teplotního činitele. Porovnáním dosažených výsledných hodnot zjistíme, že nejvíce vyrobené energie produkuje panel od výrobce Q.Cells Q.SMART UF L 95 s technologií CIGS. Panel dosahuje nejvyšších hodnot ve všech měsících mimo měsíce srpna. Druhým nejvíce produktivním panelem je FVP od výrobce Solartec SI 72-110 / 24 110WP. Ten dosahuje o něco nižších hodnot produkované energie a v měsíci srpnu dokáže vyrobit více energie než panel od výrobce Q.Cells. Panely, u kterých je použita technologie CIGS dokáží vyrobit nejvíce energie ve třech po sobě jdoucích měsících květnu, červnu a červenci. V případě panelu s technologií CdTe od výrobce Calyxo a panelu s technologií monokrystalického křemíku od výrobce Solartec si lze povšimnout, že mimo měsíců května, června a července je nejvíce produktivním měsícem srpen. V měsíci srpnu je vidět u těchto dvou typů panelů pozvolný nárůst hodnoty vyrobené energie.

3.3 Simulace se vstupními daty z meteostanice

Poslední simulační metodou bylo vytvoření výpočtů pouze z dostupných dat z místní meteostanice, která je umístěna na střeše budovy Fakulty elektrotechnické Západočeské univerzity. Pro výpočet jsem použil data od vedoucího diplomové práce za uplynulý rok 2016. Postup aplikovaného výpočtu je ve své podstatě identický jako v případě první simulační metody, rozdílnou částí jsou pouze vypočtené vstupní hodnoty.

Hodnoty působící teploty okolí jsem určil zprůměrováním naměřených dat pro každý den a ke zpracování jsem využil možnosti kontingenční tabulky. Pro získání hodnot množství dopadající energie bylo zapotřebí provést výpočtovou metodu, kterou jsem použil v druhé simulační metodě dle uvedeného vztahu (3.10). Tímto způsobem jsem spočítal dílčí hodnoty energie po celý den v časovém intervalu pěti minut. Hodnoty měsíční průměrné intenzity slunečního záření jsem použil identické jako v druhé simulační metodě, kdy jsem podrobil vstupní hodnoty globální intenzity z meteostanice přepočtu na dopadající intenzitu na plochu panelu. Z důvodu použití stejných hodnot zde neuvádím grafické závislosti.

Tab. 3.10 Vstupní hodnoty získané a vypočtené z dat místní meteorologické stanice

Měsíc	t_v [°C]	Q_s [kWh/m ²]	I [W/m ²]
leden	0,3	1,16	66
únor	4,8	1,48	88
březen	4,7	2,28	145
duben	8,5	3,63	203
květen	14,2	4,16	236
červen	17,6	4,35	242
červenec	19,2	4,28	243
srpen	18,2	4,49	252
září	17,1	3,50	201
říjen	8,4	1,66	95
listopad	3,3	1,12	68
prosinec	0,8	0,78	44

3.3.1 Výpočet účinnosti a množství vyrobené energie fotovoltaickými panely

Postup výpočtu provozní teploty fotovoltaických panelů je totožný jako v případě simulace se vstupními daty z programu PVGIS dle vztahu (3.1). Vypočtené hodnoty uvádím v následující tabulce s označením Tab. 3.11. Stejný postup výpočtu, jako v předchozí simulaci, byl aplikován i pro zjištění hodnot účinnosti jednotlivých druhů FV panelů. Pro výpočet byl použit výpočetní vztah s označením (3.2). Tabulku s vypočtenými hodnotami účinnosti pro všechny druhy FV panelů uvádím níže (Tab. 3.12).

Tab. 3.11 Tabulka vypočtených hodnot teplot fotovoltaických panelů pro jednotlivé měsíce – simulace ze vstupních dat z místní meteorologické stanice

Měsíc	Calyxo CX60	Q.Cells Q.SMART UF L 95	Ascent solar WSLE-0240-024-ST- 06-B	Q.Cells SL1-80F	Solartec SI 72-110 / 24 110WP
leden	3,7	3,9	3,7	3,9	3,4
únor	9,1	9,2	9,1	9,2	8,6
březen	11,7	11,9	11,7	11,9	11,0
duben	18,8	19,2	18,8	19,2	17,8
květen	26,1	26,5	26,1	26,5	24,9
červen	29,9	30,3	29,9	30,3	28,7
červenec	31,4	31,9	31,4	31,9	30,2
srpen	30,9	31,3	30,9	31,3	29,6
září	27,2	27,5	27,2	27,5	26,2
říjen	13,2	13,4	13,2	13,4	12,7
listopad	6,9	7,0	6,9	7,0	6,5
prosinec	3,2	3,2	1,4	3,2	2,9

Tab. 3.12 Tabulka vypočtených účinností FV panelů pro jednotlivé měsíce – simulace ze vstupních dat z místní meteorologické stanice

Měsíc	Calyxo CX60	Q.Cells Q.SMART UF L 95	Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B	Q.Cells SL1-80F	Solartec SI 72-110 / 24 110WP
leden	0,077	0,097	0,099	0,097	0,097
únor	0,077	0,096	0,098	0,096	0,096
březen	0,079	0,097	0,099	0,097	0,098
duben	0,079	0,097	0,097	0,097	0,097
květen	0,078	0,094	0,094	0,094	0,095
červen	0,077	0,093	0,093	0,093	0,094
červenec	0,077	0,093	0,092	0,093	0,093
srpen	0,077	0,093	0,092	0,093	0,094
září	0,077	0,093	0,093	0,093	0,094
říjen	0,077	0,095	0,096	0,095	0,095
listopad	0,077	0,096	0,098	0,096	0,096
prosinec	0,076	0,095	0,098	0,095	0,095

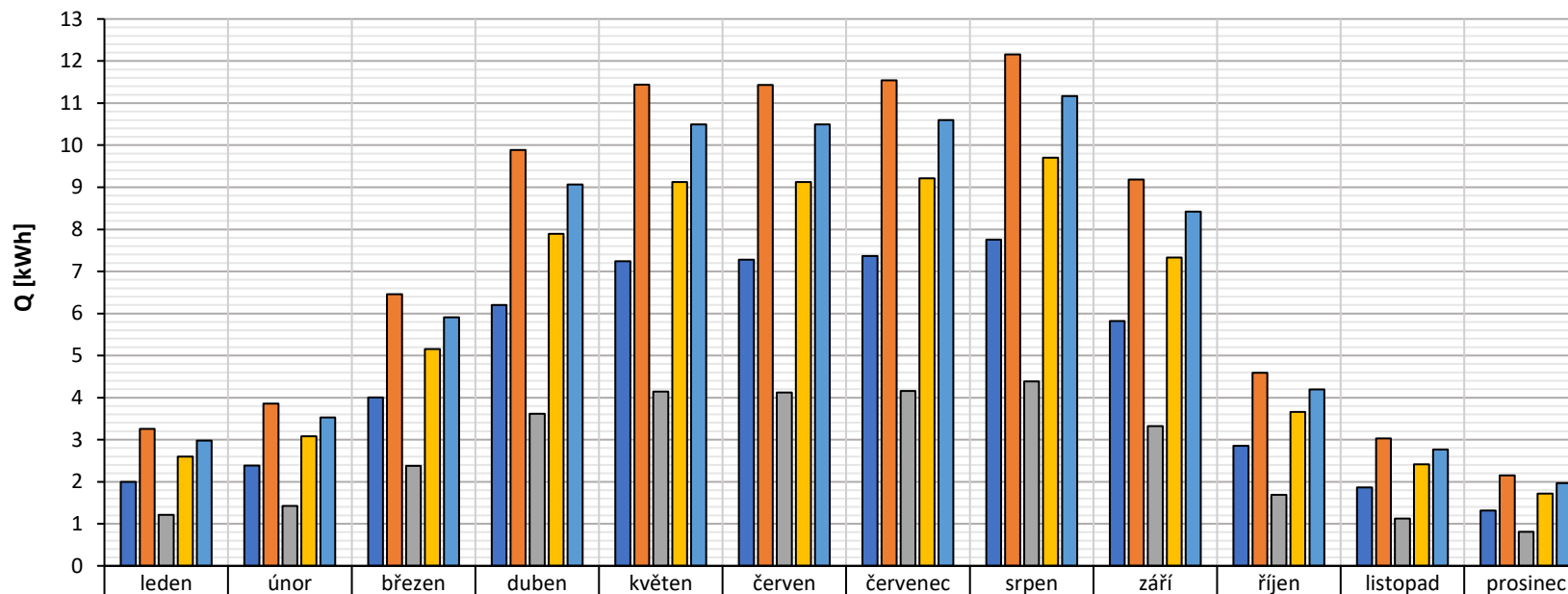
3.3.2 Výpočet energetické bilance

V zájmu zjištění hodnot výpočtu energetické bilance, tedy kolik daný fotovoltaický panel dokáže vyrobit energie v každém měsíci jsem provedl výpočet na základě uvedených vztahů s označením (3.3), (3.4) v simulaci výpočtů pomocí dat z programu PVGIS. Vypočtené hodnoty vyrobené energie za den a měsíc jsou zobrazeny v tabulce s označením Tab. 3.13.

Tab. 3.13 Vypočtené hodnoty vyrobené energie testovaných fotovoltaických panelů za den a měsíc – simulace ze vstupních dat z místní meteorologické stanice

Měsíc	Calyxo CX60		Q.Cells Q.SMART UF L 95		Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B		Q.Cells SL1-80F		Solartec SI 72-110 / 24 110WP	
	Q _{DEN} [kWh]	Q _{MĚSÍC} [kWh]	Q _{DEN} [kWh]	Q _{MĚSÍC} [kWh]	Q _{DEN} [kWh]	Q _{MĚSÍC} [kWh]	Q _{DEN} [kWh]	Q _{MĚSÍC} [kWh]	Q _{DEN} [kWh]	Q _{MĚSÍC} [kWh]
leden	0,06	2,00	0,11	3,26	0,04	1,21	0,08	2,60	0,10	2,98
únor	0,08	2,39	0,13	3,86	0,05	1,43	0,11	3,08	0,12	3,53
březen	0,13	4,01	0,21	6,46	0,08	2,38	0,17	5,15	0,19	5,91
duben	0,21	6,20	0,33	9,89	0,12	3,62	0,26	7,89	0,30	9,07
květen	0,23	7,24	0,37	11,44	0,13	4,15	0,29	9,13	0,34	10,50
červen	0,24	7,28	0,38	11,43	0,14	4,12	0,30	9,12	0,35	10,50
červenec	0,24	7,37	0,37	11,54	0,13	4,16	0,30	9,21	0,34	10,60
srpen	0,25	7,76	0,39	12,16	0,14	4,38	0,31	9,70	0,36	11,17
září	0,19	5,82	0,31	9,18	0,11	3,32	0,24	7,33	0,28	8,42
říjen	0,09	2,85	0,15	4,59	0,05	1,69	0,12	3,66	0,14	4,19
listopad	0,06	1,86	0,10	3,03	0,04	1,12	0,08	2,42	0,09	2,77
prosinec	0,04	1,32	0,07	2,15	0,03	0,81	0,06	1,72	0,06	1,96

Množství vyrobené energie pomocí testovaných fotovoltaických panelů po celý rok



■ Calyxo CX60	2,00	2,39	4,01	6,20	7,24	7,28	7,37	7,76	5,82	2,85	1,86	1,32
■ Q.Cells Q.SMART UF L 95	3,26	3,86	6,46	9,89	11,44	11,43	11,54	12,16	9,18	4,59	3,03	2,15
■ Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B	1,21	1,43	2,38	3,62	4,15	4,12	4,16	4,38	3,32	1,69	1,12	0,81
■ Q.Cells SL1-80F	2,60	3,08	5,15	7,89	9,13	9,12	9,21	9,70	7,33	3,66	2,42	1,72
■ Solartec SI 72-110 / 24 110WP	2,98	3,53	5,91	9,07	10,50	10,50	10,60	11,17	8,42	4,19	2,77	1,96

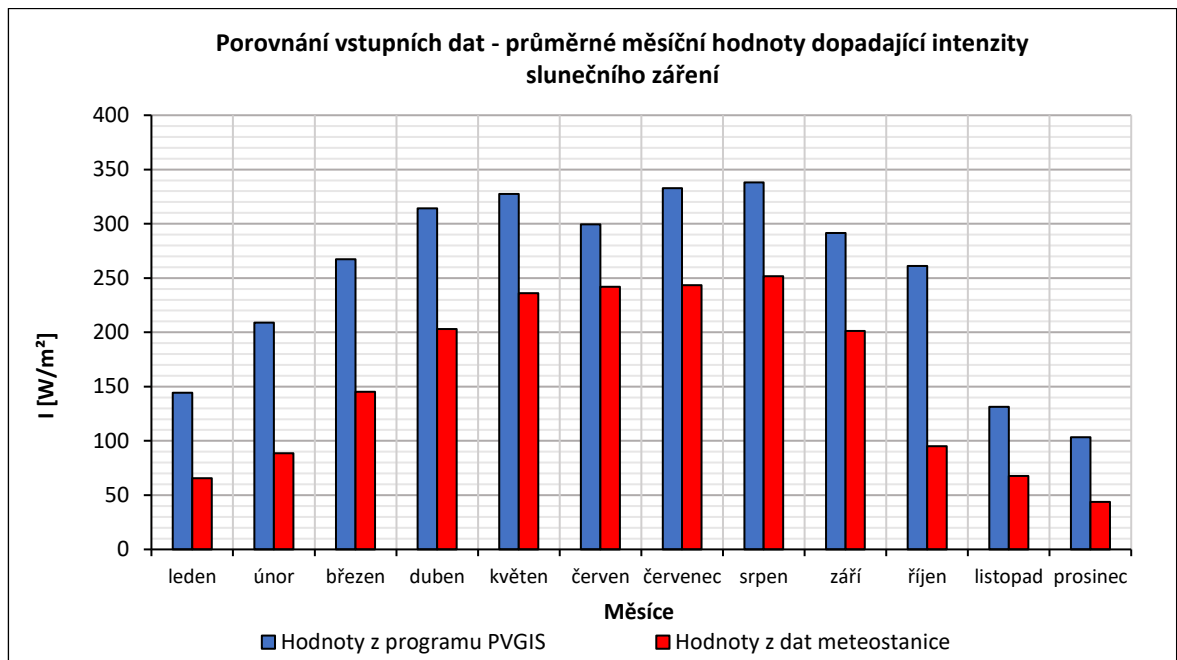
Obr. 3.9 Grafické zobrazení vypočteného množství vyrobené energie jednotlivými FVP po celý rok – simulace s daty z meteostanice

3.3.3 Zhodnocení výsledků

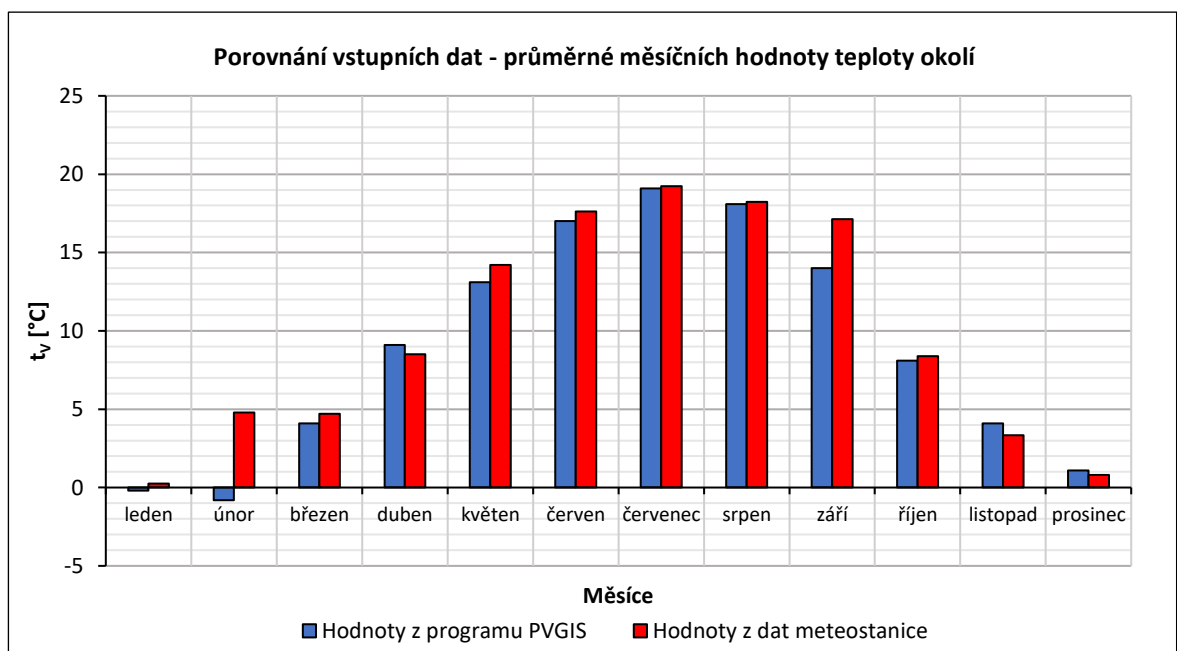
Porovnáním dosažených výsledků z této simulace je výsledný charakter chování jednotlivých fotovoltaických panelů identický jako v případě simulace ze vstupních dat programu PVGIS. Výsledkem je tedy stejné pořadí fotovoltaických panelů z hlediska výroby elektrické energie. Nejproduktivnějším panelem je i v této simulaci panel založený na technologii CIGS od firmy Q.Cells s typovým označením Q.SMART UF L 95 o maximálním výkonu $P_{\max} = 95 \text{ W}$. Druhým nejproduktivnějším panelem je FV panel založen na bázi monokrystalického křemíku od firmy Solartec s typovým označením SI 72-110 / 24 110WP. Třetím panelem je FV panel s technologií CIGS od firmy Q.Cells s typovým označením SL1-80F s rámovou konstrukcí. Dále jsou v grafu sestupně zobrazeny nejméně produktivní panely, a to panel od firmy Calyxo CX60 a panel od výrobce Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B. Nejvyšších hodnot vyrobené energie dosahují v této simulaci panely od měsíce května do měsíce srpna.

3.4 Porovnání výsledků metod simulací

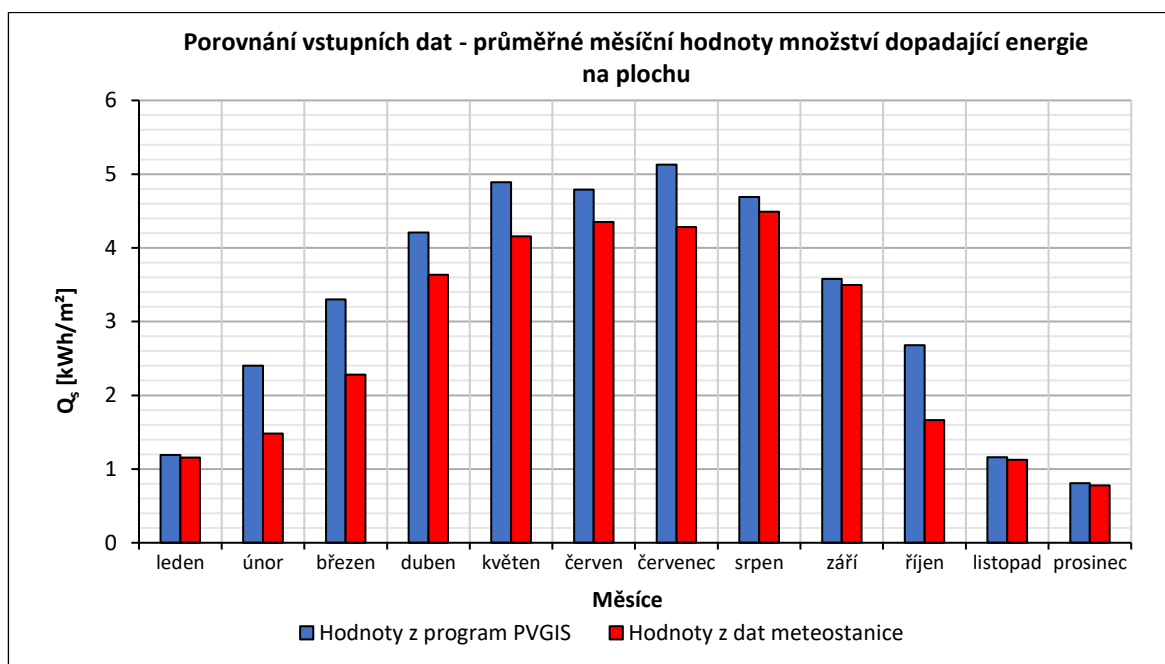
Nyní se zaměřím na porovnání dosažených výsledků všech provedených simulací. Prvních odlišností je možné si povšimnout na začátku uvedených vstupních dat. Hodnoty získaných dat z programu PVGIS jsou v případě intenzity slunečního záření výrazně vyšší než hodnoty vypočtené z dat naměřených místní meteostanicí. Hodnoty teploty okolí jsou při porovnání ve většině měsíců podobné. V únoru je vidět výrazný rozdíl, kdy průměrná teplota v tomto měsíci v případě simulace na základě dat z meteostanice dosahuje velikosti okolo $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a hodnota teploty získaná z dat výpočtového programu PVGIS vychází okolo $-1 \text{ }^{\circ}\text{C}$. V ostatních měsících se projevují drobné odchylky. Při porovnání hodnot množství dopadající energie jsou hodnoty získané z programu PVGIS ve většině měsíců větší. Hodnoty z meteostanice jsou uvedeny za uplynulý rok 2016. V datech 12. 2. 2016 až 7. 3. 2016 byla meteostanice mimo provoz, a proto hodnoty vypočtené pro tyto měsíce jsou lehce zkreslené. Pro názornost přikládám porovnávací charakteristiky, kde je možné vidět rozdílnost vstupních simulačních hodnot.



Obr. 3.10 Porovnání průměrných hodnot dopadající intenzity slunečního záření z programu PVGIS a meteorostanice



Obr. 3.11 Porovnání průměrných hodnot teploty okolí z programu PVGIS a meteorostanice

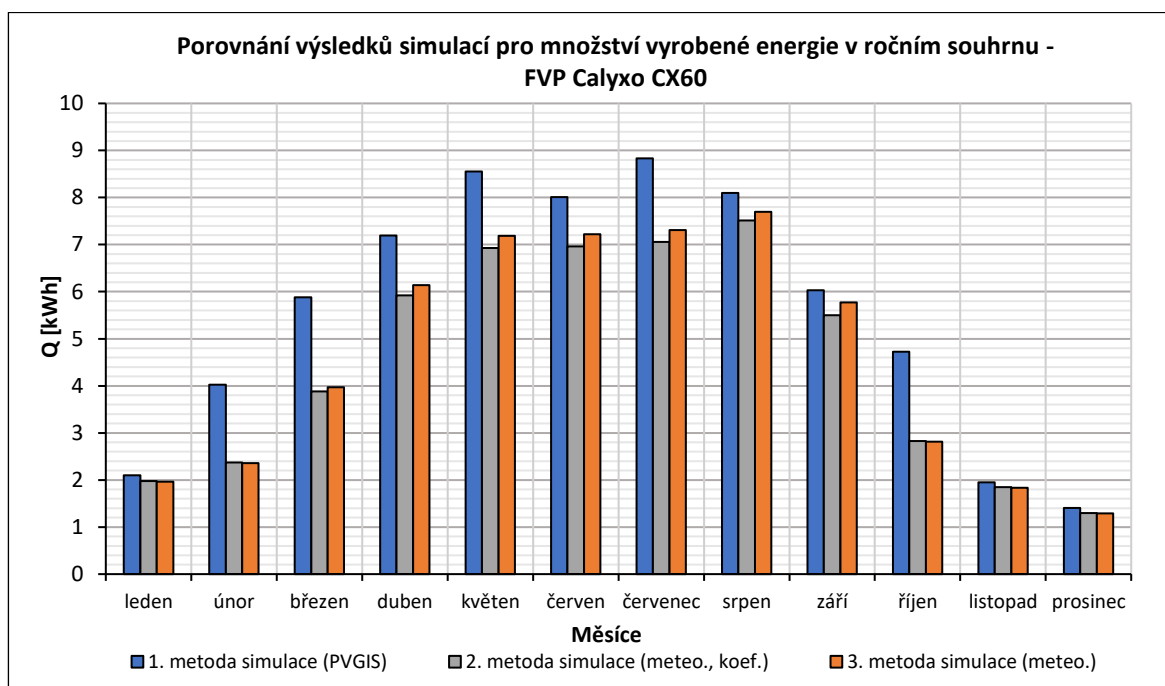


Obr. 3.12 Porovnání průměrných hodnot množství dopadající energie na plochu z programu PVGIS a meteorostanice

V následujících řádcích se zaměřím na porovnání získaných hodnot z energetických bilancí pro jednotlivé simulace a konkrétní typy fotovoltaických panelů. Prvním vybraným panelem pro porovnání dosažených výsledků je panel od výrobce Calyxo s typovým označením CX60.

Tab. 3.14 Tabulka dosažených výsledků výroby energie z provedených simulací - FVP Calyxo CX60

Měsíc	Calyxo CX60		
	Q _{MĚSÍC} [kWh]		
	1. simulace	2. simulace	3. simulace
leden	2,10	1,98	1,96
únor	4,02	2,37	2,36
březen	5,88	3,88	3,97
duben	7,20	5,92	6,14
květen	8,55	6,93	7,18
červen	8,01	6,96	7,22
červenec	8,83	7,06	7,31
srpen	8,10	7,51	7,70
září	6,03	5,50	5,77
říjen	4,72	2,83	2,81
listopad	1,95	1,85	1,83
prosinec	1,40	1,30	1,29
roční suma	66,80	54,09	55,55



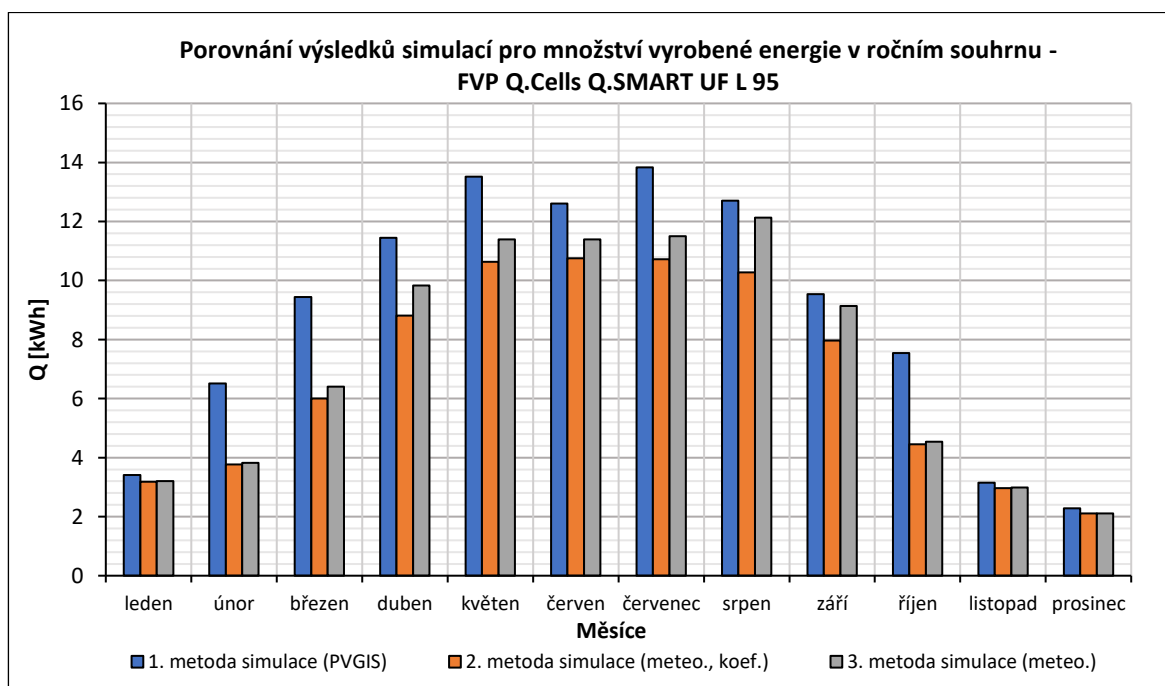
Obr. 3.13 Grafické porovnání výsledků simulací výroby elektrické energie pro FVP Calyxo CX60

Z tabulkových hodnot a grafické závislosti je zřetelně vidět rozdíl použití vstupních výpočtových hodnot. Sloupce s modrým plněním charakterizují dosažené výsledky z první provedené simulace. Na první pohled v této simulaci panel dosahuje nejvyšších hodnot vyrobené energie. Pokud se zaměříme na zbylé dvě metody, které v počátku simulačního výpočtu vycházejí ze stejných dat, je vidět obdobný průběh dosažených výsledků. V prvních měsících jsou hodnoty takřka identické a postupně se drobně odlišují. Výsledky dosažené v druhé simulační metodě dosahují do měsíce října nižších hodnot nežli výsledky dosažené třetí početní metodou. Od října je vidět lehký přírůstek hodnot v druhé simulaci. V případě první simulační metody je panel Calyxo CX60 schopen vyrobit nejvíce energie v červenci, kdežto v případě ostatních simulací je nejproduktivnějším měsícem srpen. Pokud porovnáme sumu vyrobené energie ze všech simulací, je jednoznačné, že nejvíce energie bude vyrobeno v případě první simulace, číselně $Q_{\text{ROK}} = 66,8 \text{ kWh}$. Součet vyrobené energie pomocí druhé simulace vychází $Q_{\text{ROK}} = 54,09 \text{ kWh}$ a v případě třetí simulace je hodnota $Q_{\text{ROK}} = 55,55 \text{ kWh}$.

Hodnoty vyrobené elektrické energie z provedených simulací pro druhý testovaný fotovoltaický panel Q.Cells Q.SMART UF L 95 jsou uvedeny v tabulce Tab. 3.15.

Tab. 3.15 Tabulka dosažených výsledků výroby energie z provedených simulací - FVP Q.Cells Q.SMART UF L 95

Měsíc	Q.Cells Q.SMART UF L 95		
	Q _{MĚSÍC} [kWh]		
	1. simulace	2. simulace	3. simulace
leden	3,41	3,18	3,21
únor	6,52	3,77	3,82
březen	9,44	6,00	6,41
duben	11,44	8,81	9,83
květen	13,52	10,64	11,39
červen	12,60	10,75	11,39
červenec	13,84	10,72	11,51
srpen	12,70	10,28	12,12
září	9,53	7,97	9,13
říjen	7,54	4,45	4,53
listopad	3,15	2,96	2,98
prosinec	2,28	2,11	2,11
roční suma	105,99	81,65	88,46



Obr. 3.14 Grafické porovnání výsledků simulací výroby elektrické energie pro FVP Q.Cells Q.SMART UF L 95

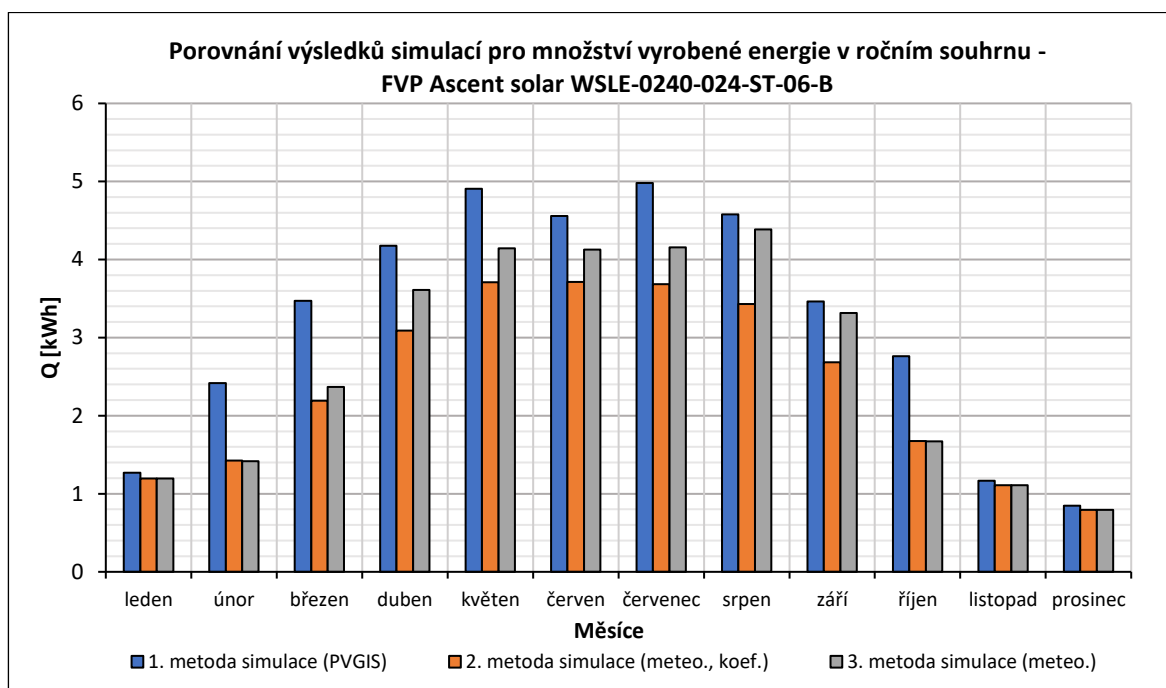
Komparací dosažených výsledků zobrazených v grafické závislosti uvedené na obrázku Obr. 3.14 a tabulce Tab. 3.15 je zřejmé, že nejvyšších hodnot panel dosahuje i tomto případě v první provedené simulaci. Porovnáním simulací se vstupními daty z meteorostanice získáme v prvních a posledních dvou měsících téměř identických hodnot. V ostatních měsících,

od března do října dosahuje druhá simulační metoda nižších hodnot v porovnání se třetí simulací. Výrazný rozdíl nastává v srpnu, kdy se výsledek třetí simulační metody blíží hodnotě první a metoda s použitými koeficienty dosahuje výrazně nižší hodnoty. Dle mého názoru, rozdílný skok hodnot druhé a třetí metody v srpnu je způsoben působením vysoké intenzity slunečního záření. Hodnota může být v souvislosti se zvolenou výpočtovou podmínkovou funkcí značně zkreslena. Nejproduktivnější měsíc v případě první simulace je červenec, v druhé červen a v případě třetí výpočtové metody srpen. Pokud se zaměřím na porovnání výsledných hodnot vyrobené energie za celý rok, hodnota první simulace odpovídá $Q_{\text{ROK}} = 105,99 \text{ kWh}$, v případě druhé simulační metody pak $Q_{\text{ROK}} = 81,65 \text{ kWh}$ a $Q_{\text{ROK}} = 88,46 \text{ kWh}$ je hodnota získaná z třetí simulační metody.

Třetím testovaným panelem je fotovoltaický panel Ascent solar s typovým označením WSLE-0240-024-ST-06-B. Výsledky ze simulací jsou uvedeny v níže přiložené grafické závislosti na obrázku Obr. 3.15 a tabulce s označením Tab. 3.16.

Tab. 3.16 Tabulka dosažených výsledků výroby energie z provedených simulací - FVP Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B

Měsíc	Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B		
	$Q_{\text{MĚSÍC}}$ [kWh]		
	1. simulace	2. simulace	3. simulace
leden	1,27	1,19	1,20
únor	2,42	1,43	1,42
březen	3,47	2,19	2,37
duben	4,18	3,09	3,61
květen	4,91	3,71	4,15
červen	4,56	3,71	4,13
červenec	4,98	3,68	4,16
srpen	4,58	3,43	4,39
září	3,46	2,68	3,32
říjen	2,76	1,68	1,67
listopad	1,17	1,11	1,11
prosinec	0,85	0,79	0,79
roční suma	38,59	28,70	32,29



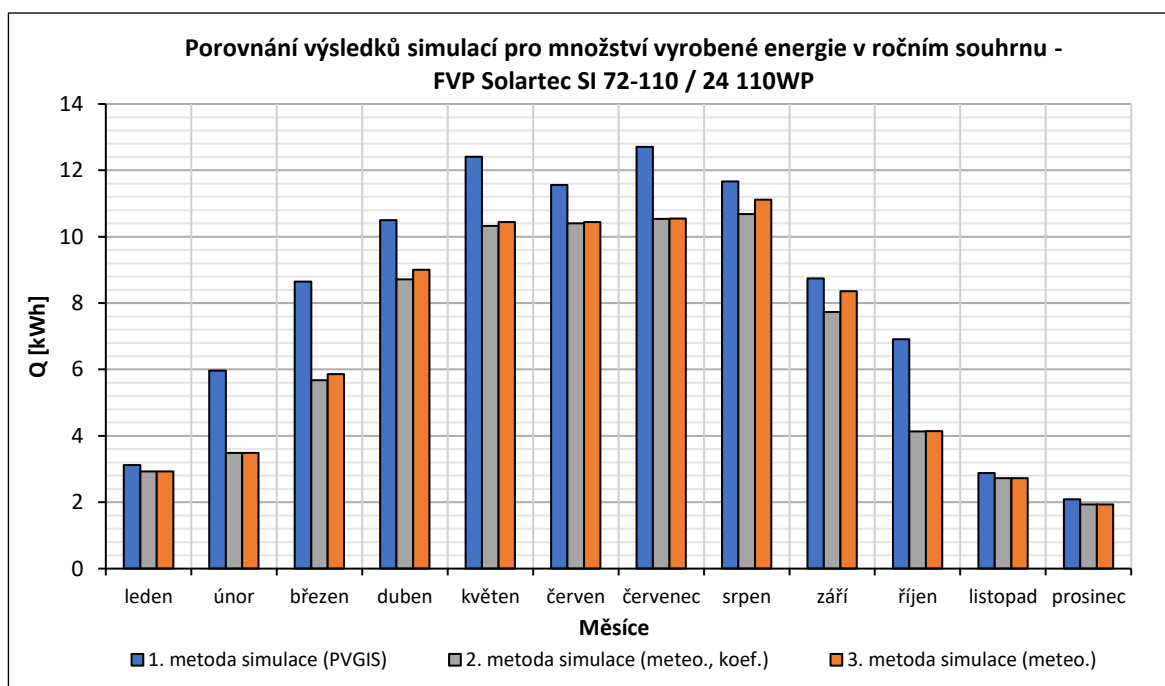
Obr. 3.15 Grafické porovnání výsledků simulací výroby elektrické energie pro FVP Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B

Porovnáním dosažených výsledků provedených simulací v případě FVP od výrobce Ascent solar jsem získal obdobné hodnoty jako v předchozím případě u panelu Q.Cells Q.SMART UF L 95. Na začátku a konci roku jsou hodnoty simulací založených na datech z meteorostanice téměř identické. Změnou je v tomto případě dosažení téměř identických hodnot i v měsíci říjnu. Výrazný rozdíl hodnot nastává i v tomto případě v srpnu, kdy se hodnota třetí metody blíží hodnotě první simulace a metoda založená na použití teplotních koeficientů dosahuje podstatně nižší hodnoty. Tento fakt bych přiřadil zkreslení působením vysokých hodnot intenzity. Nejvyšších hodnot i v případě tohoto fotovoltaického panelu dosahuje první simulace. Součet vyrobené energie za celý rok v první simulační metodě je $Q_{\text{ROK}} = 38,59 \text{ kWh}$, v druhé simulaci je výsledek $Q_{\text{ROK}} = 28,7 \text{ kWh}$ a hodnota v případě třetí simulace je $Q_{\text{ROK}} = 32,29 \text{ kWh}$. Nejproduktivnějším měsícem v metodě první simulace je červenec, v druhé červen a v případě třetí simulace srpen.

Čtvrtým simulovaným panelem je panel Solartec SI 72-110 / 24 110WP, dosažené hodnoty jsou uvedeny v tabulce Tab. 3.17 a následně v grafické závislosti na obrázku Obr. 3.16.

Tab. 3.17 Tabulka dosažených výsledků výroby energie z provedených simulací - FVP Solartec SI 72-110 / 24 110WP

Měsíc	Solartec SI 72-110 / 24 110WP		
	Q _{Měsíc} [kWh]		
	1. simulace	2. simulace	3. simulace
leden	3,12	2,93	2,93
únor	5,97	3,49	3,49
březen	8,65	5,68	5,86
duben	10,50	8,72	9,00
květen	12,41	10,32	10,44
červen	11,57	10,41	10,44
červenec	12,71	10,54	10,55
srpen	11,67	10,68	11,11
září	8,75	7,73	8,36
říjen	6,91	4,13	4,14
listopad	2,88	2,73	2,72
prosinec	2,09	1,94	1,93
roční suma	97,21	79,30	80,99



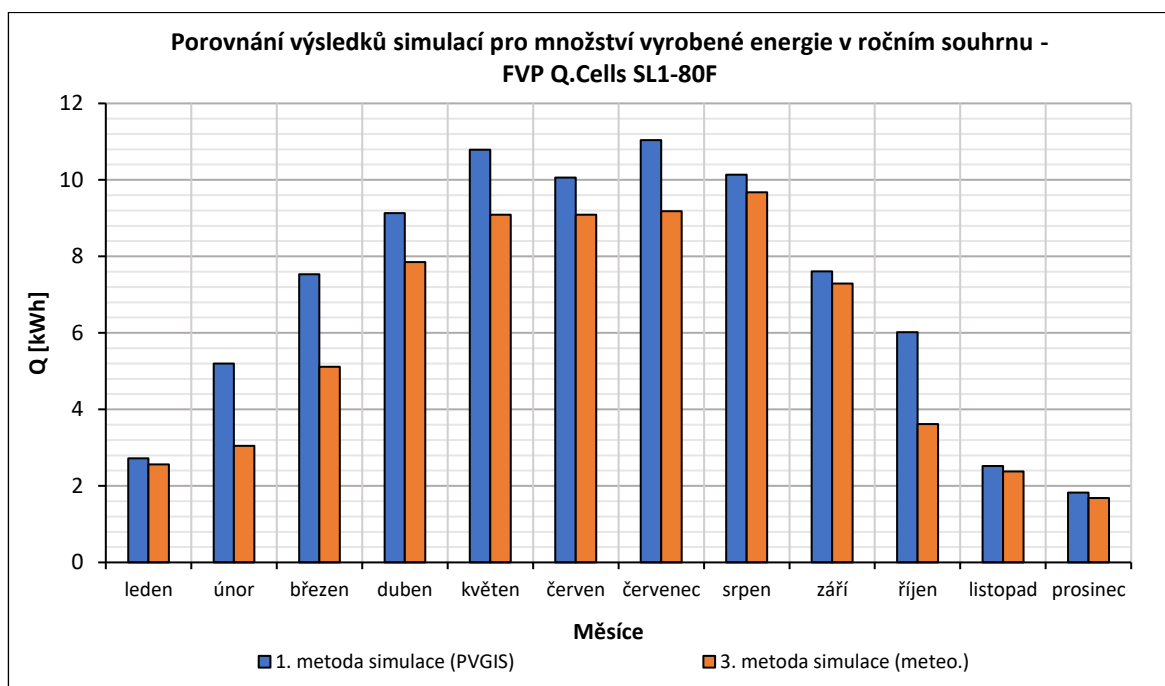
Obr. 3.16 Grafické porovnání výsledků simulací výroby elektrické energie pro FVP Solartec SI 72-110 / 24 110WP

Porovnáním výsledků simulačních výpočtů panelu Solartec SI 72-110/24 110WP je zřejmé, že nejvyšších hodnot dosahuje první simulační metoda. Zaměří-li se na dvě zbylé metody, mohu konstatovat fakt, že porovnání dosažených hodnot těchto metod se liší minimální odchylkou. Jediné dva měsíce, kde je výsledná hodnota metody druhé simulace o poznání nižší jsou měsíce srpen a září. Ve všech ostatních případech se dosažené hodnoty liší minimálně nebo jsou stejné. Součtová hodnota vyrobené energie za rok v první simulační metodě odpovídá hodnotě $Q_{\text{ROK}} = 97,21$ kWh. Výsledky druhé a třetí simulace jsou si blízké, přesto je výsledek druhé metody o něco menší. Součet vyrobené energie v druhé metodě vyšel $Q_{\text{ROK}} = 79,3$ kWh a ve třetí metodě $Q_{\text{ROK}} = 80,99$ kWh. Nejvíce energie dokáže panel Solartec vyrobit v případě první simulace v měsíci červnu a v případě druhé a třetí simulace v měsíci srpnu.

Poslední testovaný panel je od výrobce Q.Cells s typovým označením SL1 - 80F. Tento panel bude porovnán pouze pro teoretické simulace, jelikož byl mechanicky poškozen. Nebylo možné jej nadále využívat k měření. Výsledné vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce Tab. 3.18 a obrázku Obr. 3.17.

Tab. 3.18 Tabulka dosažených výsledků výroby energie z provedených simulací - FVP Q.Cells SL1-80F

Měsíc	Q.Cells SL1-80F	
	$Q_{\text{MĚSÍC}}$ [kWh]	
	1. simulace	3. simulace
leden	2,72	2,56
únor	5,20	3,05
březen	7,53	5,11
duben	9,13	7,85
květen	10,79	9,09
červen	10,06	9,09
červenec	11,04	9,18
srpen	10,14	9,68
září	7,61	7,29
říjen	6,02	3,62
listopad	2,52	2,38
prosinec	1,82	1,69
roční suma	84,57	70,59



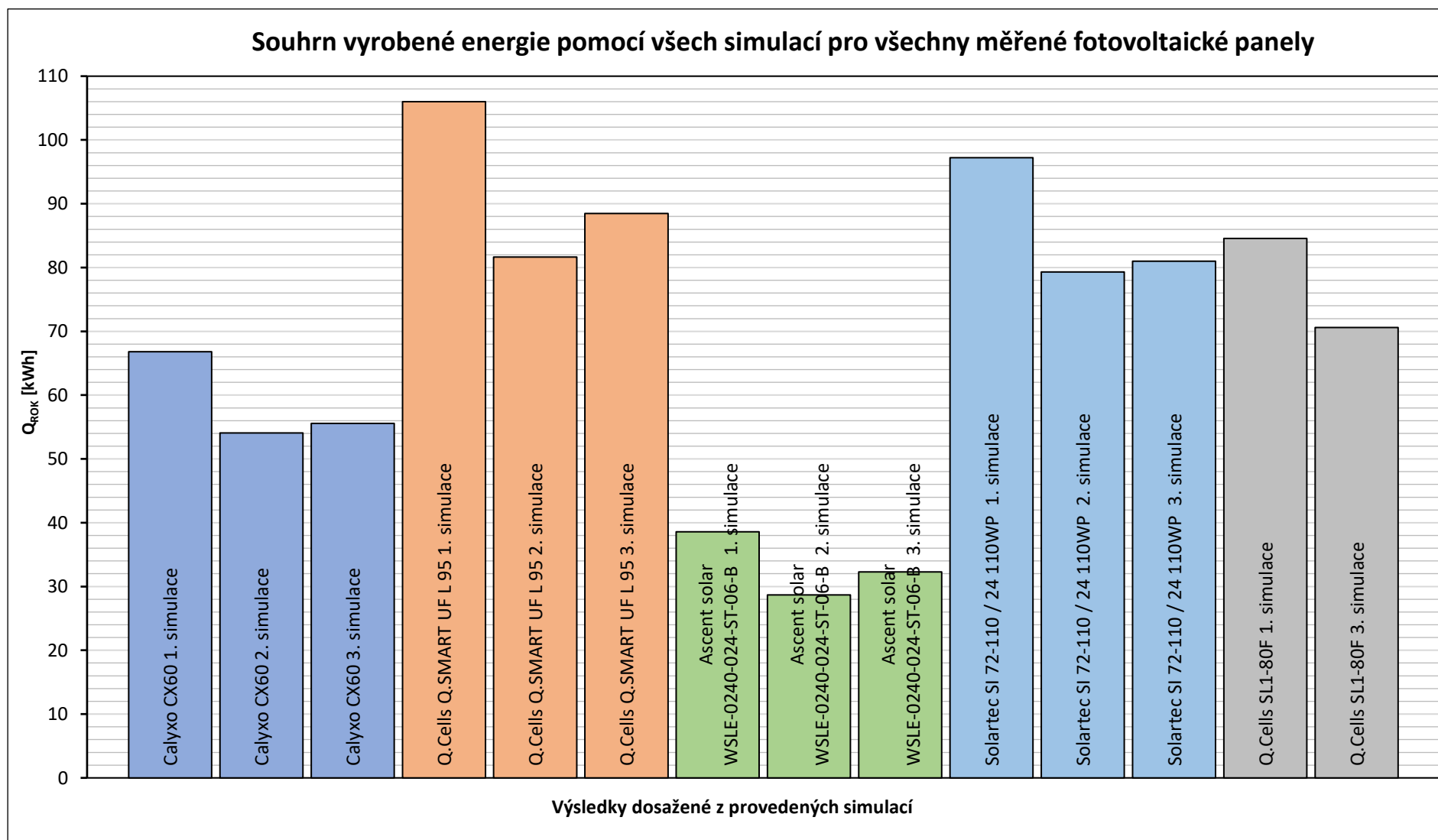
Obr. 3.17 Grafické porovnání výsledků simulací výroby elektrické energie pro FVP Q.Cells SL1-80F

První metoda simulace se i v tomto případě ukázala jako přínosnější z hlediska množství vyrobené energie oproti druhé. Porovnáme-li dosažené hodnoty, pak výsledkem první simulace je roční množství vyrobené energie $Q_{\text{ROK}} = 84,57 \text{ kWh}$ a pro třetí simulaci $Q_{\text{ROK}} = 70,59 \text{ kWh}$. Nejvíce energie panel vyrábí ve stejném charakteru jako ostatní panely, tedy v případě první simulace v měsíci červenci a v případě druhé simulace v měsíci srpnu.

Závěrem této kapitoly bych rád ukázal výslednou charakteristiku z hodnot uvedených v Tab. 3.19, na které je vidět porovnání dosažených hodnot simulací pro všechny panely.

Tab. 3.19 Tabulka ročních hodnot vyrobené energie ze všech simulací pro všechny testované FVP

Typ fotovoltaického panelu	Metoda simulace	Q_{ROK} [kWh]
Calyxo CX60	1. simulace	66,80
	2. simulace	54,09
	3. simulace	55,55
Q.Cells Q.SMART UF L 95	1. simulace	105,99
	2. simulace	81,65
	3. simulace	88,46
Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B	1. simulace	38,59
	2. simulace	28,70
	3. simulace	32,29
Solartec SI 72-110 / 24 110WP	1. simulace	97,21
	2. simulace	79,30
	3. simulace	80,99
Q.Cells SL1-80F	1. simulace	84,57
	3. simulace	70,59



Obr. 3.18 Porovnání výsledků simulací pro množství vyrobené energie v ročním souhrnu pro všechny fotovoltaické panely

Nejlepší dosažená shoda simulačních metod nastala v případě fotovoltaického panelu Solartec SI 72-110/24 110WP, kdy došlo k nejmenším odlišnostem dosažených hodnot. Rozdíly hodnot simulační metody se vstupními daty z programu PVGIS a simulačními metodami se vstupními daty z místní meteorostanice se mohly projevit v souvislosti s použitím dat pouze z roku 2016. Je pravděpodobné, že kdyby byly hodnoty vypočteny z dat za několik uplynulých let, nemusely by být tak odlišné.

Porovnáním souhrnných výsledků zjistíme, že nejproduktivnějším panelem je fotovoltaický panel Q.Cells Q.SMART UF L 95. Je založen na technologii CIGS a je u něj výrobcem stanovena velikost maximálního výkonu $P_{MAX} = 95$ W. Druhým nejvíce produktivním panelem je panel Solartec SI 72-110 / 24 110WP se zcela odlišnou technologií založenou na monokrystalických křemíkových článkách. Tento panel má od výrobce stanovený maximální výkon o velikosti $P_{MAX} = 110$ W. Další porovnávaný panel je Q.Cells SL1-80F jež je založen na technologii CIGS s rámovým konstrukčním provedením. Výkon panelu je určen výrobcem na hodnotu $P_{MAX} = 80$ W. Čtvrtý panel Calyxo CX60 je založen na technologii CdTe s výkonem $P_{MAX} = 60$ W. Posledním porovnávaným panelem je panel s flexibilním konstrukčním provedením Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B, jehož výkon je výrobcem stanoven na $P_{MAX} = 24$ W. Stanovené výkony jsou určeny při působení STC podmínek, tedy při působení intenzity záření o velikosti 1000 W/m^2 , spektra AM1,5 Global a teploty panelu $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pokud se zaměřím na porovnání množství roční vyrobené energie získané ze simulačních metod s výkony daných typů FV panelů, vyjde mi sestupné zhodnocení, kde je nejproduktivnější panel Ascent Solar WSLE-0240-024-ST-06-B dále Q.Cells Q.SMART UF L95, Calyxo CX60, Q.Cells SL1-80F a jako poslední panel Solartec SI 72-110 / 24 110WP. Zajímavostí je i fakt porovnání celoskleněného panelu od výrobce Q.Cells s panelem Solartec, kdy panel s technologií CIGS a nižším stanoveným výkonem P_{MAX} dokáže na základě provedených simulací dosáhnout vyšších hodnot vyrobené energie oproti panelu s technologií monokrystalických křemíkových článků a vyšším stanoveným výkonem.

4 Závěr

Úvodní částí této diplomové práce je teoretický rozbor principu a funkce fotovoltaického článku. Kapitola se zabývá popisem fotoelektrického jevu včetně jeho dílčích složek, dále se zde zaměřuji na vysvětlení elektrických parametrů fotovoltaických článků a jejich vliv na průběh voltampérových a výkonových charakteristik. Důležitou částí je také vysvětlení principu ovlivnění panelu působením dopadající intenzity záření a teploty.

Druhá kapitola se zabývá analýzou vlastností a chování fotovoltaických panelů, kde popisují postup praktického měření a vyhodnocení dosažených výsledků. Hlavní náplní této práce bylo změření pěti druhů fotovoltaických panelů s variabilními parametry a různým konstrukčním provedením. Praktická měření byla prováděna při působení různých podmínek, jehož cílem bylo sledování změn a projevu chování měřených panelů. Výsledkem praktické části je naměření mnoho teplotních charakteristik, které byly dále zpracovány pro určení teplotních koeficientů. Výstupem není jen velké množství změřených teplotních charakteristik, ale i mnoho voltampérových závislostí, které měly být použity pro sledování strmostí a vyhodnocení účinností panelů. Po konzultaci s vedoucím diplomové práce, jsme tuto část vyloučili s ohledem na objemnost práce. Vzorovou ukázkou rozdílných výkonových a voltampérových charakteristik přikládám v části příloh.

Poslední kapitola je založena na výpočtových simulacích, kde jsem uplatnil nejen skutečně změřená a vyhodnocená data, ale i data z obecně používaného simulačního programu PVGIS. Výstupem této části je zhodnocení dosažených výsledků pro jednotlivé simulační metody, ve kterých jsem použil výpočtový postup založený na použití teplotních koeficientů z druhé části práce. Důsledkem tohoto snažení bylo získání hodnot, kde největší podíl vyrobené roční energie byl dosažen při simulaci založené na vstupních datech z programu PVGIS. V simulacích provedených ze skutečně změřených dat místní meteostanicí byly výsledné hodnoty vyrobené energie nižší. To je způsobeno použitím dat pouze za jedno roční období. Druhá simulační metoda se ve výsledku ukázala jako vhodné řešení k výpočtům. Bylo by však vhodné provádět ji pomocí jiného softwarového vybavení. Jak se ukázalo, podmínkové funkce jsou v MS Excel limitovány vstupními podmínkovými argumenty, které ovlivňují dosažené výsledky. Metoda by mohla být v návazné práci zlepšena výše zmíněným faktem.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] BROŽ, Karel a Bořivoj ŠOUREK. Alternativní zdroje energie. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02802-x.
- [2] KAMINSKÝ, Jaroslav a Mojmír VRTEK. Obnovitelné zdroje energie. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1998. ISBN 80-7078-445-8.
- [3] QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [4] MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [5] BANNERT, Petr. VOŠ a SPŠE Varnsdorf. Praktika z fotovoltaiky [online]. 2012 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: http://is.muni.cz/el/1441/jaro2012/FY2BP_EkO/um/praktika_z_fotovoltaiky.pdf
- [6] BĚLÍK, Milan. Přednášky z předmětu KEE/SOES [online]. [cit. 2017-04-05]. FEL ZČU Plzeň. Dostupné z: <http://home.pilsfree.net/fantom/FEL/SOES/>
- [7] KLADIVA, Roman. Dlouhodobé sledování parametrů fotovoltaických panelů [online]. Brno, 2013 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=68659. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Roman Gvritishvili.
- [8] Fotovoltaika v podmínkách České republiky. isofenergy [online]. 2009 [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.isofenergy.cz/slunecni-zareni-v-cr.aspx>
- [9] Fotovoltaický jev. micronix [online]. 2013 [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.micronix.cz/solarix/zakladni-informace/fotovoltaicky-jev>
- [10] HT INSTRUMENTS. Uživatelský manuál analyzátoru I-V400. 2010, 80 s. Dostupné z: <http://www.ht-instruments.com/>
- [11] PVGIS. Photovoltaic geographical information system [online]. [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Seznam obrázků

OBR. 1.1 ROZDĚLENÍ FOTOELEKTRICKÉHO JEVU	11
OBR. 1.2 PRINCIP FOTOVOLTAICKÉHO JEVU [9]	14
OBR. 1.3 VOLTAMPÉROVÁ CHARAKTERISTIKA FOTOVOLTAICKÉHO PANELU S VYZNAČENÝMI BODY MPP A I450 [5]	15
OBR. 1.4 VA CHARAKTERISTIKY FOTOVOLTAICKÉHO PANELU SE ZOBRAZENÍM PARALELNÍCH A SÉRIOVÝCH ODPORŮ [5].....	18
OBR. 1.5 VOLTAMPÉROVÉ CHARAKTERISTIKY FOTOVOLTAICKÉHO PANELU PRO RŮZNÉ PŮSOBENÍ TEPLOT [5].....	20
OBR. 1.6 VÝKONOVÉ CHARAKTERISTIKY FOTOVOLTAICKÉHO PANELU PRO RŮZNÉ PŮSOBENÍ TEPLOT [5]	20
OBR. 1.7 VA CHARAKTERISTIKY FOTOVOLTAICKÉHO PANELU PRO RŮZNÉ INTENZITY ZÁŘENÍ [5]	21
OBR. 1.8 VÝKONOVÉ CHARAKTERISTIKY FOTOVOLTAICKÉHO PANELU PRO RŮZNÉ INTENZITY ZÁŘENÍ [5]	21
OBR. 1.9 ROČNÍ ÚHRN GLOBÁLNÍHO SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ A TRVÁNÍ SLUNEČNÍHO SVITU NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY [8].....	22
OBR. 2.1 VYTVOŘENÁ KONSTRUKCE Z PRVKŮ DYNARAX PRO MĚŘENÍ FV PANELŮ	24
OBR. 2.2 BEZKONTAKTNÍ MĚŘIČ TEPLoty RAYTEK RAYNGER ST	25
OBR. 2.3 TEPLOTNÍ ANEMOMETR KANE-MAY KM4003	26
OBR. 2.4 ANALYZÁTOR I-V400 OD VÝROBCE HT INSTRUMENTS [10]	26
OBR. 2.5 MĚŘENÍ OHŘEVU FV PANELU CALYXO CX60 UMÍSTĚNÉHO NA VYTVOŘENÉ KONSTRUKCI DYNARAX	28
OBR. 2.6 MĚŘENÍ OHŘEVU FV PANELU SOLARTEC SI 72-110 / 24 110WP S POUŽITÍM STÍNÍČÍCH KARTONOVÝCH PLOCH.....	28
OBR. 2.7 MĚŘENÍ OCHLAZOVÁNÍ FV PANELU Q.CELLS SL1-80F UVNITŘ BUDOVY ZČU FEL	28
OBR. 2.8 KONTROLNÍ MĚŘENÍ OHŘEVU FV PANELU SOLARTEC SI 72-110 / 24 110WP UVNITŘ BUDOVY ZČU FEL	29
OBR. 2.9 MĚŘENÍ TEPLOTNÍ CHARAKTERISTIKY OHŘEVU FOTOVOLTAICKÉHO PANELU SOLARTEC SI 72-110 / 24 110WP PŘI IDEÁLNÍM PŮSOBENÍ INTENZITY SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....	31
OBR. 2.10 MĚŘENÍ TEPLOTNÍ CHARAKTERISTIKY OHŘEVU FOTOVOLTAICKÉHO PANELU SOLARTEC SI 72-110 / 24 110WP PŘI IDEÁLNÍM PŮSOBENÍ TEPLoty PROSTŘEDÍ A PROUDĚNÍ VZDUCHU.....	31
OBR. 2.11 TEPLOTNÍ ZÁVISLOST OHŘEVU FOTOVOLTAICKÉHO PANELU CALYXO CX60.....	32
OBR. 2.12 TEPLOTNÍ ZÁVISLOST CHLADNUTÍ FOTOVOLTAICKÉHO PANELU CALYXO CX60.....	32
OBR. 2.13 ZÁVISLOST KOEFICIENTU OHŘEVU NA PŮSOBÍCÍ INTENZITĚ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ PRO VŠECHNY NAMĚŘENÉ HODNOTY - FVP CALYXO CX60	34
OBR. 2.14 ZÁVISLOST TEPLOTNÍ CHARAKTERISTIKY OHŘEVU PŘI FVP CALYXO CX60 PŘI PŮSOBENÍ DOPADAJÍCÍ INTENZITY ZÁŘENÍ – DEFEKT: SCHODOVÝ PŘÍRŮSTEK INTENZITY	35
OBR. 2.15 ZÁVISLOST TEPLOTNÍ CHARAKTERISTIKY OHŘEVU FVP CALYXO CX60 PŘI PŮSOBENÍ DOPADAJÍCÍ INTENZITY ZÁŘENÍ – DEFEKT: PŘÍLIŠ PROMĚNLIVÉ HODNOTY INTENZITY SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....	35
OBR. 2.16 ZÁVISLOST TEPLOTNÍ CHARAKTERISTIKY OHŘEVU FVP CALYXO CX60 PŘI PŮSOBENÍ TEPLoty PROSTŘEDÍ A VLIVU PROUDĚNÍ VĚTRU – DEFEKT: VÝRAZNÝ PROJEV PROUDĚNÍ VZDUCHU	36
OBR. 2.17 ZÁVISLOST UPRAVENÝCH HODNOT KOEFICIENTU OHŘEVU A VÝSLEDNÉHO PROLOŽENÍ POLYNOMEM DRUHÉHO STUPNĚ – FVP CALYXO CX60	37
OBR. 2.18 ZÁVISLOST KOEFICIENTU CHLADNUTÍ NA PŮSOBÍCÍ INTENZITĚ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ PRO VŠECHNY NAMĚŘENÉ HODNOTY - FVP CALYXO CX60	38
OBR. 2.19 ZÁVISLOST UPRAVENÝCH HODNOT KOEFICIENTU CHLADNUTÍ A VÝSLEDNÉHO PROLOŽENÍ POLYNOMEM DRUHÉHO STUPNĚ – FVP CALYXO CX60	39
OBR. 2.20 ZÁVISLOST KOEFICIENTU OHŘEVU NA PŮSOBÍCÍ INTENZITĚ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ PRO VŠECHNY NAMĚŘENÉ HODNOTY - FVP Q.CELLS Q.SMART UF L 95	40
OBR. 2.21 ZÁVISLOST TEPLOTNÍ CHARAKTERISTIKY OHŘEVU FVP Q.CELLS Q.SMART UF L 95 PŘI PŮSOBENÍ DOPADAJÍCÍ INTENZITY ZÁŘENÍ – DEFEKT: VÝRAZNÉ SKOKOVÉ ZMĚNY INTENZITY SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....	41
OBR. 2.22 ZÁVISLOST TEPLOTNÍ CHARAKTERISTIKY OHŘEVU FVP Q.CELLS Q.SMART UF L 95 PŘI PŮSOBENÍ TEPLoty PROSTŘEDÍ A VLIVU PROUDĚNÍ VĚTRU – DEFEKT: VÝRAZNÝ PROJEV PROUDĚNÍ VZDUCHU	41
OBR. 2.23 ZÁVISLOST UPRAVENÝCH HODNOT KOEFICIENTU OHŘEVU A VÝSLEDNÉHO PROLOŽENÍ POLYNOMEM DRUHÉHO STUPNĚ – FVP Q.CELLS Q.SMART UF L 95	42
OBR. 2.24 ZÁVISLOST HODNOT KOEFICIENTU CHLADNUTÍ A VÝSLEDNÉHO PROLOŽENÍ POLYNOMEM DRUHÉHO STUPNĚ – FVP Q.CELLS Q.SMART UF L 95	43
OBR. 2.25 ZÁVISLOST KOEFICIENTU OHŘEVU NA PŮSOBÍCÍ INTENZITĚ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ PRO VŠECHNY NAMĚŘENÉ HODNOTY - FVP ASCENT SOLAR WSLE-0240-024-ST-06-B.....	45
OBR. 2.26 ZÁVISLOST UPRAVENÝCH HODNOT KOEFICIENTU OHŘEVU A VÝSLEDNÉHO PROLOŽENÍ POLYNOMEM DRUHÉHO STUPNĚ – FVP ASCENT SOLAR WSLE-0240-024-ST-06-B.....	46
OBR. 2.27 ZÁVISLOST KOEFICIENTU CHLADNUTÍ NA PŮSOBÍCÍ INTENZITĚ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ PRO VŠECHNY NAMĚŘENÉ HODNOTY - FVP ASCENT SOLAR WSLE-0240-024-ST-06-B.....	47

OBR. 2.28 ZÁVISLOST UPRAVENÝCH HODNOT KOEFICIENTU OHŘEVU A VÝSLEDNÉHO PROLOŽENÍ POLYNOMEM DRUHÉHO STUPNĚ – FVP ASCENT SOLAR WSLE-0240-024-ST-06-B.....	48
OBR. 2.29 ZÁVISLOST KOEFICIENTU OHŘEVU NA PŮSOBÍCÍ INTENZITĚ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ PRO VŠECHNY NAMĚŘENÉ HODNOTY - FVP SOLARTEC SI 72-110 / 24 110WP.....	49
OBR. 2.30 ZÁVISLOST TEPLOTNÍ CHARAKTERISTIKY OHŘEVU FVP SOLARTEC SI 72-110 / 24 110WP PŘI PŮSOBENÍ TEPLoty PROSTŘEDÍ A VLIVU PROUDĚNÍ VĚTRU – MĚŘENÍ Č. 5.....	50
OBR. 2.31 ZÁVISLOST TEPLOTNÍ CHARAKTERISTIKY OHŘEVU FVP SOLARTEC SI 72-110 / 24 110WP PŘI PŮSOBENÍ TEPLoty PROSTŘEDÍ A VLIVU PROUDĚNÍ VĚTRU – MĚŘENÍ Č. 8.....	51
OBR. 2.32 ZÁVISLOST UPRAVENÝCH HODNOT KOEFICIENTU OHŘEVU A VÝSLEDNÉHO PROLOŽENÍ POLYNOMEM DRUHÉHO STUPNĚ – FVP SOLARTEC SI 72-110 / 24 110WP.....	52
OBR. 2.33 ZÁVISLOST KOEFICIENTU CHLADNUTÍ NA PŮSOBÍCÍ INTENZITĚ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ PRO VŠECHNY NAMĚŘENÉ HODNOTY - FVP SOLARTEC SI 72-110 / 24 110WP.....	53
OBR. 2.34 ZÁVISLOST UPRAVENÝCH HODNOT KOEFICIENTU OHŘEVU A VÝSLEDNÉHO PROLOŽENÍ POLYNOMEM TŘETÍHO STUPNĚ – FVP SOLARTEC SI 72-110 / 24 110WP.....	54
OBR. 2.35 VÝVOJOVÉ CHARAKTERISTIKY KOEFICIENTU OHŘEVU V ZÁVISLOSTI NA INTENZITĚ ZÁŘENÍ PRO VŠECHNY TESTOVANÉ PANE LY	56
OBR. 2.36 VÝVOJOVÉ CHARAKTERISTIKY KOEFICIENTU CHLADNUTÍ V ZÁVISLOSTI NA INTENZITĚ ZÁŘENÍ PRO VŠECHNY TESTOVANÉ PANE LY	56
OBR. 3.1 GRAF PRŮMĚRNÝCH HODNOT INTENZITY SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ BĚHEM DNE V MĚSÍCI – SIMULACE ZE ZÍSKANÝCH DAT POMOCÍ PROGRAMU PVGIS	59
OBR. 3.2 GRAF PRŮMĚRNÝCH HODNOT MNOŽSTVÍ DOPADAJÍCÍ ENERGIE NA PLOCHU BĚHEM DNE V MĚSÍCI – SIMULACE ZE ZÍSKANÝCH DAT POMOCÍ PROGRAMU PVGIS.....	60
OBR. 3.3 GRAF PRŮMĚRNÝCH DENNÍCH TEPLOT V MĚSÍCI – SIMULACE ZE ZÍSKANÝCH DAT POMOCÍ PROGRAMU PVGIS.....	60
OBR. 3.4 GRAFICKÉ ZOBRAZENÍ VYPOČTENÉHO MNOŽSTVÍ VYROBENÉ ENERGIE JEDNOTLIVÝMI FVP PO CELÝ ROK – SIMULACE S DATY PVGIS.....	64
OBR. 3.5 GRAF PRŮMĚRNÝCH HODNOT INTENZITY SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ BĚHEM DNE V MĚSÍCI – SIMULACE ZE VSTUPNÍCH DAT MÍSTNÍ METEOSTANICE S POUŽITÍM VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ	69
OBR. 3.6 GRAF PRŮMĚRNÝCH HODNOT MNOŽSTVÍ DOPADAJÍCÍ ENERGIE NA PLOCHU BĚHEM DNE V MĚSÍCI – SIMULACE ZE VSTUPNÍCH DAT MÍSTNÍ METEOSTANICE S POUŽITÍM VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ.....	70
OBR. 3.7 GRAF PRŮMĚRNÝCH DENNÍCH HODNOT V MĚSÍCI – SIMULACE ZE VSTUPNÍCH DAT MÍSTNÍ METEOSTANICE S POUŽITÍM VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ	70
OBR. 3.8 GRAFICKÉ ZOBRAZENÍ VYPOČTENÉHO MNOŽSTVÍ VYROBENÉ ENERGIE JEDNOTLIVÝMI FVP PO CELÝ ROK – SIMULACE S DATY Z METEOSTANICE S POUŽITÍM KOEFICIENTŮ	74
OBR. 3.9 GRAFICKÉ ZOBRAZENÍ VYPOČTENÉHO MNOŽSTVÍ VYROBENÉ ENERGIE JEDNOTLIVÝMI FVP PO CELÝ ROK – SIMULACE S DATY Z METEOSTANICE	78
OBR. 3.10 POROVNÁNÍ PRŮMĚRNÝCH HODNOT DOPADAJÍCÍ INTENZITY SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ Z PROGRAMU PVGIS A METEOSTANICE.....	80
OBR. 3.11 POROVNÁNÍ PRŮMĚRNÝCH HODNOT TEPLoty OKOLÍ Z PROGRAM PVGIS A METEOSTANICE	80
OBR. 3.12 POROVNÁNÍ PRŮMĚRNÝCH HODNOT MNOŽSTVÍ DOPADAJÍCÍ ENERGIE NA PLOCHU Z PROGRAMU PVGIS A METEOSTANICE	81
OBR. 3.13 GRAFICKÉ POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ SIMULACÍ VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE PRO FVP CALYXO CX6082	
OBR. 3.14 GRAFICKÉ POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ SIMULACÍ VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE PRO FVP Q.CELLS Q.SMART UF L 95.....	83
OBR. 3.15 GRAFICKÉ POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ SIMULACÍ VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE PRO FVP ASCENT SOLAR WSLE-0240-024-ST-06-B.....	85
OBR. 3.16 GRAFICKÉ POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ SIMULACÍ VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE PRO FVP SOLARTEC SI 72-110 / 24 110WP	86
OBR. 3.17 GRAFICKÉ POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ SIMULACÍ VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE PRO FVP Q.CELLS SL1-80F	88
OBR. 3.18 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ SIMULACÍ PRO MNOŽSTVÍ VYROBENÉ ENERGIE V ROČNÍM SOUHRNU PRO VŠECHNY FOTOVOLTAICKÉ PANE LY.....	89

Seznam tabulek

TAB. 1.1 TABULKA PROCENTUÁLNÍCH ZMĚN V ZÁVISLOSTI NA TEPLOTĚ PARAMETRŮ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	19
TAB. 2.1 PŘEHLED PARAMETRŮ TESTOVANÝCH FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	23
TAB. 2.2 PODMÍNKY MĚŘENÍ - FVP CALYXO CX60	33
TAB. 2.3 TABULKA VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ OHŘEVU ZE VŠECH NAMĚŘENÝCH HODNOT PANELU CALYXO CX60	33
TAB. 2.4 TABULKA VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ OHŘEVU PO KOREKCI HODNOT PANELU CALYXO CX60	36
TAB. 2.5 VÝVOJOVÁ TABULKA VYPOČTENÉHO KOEFICIENTU OHŘEVU Z ROVNICE POLYNOMU PANELU CALYXO CX60	36
TAB. 2.6 TABULKA VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ CHLADNUTÍ ZE VŠECH NAMĚŘENÝCH HODNOT PANELU CALYXO CX60	37
TAB. 2.7 TABULKA VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ CHLADNUTÍ PO KOREKCI HODNOT PANELU CALYXO CX60	38
TAB. 2.8 VÝVOJOVÁ TABULKA VYPOČTENÉHO KOEFICIENTU CHLADNUTÍ Z ROVNICE POLYNOMU PANELU CALYXO CX60	39
TAB. 2.9 PODMÍNKY MĚŘENÍ - FVP Q.CELLS Q.SMART UF L 95	39
TAB. 2.10 TABULKA VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ OHŘEVU ZE VŠECH NAMĚŘENÝCH HODNOT PANELU Q.CELLS Q.SMART UF L 95	40
TAB. 2.11 TABULKA VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ OHŘEVU PO KOREKCI HODNOT PANELU Q.CELLS Q.SMART UF L 95	42
TAB. 2.12 VÝVOJOVÁ TABULKA VYPOČTENÉHO KOEFICIENTU OHŘEVU Z ROVNICE POLYNOMU PANELU Q.CELLS Q.SMART UF L 95	42
TAB. 2.13 TABULKA VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ CHLADNUTÍ ZE VŠECH NAMĚŘENÝCH HODNOT PANELU Q.CELLS Q.SMART UF L 95	43
TAB. 2.14 TABULKA VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ CHLADNUTÍ PO KOREKCI HODNOT PANELU Q.CELLS Q.SMART UF L 95	43
TAB. 2.15 PODMÍNKY MĚŘENÍ - FVP ASCENT SOLAR WSLE-0240-024-ST-06-B	44
TAB. 2.16 TABULKA VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ OHŘEVU ZE VŠECH NAMĚŘENÝCH HODNOT PANELU ASCENT SOLAR WSLE-0240-024-ST-06-B	44
TAB. 2.17 TABULKA VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ OHŘEVU PO KOREKCI HODNOT PANELU ASCENT SOLAR WSLE-0240-024-ST-06-B	45
TAB. 2.18 VÝVOJOVÁ TABULKA VYPOČTENÉHO KOEFICIENTU OHŘEVU Z ROVNICE POLYNOMU PANELU ASCENT SOLAR WSLE-0240-024-ST-06-B	46
TAB. 2.19 TABULKA VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ CHLADNUTÍ ZE VŠECH NAMĚŘENÝCH HODNOT PANELU ASCENT SOLAR WSLE-0240-024-ST-06-B	46
TAB. 2.20 TABULKA VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ CHLADNUTÍ PO KOREKCI HODNOT PANELU ASCENT SOLAR WSLE-0240-024-ST-06-B	47
TAB. 2.21 VÝVOJOVÁ TABULKA VYPOČTENÉHO KOEFICIENTU CHLADNUTÍ Z ROVNICE POLYNOMU PANELU ASCENT SOLAR WSLE-0240-024-ST-06-B	48
TAB. 2.22 PODMÍNKY MĚŘENÍ - FVP SOLARTEC SI 72-110 / 24 110WP	48
TAB. 2.23 TABULKA VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ OHŘEVU ZE VŠECH NAMĚŘENÝCH HODNOT PANELU SOLARTEC SI 72-110 / 24 110WP	49
TAB. 2.24 TABULKA VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ OHŘEVU PO KOREKCI HODNOT PANELU SOLARTEC SI 72-110 / 24 110WP	51
TAB. 2.25 VÝVOJOVÁ TABULKA VYPOČTENÉHO KOEFICIENTU OHŘEVU Z ROVNICE POLYNOMU PANELU SOLARTEC SI 72-110 / 24 110WP	51
TAB. 2.26 TABULKA VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ CHLADNUTÍ ZE VŠECH NAMĚŘENÝCH HODNOT PANELU SOLARTEC SI 72-110 / 24 110WP	52
TAB. 2.27 TABULKA VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ CHLADNUTÍ PO KOREKCI HODNOT PANELU SOLARTEC SI 72-110 / 24 110WP	53
TAB. 2.28 VÝVOJOVÁ TABULKA VYPOČTENÉHO KOEFICIENTU CHLADNUTÍ Z ROVNICE POLYNOMU PANELU SOLARTEC SI 72-110 / 24 110WP	54
TAB. 2.29 SROVNÁNÍ VYPOČTENÝCH HODNOT TEPLOTNÍCH KOEFICIENTŮ Z ROVNIC APROXIMACÍ	55
TAB. 3.1 VSTUPNÍ HODNOTY ZÍSKANÉ Z PROGRAMU PVGIS	59
TAB. 3.2 TABULKA VYPOČTENÝCH HODNOT TEPLOT FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE – SIMULACE ZE VSTUPNÍCH DAT PROGRAMU PVGIS	61
TAB. 3.3 TABULKA VYPOČTENÝCH ÚČINNOSTÍ FV PANELŮ PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE – SIMULACE ZE VSTUPNÍCH DAT PROGRAMU PVGIS	62
TAB. 3.4 VYPOČTENÉ HODNOTY VYROBENÉ ENERGIE TESTOVANÝCH FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ ZA DEN A MĚSÍC – SIMULACE ZE VSTUPNÍCH DAT PROGRAMU PVGIS	63

TAB. 3.5 TABULKA S VYPOČTENÝMI HODNOTAMI DEKLINACE PRO VYBRANÉ DNY.....	66
TAB. 3.6 VSTUPNÍ HODNOTY ZÍSKANÉ A VYPOČTENÉ Z DAT MÍSTNÍ METEOSTANICE PRO SIMULACI POMOCÍ VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ.....	69
TAB. 3.7 TABULKA VYPOČTENÝCH HODNOT TEPLOT FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE – SIMULACE ZE VSTUPNÍCH DAT MÍSTNÍ METEOSTANICE S POUŽITÍM VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ.....	72
TAB. 3.8 TABULKA VYPOČTENÝCH ÚČINNOSTÍ FV PANELŮ PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE – SIMULACE ZE VSTUPNÍCH DAT MÍSTNÍ METEOSTANICE S POUŽITÍM VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ.....	73
TAB. 3.9 VYPOČTENÉ HODNOTY VYROBENÉ ENERGIE TESTOVANÝCH FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ ZA DEN A MĚSÍC – SIMULACE ZE VSTUPNÍCH DAT MÍSTNÍ METEOSTANICE S POUŽITÍM VYPOČTENÝCH KOEFICIENTŮ.....	73
TAB. 3.10 VSTUPNÍ HODNOTY ZÍSKANÉ A VYPOČTENÉ Z DAT MÍSTNÍ METEOSTANICE.....	76
TAB. 3.11 TABULKA VYPOČTENÝCH HODNOT TEPLOT FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE – SIMULACE ZE VSTUPNÍCH DAT Z MÍSTNÍ METEOSTANICE.....	76
TAB. 3.12 TABULKA VYPOČTENÝCH ÚČINNOSTÍ FV PANELŮ PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE – SIMULACE ZE VSTUPNÍCH DAT Z MÍSTNÍ METEOSTANICE.....	77
TAB. 3.13 VYPOČTENÉ HODNOTY VYROBENÉ ENERGIE TESTOVANÝCH FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ ZA DEN A MĚSÍC – SIMULACE ZE VSTUPNÍCH DAT Z MÍSTNÍ METEOSTANICE.....	77
TAB. 3.14 TABULKA DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ VÝROBY ENERGIE Z PROVEDENÝCH SIMULACÍ - FVP CALYXO CX60.....	81
TAB. 3.15 TABULKA DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ VÝROBY ENERGIE Z PROVEDENÝCH SIMULACÍ - FVP Q.CELLS Q.SMART UF L 95.....	83
TAB. 3.16 TABULKA DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ VÝROBY ENERGIE Z PROVEDENÝCH SIMULACÍ - FVP ASCENT SOLAR WSLE-0240-024-ST-06-B.....	84
TAB. 3.17 TABULKA DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ VÝROBY ENERGIE Z PROVEDENÝCH SIMULACÍ - FVP SOLARTEC SI 72-110 / 24 110WP.....	86
TAB. 3.18 TABULKA DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ VÝROBY ENERGIE Z PROVEDENÝCH SIMULACÍ - FVP Q.CELLS SL1-80F.....	87
TAB. 3.19 TABULKA ROČNÍCH HODNOT VYROBENÉ ENERGIE ZE VŠECH SIMULACÍ PRO VŠECHNY TESTOVANÉ FVP.....	88

Seznam příloh

Příloha A – Voltampérové a výkonové charakteristiky FVP Calyxo CX60 – 15. 8. 2016

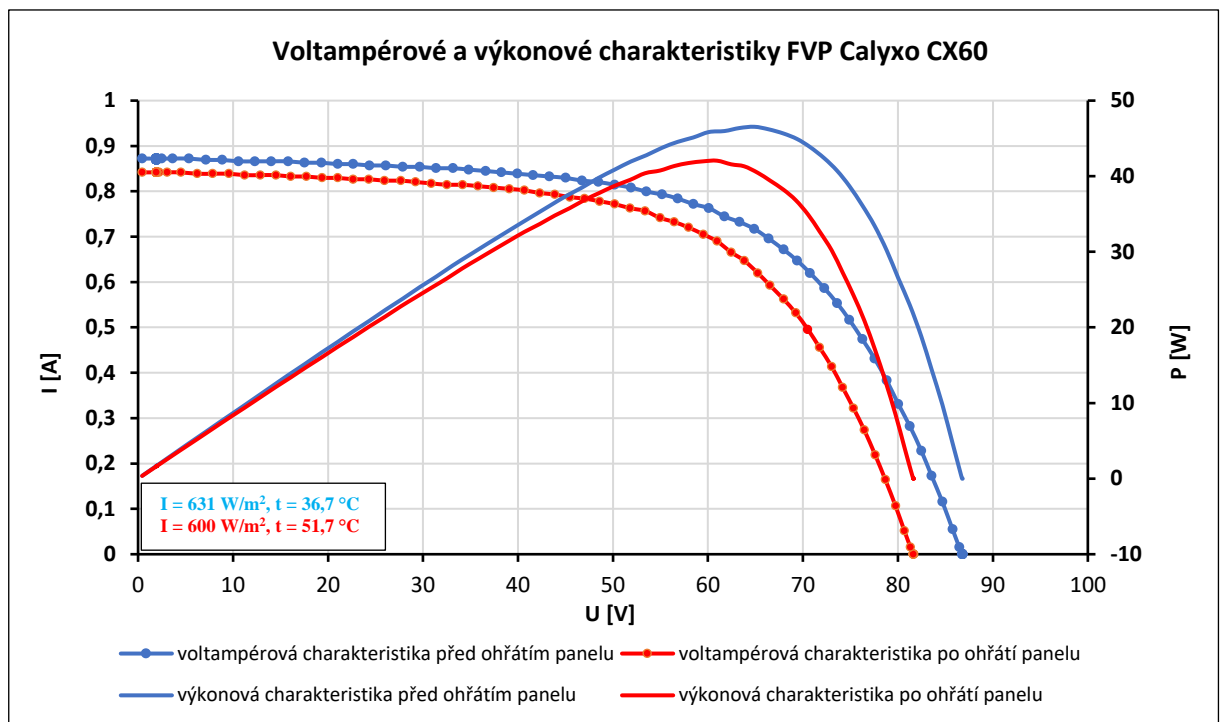
Příloha B – Voltampérové a výkonové charakteristiky FVP Q.Cells Q.SMART UF L 95 – 16. 2. 2017

Příloha C – Voltampérové a výkonové charakteristiky FVP Ascent solar WSLE-0240-ST-06-B – 15. 2. 2017

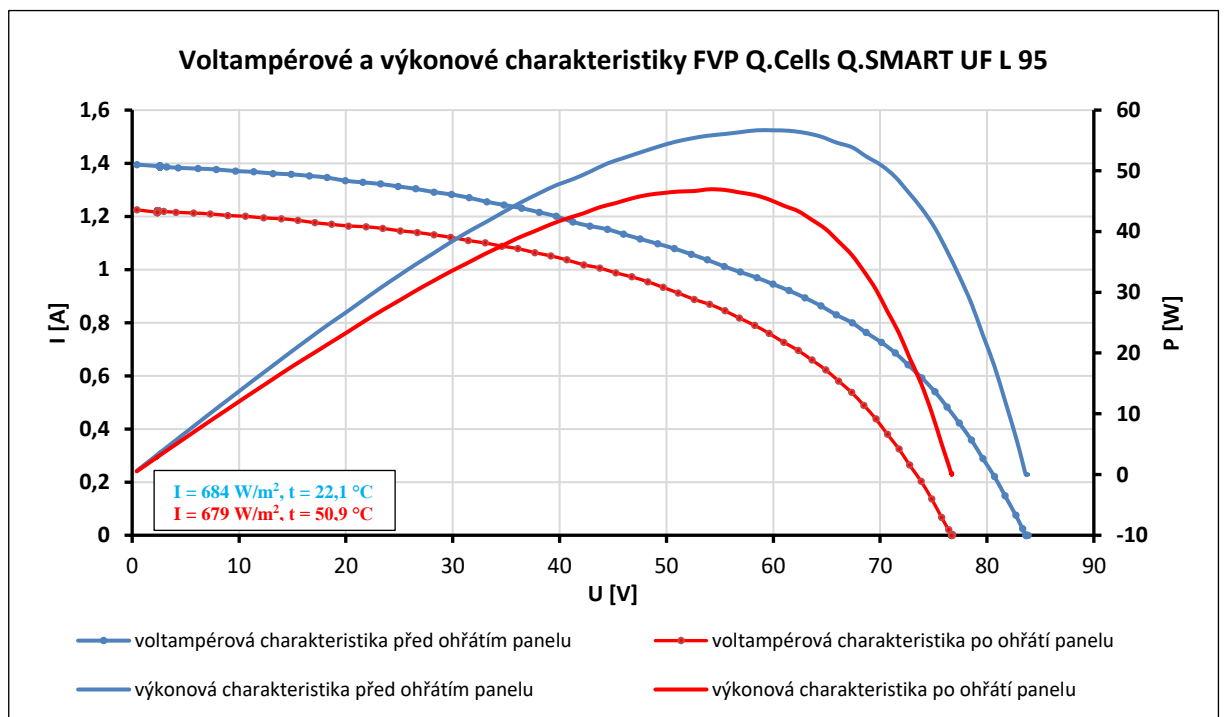
Příloha D – Voltampérové a výkonové charakteristiky FVP Q.Cells SL1-80F – 15. 8. 2016

Příloha E – Voltampérové a výkonové charakteristiky FVP Solartec SI 72-110 / 24 110WP

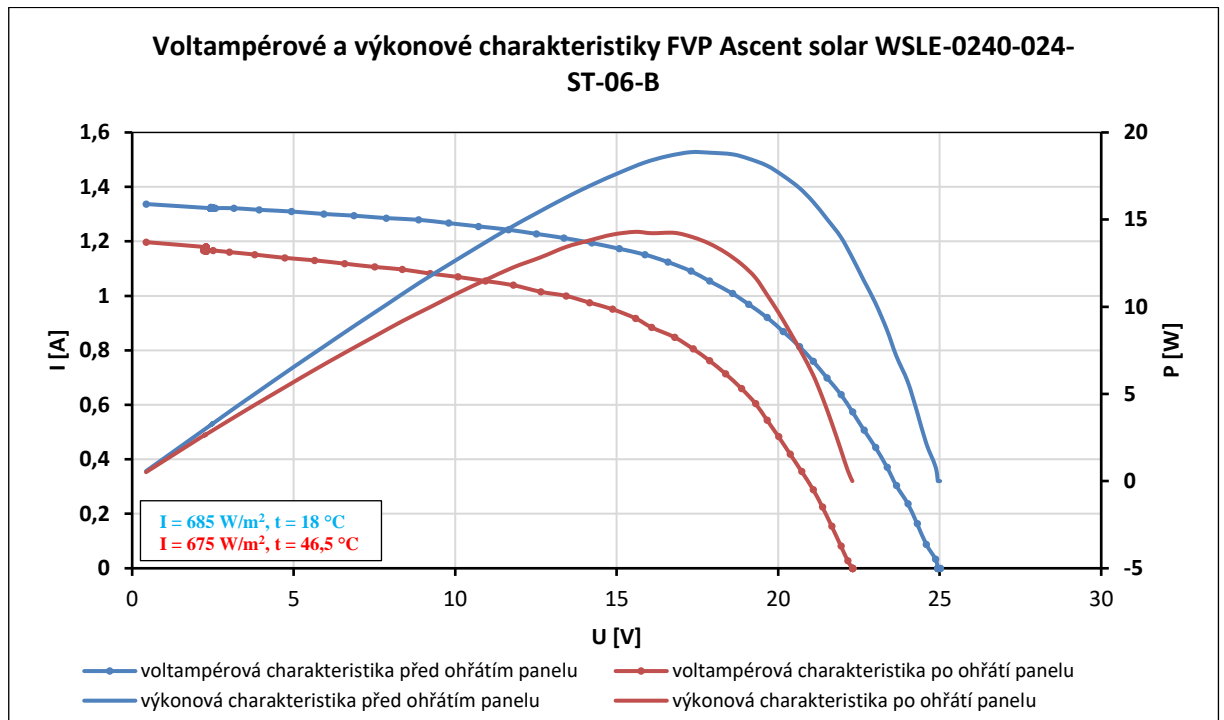
Příloha A – Voltampérové a výkonové charakteristiky FVP Calyxo CX60 – 15. 8. 2016



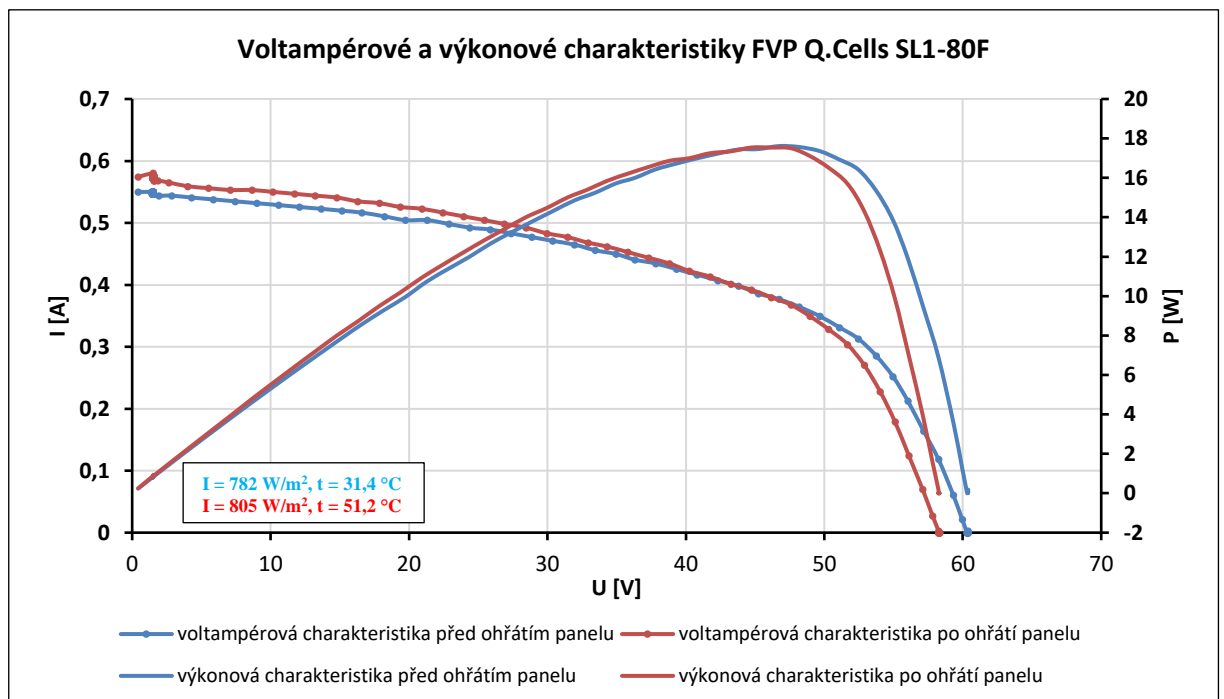
Příloha B – Voltampérové a výkonové charakteristiky FVP Q.Cells Q.SMART UF L 95 – 16. 2. 2017



Příloha C – Voltampérové a výkonové charakteristiky FVP Ascent solar WSLE-0240-024-ST-06-B – 15. 2. 2017



Příloha D – Voltampérové a výkonové charakteristiky FVP Q.Cells SL1-80F – 15. 8. 2016



Příloha E – Voltampérové a výkonové charakteristiky FVP Solartec SI 72-110 / 24 110WP – 15. 2. 2017