

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Provozování FV systémů

vedoucí práce: Ing. Milan Bělík, Ph. D.
autor: Bc. Veronika Straková
rok: 2011/2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Veronika STRAKOVÁ**
Osobní číslo: **E10N0098P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Provozování FV systémů**
Zadávající 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. Rozeberte teoretické vlastnosti FV článků a jejich použití.
2. Popište legislativu týkající se fotovoltaických elektráren a jejich provozování.
3. Proveďte teoretický rozbor zvolené lokality s ohledem na provozování FV systému.
4. Zhodnoťte reálný systém a porovnejte s teoretickými výpočty.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

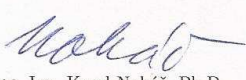
1. Poulek, V., Libra, M. : Solární systémy

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

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


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




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

V Plzni dne 17. října 2011

Název práce

Provozování FV systémů

Anotace

Předkládaná diplomová práce se zabývá využitím solární energie a principem její přeměny na elektrickou energii a také provozováním fotovoltaických elektráren. Informuje o legislativě týkající se FVE v České republice. Jsou zde porovnány teoretické předpoklady s naměřenými výsledky a zhodnoceny výnosnosti investic dvou malých elektráren. Na závěr je vyhodnocen provoz velkých elektráren.

Klíčová slova

Solární záření, fotoelektrický jev, fotovoltaický článek, fotovoltaická elektrárna, účinnost, provozování, intenzita slunečního záření.

Title

Operation of PV systems

Abstract

This thesis deals with the use of solar energy and the principle of conversion of solar energy into electrical energy. It also deals with operation of photovoltaic power plants. This thesis informs about legislation relating to the photovoltaic power plants in Czech republic. Here are compared theoretical assumption with measured results of two small power plants. In another part there is evaluated the return on investment these power plants. In conclusion there is evaluated the operation of two large power plants.

Key words

Solar radiation, photoelectric effect, photovoltaic cell, photovoltaic power plant, efficiency, operation, intensity of solar radiation.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala 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.

V Plzni dne 3. 5. 2012

Bc. Veronika Straková

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala svému vedoucímu diplomové práce Ing. Milanu Bělíkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěla poděkovat rodině a svým blízkým za jejich podporu.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	10
1 TEORETICKÉ VLASTNOSTI FV ČLÁNKŮ A JEJICH POUŽITÍ	11
1.1 Solární záření	11
1.1.1 Podmínky v České republice.....	12
1.2 Fotoelektrický jev.....	14
1.3 Princip fotovoltaického článku.....	15
1.4 Fotovoltaické články první generace.....	16
1.4.1 Monokrystalické články.....	16
1.4.2 Polykrystalické články.....	17
1.4.3 Amorfni články	17
1.5 Vlastnosti fotovoltaických článků	18
1.5.1 Charakteristické parametry fotovoltaických článků:	19
1.5.2 Ekonomické ukazatele fotovoltaických článků:	21
1.6 Fotovoltaické systémy	22
1.6.1 Drobné aplikace	22
1.6.2 Síťové systémy (on-grid).....	22
1.6.3 Ostrovní systémy (off-grid).....	23
2 LEGISLATIVA TÝKAJÍCÍ SE FVE A JEJICH PROVOZOVÁNÍ	25
2.1 Legislativní rámec ČR.....	25
2.1.1 Všeobecný přehled právních norem:	27
2.1.2 Princip výkupních cen:	27
2.1.3 Princip zelených bonusů:	28
2.2 Solární boom	29
2.3 Stop-stav.....	32
2.4 Realizace fotovoltaické elektrárny	33
2.4.1 Seznam potřebných dokumentů:.....	33
2.4.2 Postup při realizaci FVE.....	34

3	PROVOZOVÁNÍ MALÝCH FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN	36
3.1	Fotovoltaická elektrárna Losiná	36
3.2	Fotovoltaická elektrárna Robčice	39
3.3	Odhad výroby energie	41
3.4	Skutečná výroba energie	43
3.4.1	<i>Zhodnocení výroby</i>	43
3.5	Výpočet výnosů a návratnosti	46
3.5.1	<i>Návratnost investice FVE Losiná</i>	46
3.5.2	<i>Návratnost investice FVE Robčice</i>	47
4	PROVOZOVÁNÍ VELKÝCH FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN.....	49
4.1	Fotovoltaická elektrárna 1	49
4.1.1	<i>Popis stavby</i>	49
4.2	Fotovoltaická elektrárna 2	52
4.2.1	<i>Popis stavby</i>	52
4.3	Monitorovací systém	54
4.4	Vyhodnocení provozu FVE.....	54
4.5	Výpočet účinnosti FV panelů	57
4.6	Vyhodnocení denního provozu FVE.....	58
4.7	Měření povrchových teplot pomocí termovize	64
4.7.1	<i>Termovizní kamera FLIR E50</i>	64
4.7.2	<i>Vhodné podmínky pro měření</i>	65
4.7.3	<i>Vlastní měření</i>	65
5	ZÁVĚR.....	67
6	POUŽITÁ LITERATURA	69
7	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	71
8	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	72
9	SEZNAM TABULEK	74
10	PŘÍLOHA	75

Úvod

S rostoucí lidskou populací se zvětšuje i spotřeba elektrické energie. Zásoby klasických zdrojů jsou omezené, a proto se pozornost světa obrátila na obnovitelné zdroje energie. Mezi tyto zdroje patří energie vody, slunečního záření, větru, spalování biomasy, energie příboje a odlivu oceánů a geotermální energie.

V roce 2007 byl Evropskou unií stanoven 20 % podíl výroby energie z obnovitelných zdrojů do roku 2020. Důvodem bylo omezení emisí oxidu uhličitého, který je považován za původce globálního oteplování. Výhodou obnovitelných zdrojů je jejich šetrnost k životnímu prostředí. Tyto zdroje jsou podporovány různými dotacemi nebo zvýhodněnými výkupními cenami energie, jelikož je jejich využívání nákladnější, než je tomu u fosilních paliv. V České republice je elektřina z obnovitelných zdrojů podporována garantovanými výkupními cenami nebo formou tzv. zelených bonusů.

Prozatím nejméně rozvinutý obor obnovitelných zdrojů se zabývá přeměnou sluneční energie na teplo nebo elektrický proud. K výhodám sluneční energie patří čistota provozu a nízké náklady na provoz a údržbu. Jelikož nemá fotovoltaická elektrárna žádné mechanické části a pro svůj provoz nepotřebuje žádné palivo, nedochází tak ke znečišťování okolí emisemi ani hlukem. Využívání sluneční energie pomocí fotovoltaických elektráren má i své nedostatky. To jest zejména nízká účinnost a závislost výkonu na denní době a aktuálních klimatických podmínkách.

V této práci se budu zabývat provozováním fotovoltaických elektráren. Nejprve rozeberu využití sluneční energie a princip její přeměny na elektrickou energii. Zaměřím se na vývoj legislativy týkající se fotovoltaických elektráren. Budu informovat o průběhu solárního boomu a následného stop-stavu a také o současné situaci FVE v České republice. Poté popíši dva fotovoltaické systémy, které se nacházejí v obcích nedaleko u Plzně. V této části se soustředím na porovnání předpokládané výroby se skutečnou výrobou. Dále vyhodnotím návratnost investic těchto elektráren. Na závěr se zaměřím na provoz velkých elektráren. Budu popisovat jednotlivé stavby včetně bezpečnostního a monitorovacího systému. Vyhodnotím provoz dvou velkých elektráren za rok 2012 a porovnáím výrobu elektrické energie v měsíci březnu za různých meteorologických podmínek.

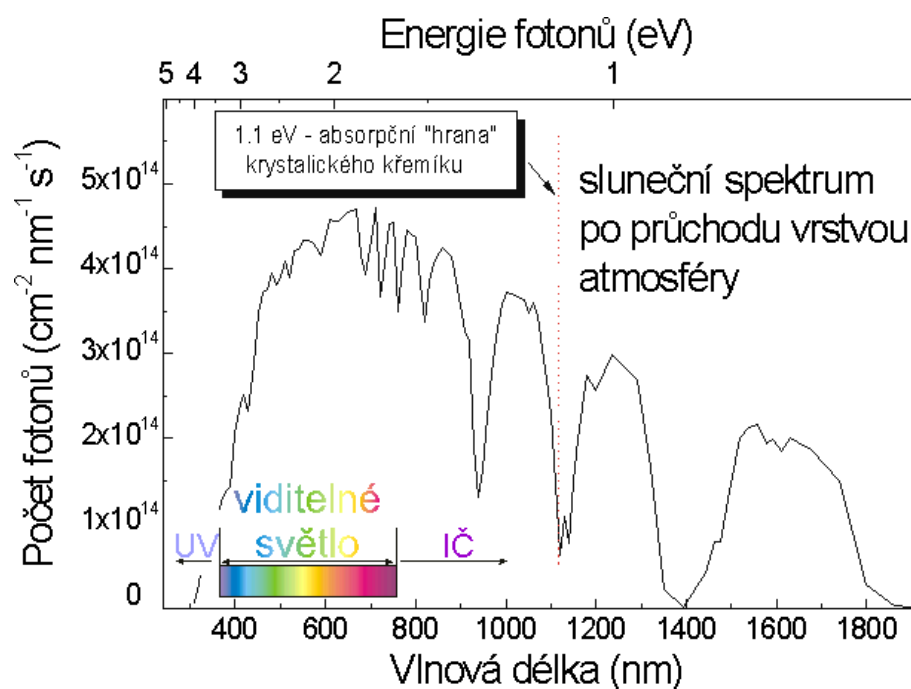
Tuto diplomovou práci jsem si vybrala, jelikož bych chtěla navázat na svoji bakalářskou práci.

1 Teoretické vlastnosti FV článků a jejich použití

1.1 Solární záření

Téměř většina energie Slunce je vyzařována ve formě elektromagnetického záření, které je zdrojem veškerého života na zemi. Každou sekundu dopadá na osvětlenou část zeměkoule $1,74 \cdot 10^{14}$ J zářivé energie, která se uvolní při termonukleárních reakcích. Solární konstanta je tok energie procházející plochou 1 m^2 , kolmou na směr paprsků, ve střední vzdálenosti Země od Slunce, měřený mimo zemskou atmosféru. Solární konstanta činí 1373 W/m^2 . Slunce se chová jako absolutně černé těleso. Vyzařuje paprsky v celém rozsahu spektra, které lze rozdělit na:

- Ultrafialové (vlnová délka než 400 nm)
- Infračervené (vlnová délka 760 nm - 1 mm)
- Viditelné (vlnová délka více než 400 - 750 nm) [1]

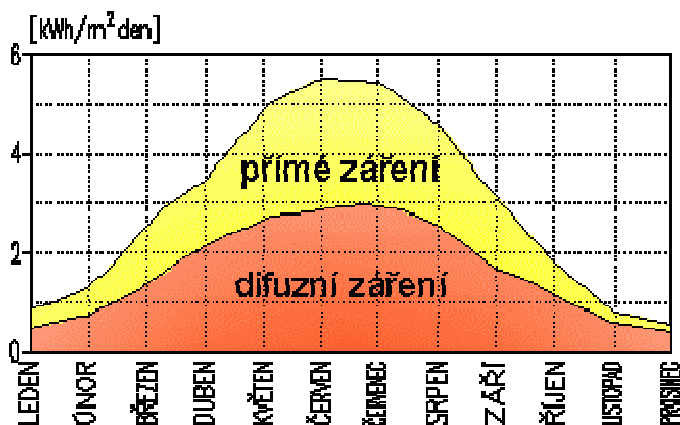


Obr. 1 Energie fotonů [1]

Přibližně 50 % slunečního záření proniká k zemskému povrchu, dalších 30 % je odraženo zpátky do vesmíru a zbylých 20 % je atmosférou pohlceno. Největší pohlcení probíhá v polárních oblastech (záření proniká do atmosféry pod ostrým úhlem), nejméně pak v tropických oblastech. Na zemský povrch dopadá sluneční energie v množství dvacetisíckrát

větším, než jsme schopni využít. Jedná se o čistou energii, kterou však nelze využít při nepříznivých klimatických podmínkách a v noci.

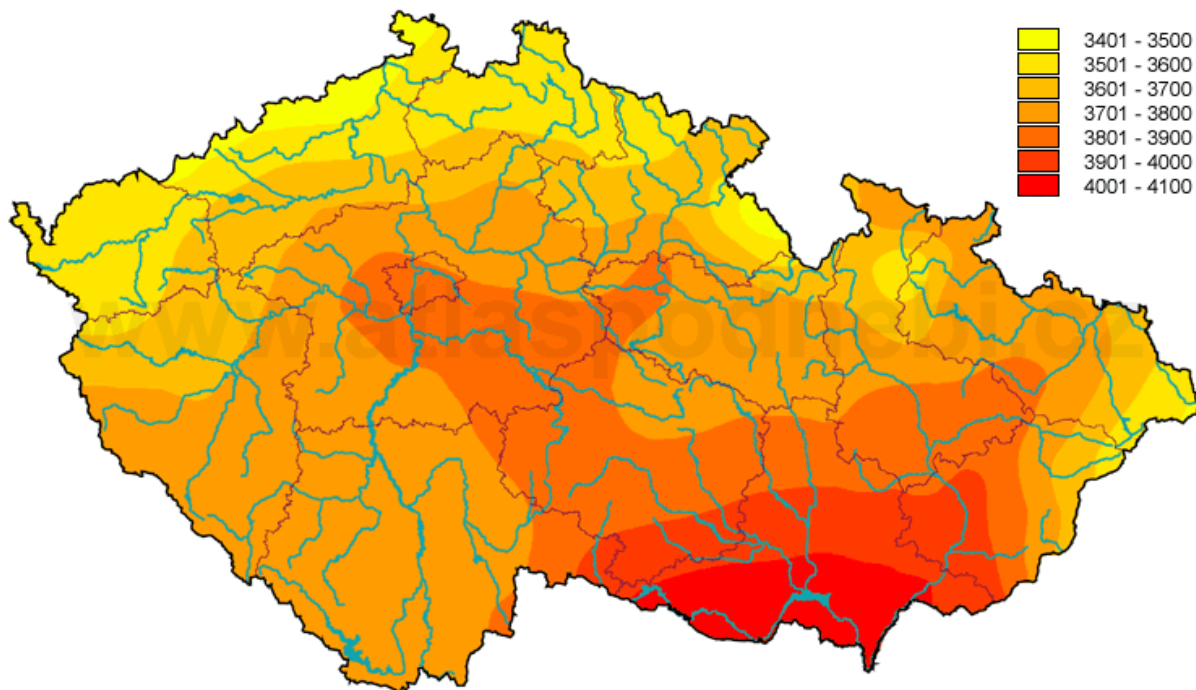
Globální sluneční záření se skládá z přímého a difuzního (viz obr. 2). Při jasné a bezmračné obloze dopadá největší část slunečního záření na Zemi, aniž by změnilo směr. Toto záření se nazývá přímé. Rozptylem přímého záření v mracích a na částech v atmosféře vzniká záření difúzní, které přichází na Zemi ze všech směrů. Na povrch země dopadne maximálně 1000 W/m^2 , protože je část sluneční energie pohlcena nebo odražena. Množství využitelné energie závisí na ročním období, zeměpisné šířce, oblačnosti, lokálních podmínkách a úhlu ozáření. Solární energii lze využívat ve všech zeměpisných šířkách, kromě polárních. [3,5]



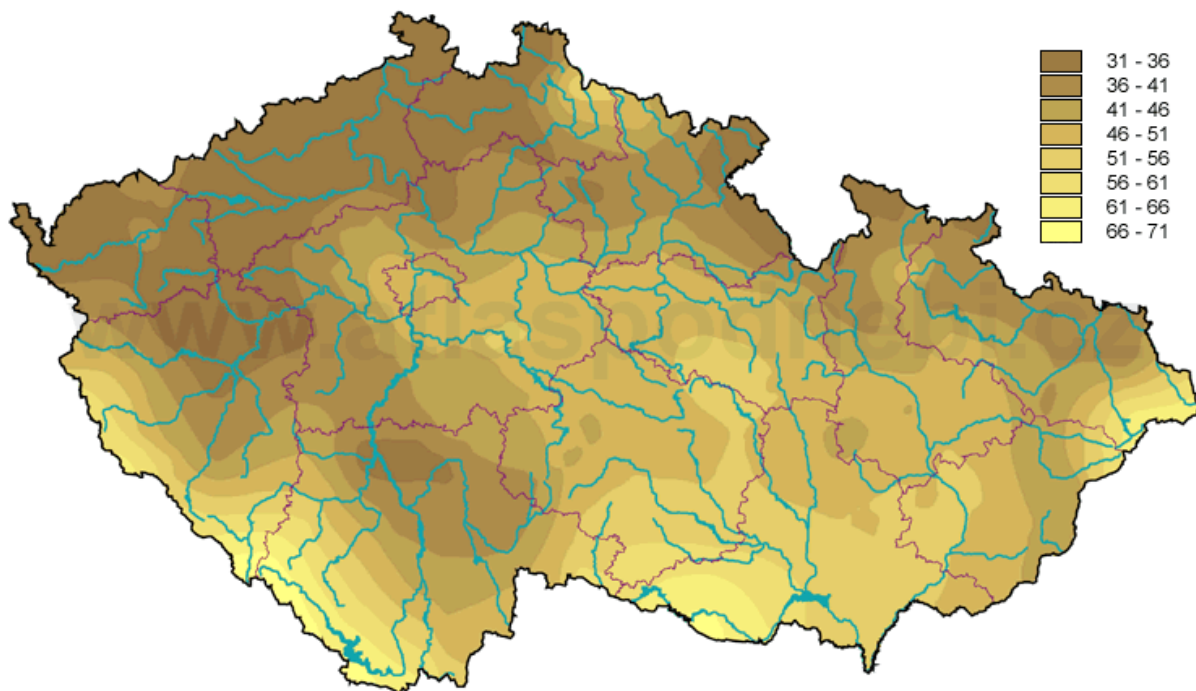
Obr. 2 Přímé a difuzní záření [2]

1.1.1 Podmínky v České republice

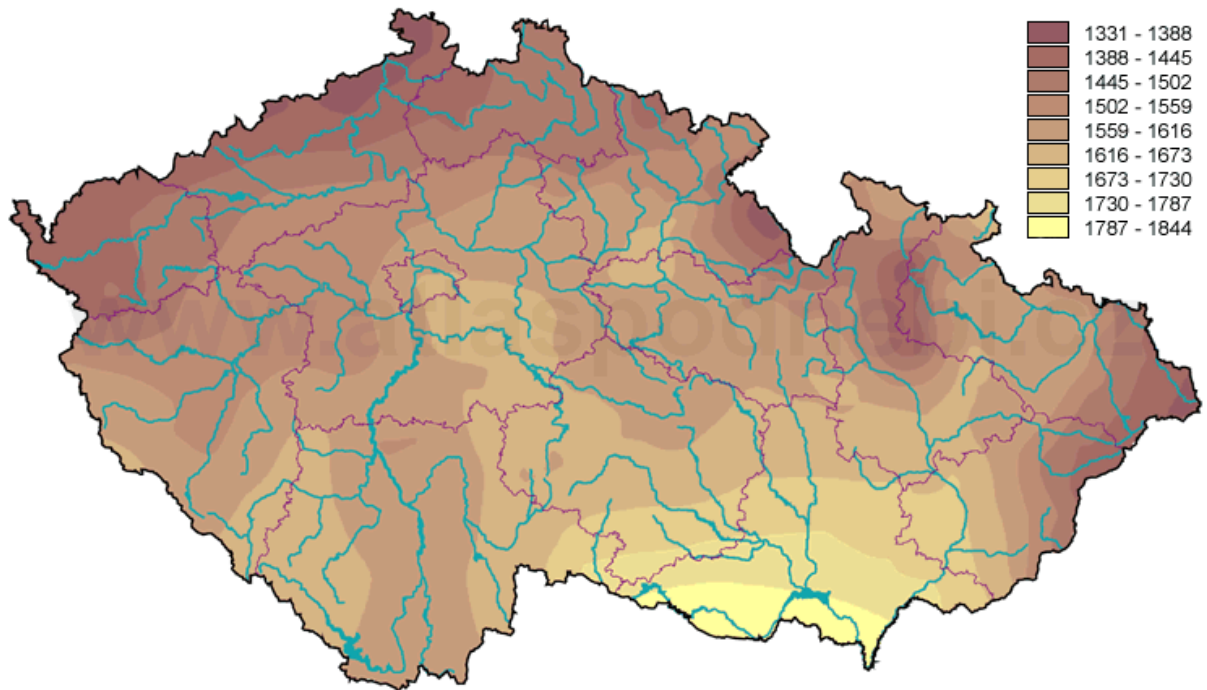
V České republice jsou celkem příznivé podmínky. Nejvíce sluneční energie dopadá na jihovýchod a nejméně na severozápad. Průměrná hodnota počtu hodin slunečního svitu v ČR je 1400 – 1800 h/rok. Mezi jednotlivými regiony je množství slunečního svitu rozdílné. V nížinných oblastech jižní Moravy dosahuje doba svitu až 2000 h/rok a na horách 1600 h/rok. V místech se silně znečištěnou atmosférou a častými inverzemi klesá sluneční záření o 5-10 %. Na 1 m^2 dopadne v ČR přibližně 800 – 1250 kWh energie. [6]



Obr. 3 Průměrný roční úhrn globálního záření [MJ/m²] [38]



Obr. 4 Průměrný roční počet jasných dnů [38]



Obr. 5 Průměrný roční úhrn doby trvání slunečního svitu [38]

1.2 Fotoelektrický jev

Vzájemným působením elektromagnetického záření a hmoty dochází k pohlcování fotonů a uvolňování elektronů. Tento fyzikální jev se nazývá fotoefekt. Nastane-li fotoelektrický jev, pak je elektrický proud přímo úměrný intenzitě dopadajícího záření. Fotoefekt rozdělujeme na vnější a vnitřní. Vnitřní fotoefekt se skládá ze dvou forem: tzv. fotovodivosti a fotovoltaického jevu. Při vnějším fotoelektrickém jevu (fotoemisi) jsou elektrony uvolňovány z vodivostního pásu kovů a opouštějí samotný krystal kovu. Vlivem elektromagnetického záření může v polovodičích docházet k uvolňování elektronů z elektronových obalů atomů. Záření se skládá z fotonů, ale v určitých podmínkách má charakter vln. Energie přenášená fotony je dána vzorcem:

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

E [J] energie fotonu

h [J · s] Planckova konstanta = $6,625 \cdot 10^{-34}$

ν [Hz] frekvence fotonu

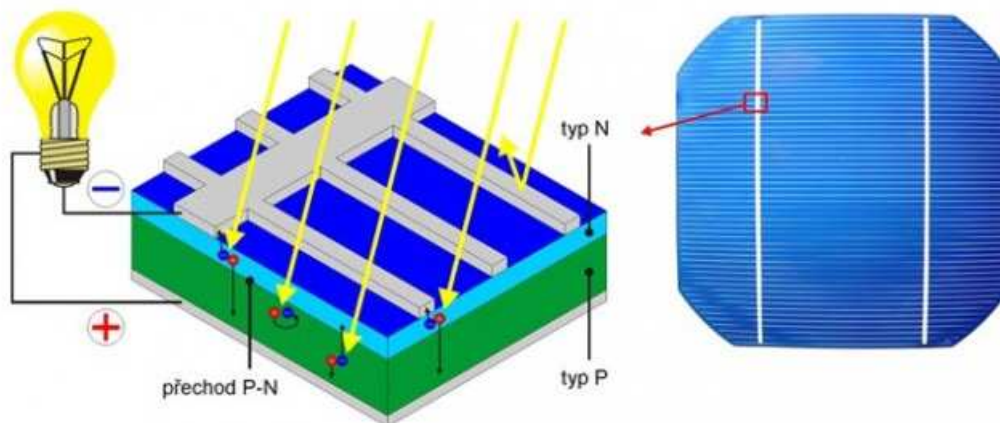
c [m/s] rychlost světla ve vakuu = $3 \cdot 10^8$

λ [m] vlnová délka

Frekvence je nepřímo úměrná vlnové délce a přímo úměrná energii. U fotoemise existuje vztah mezi hraniční vlnovou délkou λ_g a vstupní prací látky E_a . Pokud je vlnová délka kratší než hraniční vlnová délka, vnější fotoefekt nastane. K výrobě elektrického proudu se používá převážně vnitřní fotoefekt na hradlové vrstvě. Elektronů jsou buzeny zářením, neopouštějí látku a chovají se jako volné nosiče náboje, které vytváří elektrický proud. Fotoelektrický jev se realizuje pomocí solárních článků. [1, 2]

1.3 Princip fotovoltaického článku

V polovodičovém prvku, který tvoří velkoplošná dioda s přechodem PN, se přeměňuje světelná energie na energii elektrickou. Fotovoltaický článek tvoří plátek krystalického křemíku typu P. Na horní vrstvě, která je silná přibližně 500 nm, se nachází polovodič typu N. Vodivá stříbrná mřížka je umístěna na spodní straně destičky. Tyto vrstvy jsou odděleny PN přechodem. Pokud vystavíme článek slunečnímu záření, vznikne vnitřní fotoelektrický jev. Z krystalové mřížky se začnou uvolňovat elektrony. Na PN přechodu vznikne elektrické napětí. Světelná energie se v článku přemění na elektrickou. Připojíme-li k FVČ spotřebič, začne obvodem procházet elektrický proud, který je přímo úměrný intenzitě dopadajícího záření a ploše. Aby se začaly uvolňovat elektrony z krystalové mřížky, musí být energie fotonů alespoň 1,12 eV. Čím kratší je vlnová délka záření, tím větší je energie fotonů.



Obr. 6 Fotovoltaický článek [7]

Solární články dodávají stejnosměrný proud i napětí. Jeden fotovoltaický článek může vyprodukovat při maximálním výkonu pouze 0,5 V a 3 A. Z tohoto důvodu se články zapojují do tzv. panelů. Výkonovou jednotkou je Wattpeak (Wp) tzv. špičkový výkon, který je naměřený za standardních testových podmínek. Článek se ozařuje světlem, které odpovídá slunečnímu záření o intenzitě 1000 W/m^2 , při spektrálním složení světla odpovídající

slunečnímu spektru AM 1,5 a teplotě článku 25° C. Nejčastěji se zapojuje do série 72 článků pro 24 V nebo 36 článků pro 12 V. Při sériovém zapojení protéká stejný proud všemi články. Pokud dojde k zastínění FVČ (např. nahromaděným prachem, větvemi stromů, atd.), vyrábějí články různě velké proudy. Potom dodává celý modul jen takový proud, který je vyráběn nejhůře osvětleným článkem.

Moduly se ukládají do etylenvinylacetátové folie (EVA folie). Zadní strana je uzavřena folií z umělé hmoty. Na přední straně modulu se nachází tvrzené sklo, které chrání před deštěm, větrem, krupobitím a dalšími nepříznivými podmínkami. Dále se panely opatřují kovovým rámem z hliníku nebo oceli. [7]

1.4 Fotovoltaické články první generace

1.4.1 Monokrystalické články

Monokrystalické články mají jednotnou strukturu. Většinou jsou sytě modré nebo černé. Články mívají tvar osmiúhelníku. Teoretická účinnost monokrystalických článků je 33 %. Prakticky se účinnost pohybuje v rozmezí 14 – 16 %. Tyto články využívají přímé sluneční záření a jsou citlivé na správnou orientaci. Účinnost článků se výrazně snižuje jejich zastíněním. Současný výkon se pohybuje mezi 180–250 W.



Obr. 7 Monokrystalický článek [8]

Monokrystalické články se vyrábí metodou řízené krystalizace z taveniny. Nejprve se vloží krystal velmi čistého křemíku do taveniny. Tento proces probíhá ve speciálních tankových nádobách v inertní atmosféře argonu. Dle přesně definovaného programu se krystal otáčí a dojde k vyloučení nové vrstvy čistého křemíku. Vznikne tzv. ingot, který se následně ochladí a je rozřezán laserem nebo drátovou pilou na tenké plátky. Zbytky ingotu se vracejí k roztavení a opětovnému zpracování. Mořením křemíkových plátek v lázni se zvyšuje absorpce světla. Poškozený povrch článků, vzniklý při řezání, se odstraní leptáním. Dále se vytvoří tenká vrstva polovodiče typu N o tloušťce 500 nm. Těsně pod povrchem křemíkové destičky vznikne přechod PN. Kruhový tvar destiček se ořeže na čtverce se zaoblenými rohy.

Dále se destičky pokryjí antireflexní vrstvou nitridu, která snižuje odrazivost povrchu a také chrání povrch před mechanickým poškozením. Na závěr se destičky pokrývají po obvodu kovovou mřížkou s kontakty, které se zhotovují sítotiskovou metodou. [8]



Obr 8. Křemíkové ingoty[8]

1.4.2 Polykrystalické články

Na rozdíl od monokrystalických článků mají polykrystalické články viditelnou strukturu. Nejčastěji mají čtvercový tvar a výraznou modrou barvu. Účinnost se pohybuje v rozmezí 12 – 15 %. Cena polykrystalických článků bývá nižší. Tyto články se vyrábí v tavicích pecích. Nejprve jsou roztaveny granule křemíku a postupným ochlazováním dochází ke krystalizaci. Odlitky se následně rozřežou na malé kvádry, které jsou vhodné pro další zpracování. Poté se kvádry dělí na destičky. Stejně jako u monokrystalických článků se i tyto destičky moří, opatřují antireflexní vrstvou a kovovou mřížkou s kontakty.



Obr. 9 Polykrystalický článek [8]

1.4.3 Amorfni články

Amorfni články mají tmavě černo-hnědou barvu. Jejich účinnost se pohybuje v rozmezí 8 – 9 %. Pro dosažení požadovaného výkonu potřebují přibližně 2,5krát větší plochu, než je zapotřebí u článků monokrystalických a polykrystalických. Většinou se využívají v místech, kde není možné jejich umístění na jih. Amorfni články jsou minimálně ovlivněny teplotou a zastíněním a jejich pořizovací cena je nejnižší. Vyrábí se z amorfniho

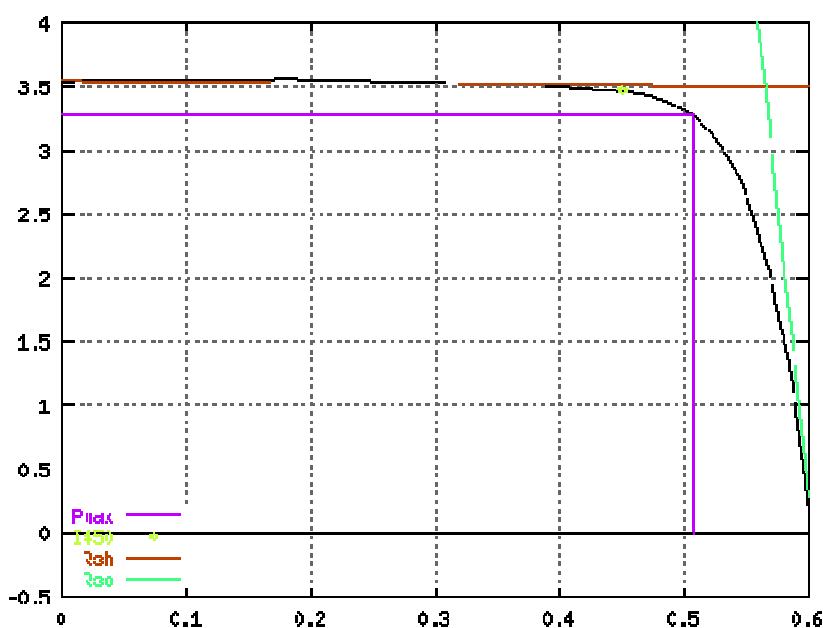
křemíku metodou napařování ve vakuových komorách. Při teplotách kolem 200°C je nanášena vrstva amorfního křemíku na skleněný obal nebo fólii. Tato metoda se nazývá technologie tenkých vrstev, jelikož tloušťka článků nepřesahuje $0,001\text{ mm}$. Přední i zadní strana těchto panelů je tvořena z vysoce stabilního skla. Díky tomu je modul oboustranně chráněn, jak proti povětrnostním vlivům, tak i mechanickému poškození. [9]



Obr. 10 Amorfni článek [8]

1.5 Vlastnosti fotovoltaických článků

Elektrické vlastnosti FVČ se charakterizují závislostí proudu na napětí. Charakteristické parametry jsou hodnoty napětí naprázdno a proud nakrátko. Některé parametry musíme získat měřením, jiné lze zjistit z katalogových listů. Po dokončení výroby solárních článků je nutné, aby byl každý článek změřen, jelikož články musí mít velmi podobné vlastnosti. Pracuje se dle standardních testovacích podmínek STC (Standart Test Condition). Článek se ozařuje světlem, které odpovídá slunečnímu záření o intenzitě 1000 W/m^2 , při spektrálním složení světla odpovídající slunečnímu spektru AM 1,5 a teplotě článků 25°C . [2]



Graf 1 V-A charakteristika solárního článku [10]

1.5.1 Charakteristické parametry fotovoltaických článků:

Proud nakrátko – I_{sc} (Short Circuit)

Proud nakrátko je maximální proud, který může článek dodávat. Závisí na teplotě, citlivosti článku, intenzitě osvětlení a na ploše článku. Velikost proudu nakrátko se pohybuje v řádu desítek mA až jednotek A.

Napětí naprázdno – U_{oc} (Open Circuit)

Napětí naprázdno je maximální napětí fotočlánku, při dané teplotě a intenzitě osvětlení. U monokrystalických článků je toto napětí přibližně 0,6 V.

Pracovní bod – PB

Jedná se o bod na V-A charakteristice, ve kterém FVČ momentálně pracuje. Jeho poloha je závislá na vlastnostech spotřebiče. Jestliže leží pracovní bod v režimu nakrátko nebo naprázdno, neodevzdává FVČ žádný výkon.

Maximum Power Point - MPP

Jedná se o bod na V-A charakteristice s maximálním výkonem. Udává se pomocí napěťové a proudové souřadnice.

P_m [W] max. výkon, který může článek dodávat

U_m [V] napětí, při kterém dodává FVČ P_m

I_m [A] proud, při kterém dodává FVČ P_m

R_m [Ω] vnitřní odpor FVČ, při kterém dodává FVČ P_m

Proud I_{450}

Je proud, který protéká článkem při napětí 450 mV. Měří se kvůli lepšímu určení polohy MPP.

FF – Fill Factor (Činitel naplnění)

Udává poměr mezi maximálním výkonem, který je daný napětím naprázdno a proudem nakrátko. Záleží na materiálu, kvalitě kontaktů a odporu polovodivé vrstvy. Činitel naplnění je dán vzorcem:

$$FF = \frac{U_m \cdot I_m}{U_{oc} \cdot I_{sc}} = \eta_{el} \quad (1.2)$$

Účinnost fotovoltaického článku – EEF₁

Účinnost přeměny slunečního záření FVČ je dána vlastnostmi materiálu, ze kterého je FVČ vyroben.

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

P_m [W] max. výkon, který může článek dodávat

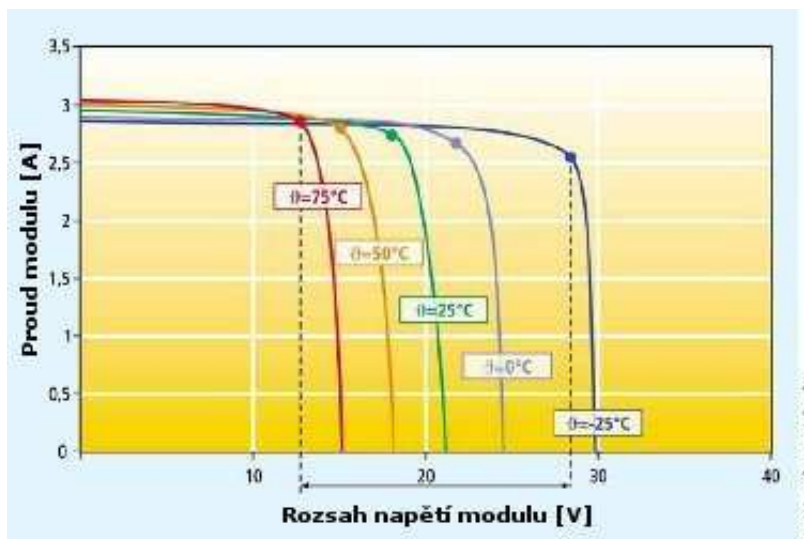
P_{rad} [W] výkon dopadajícího záření

E [W.m⁻²] intenzita osvětlení při STC

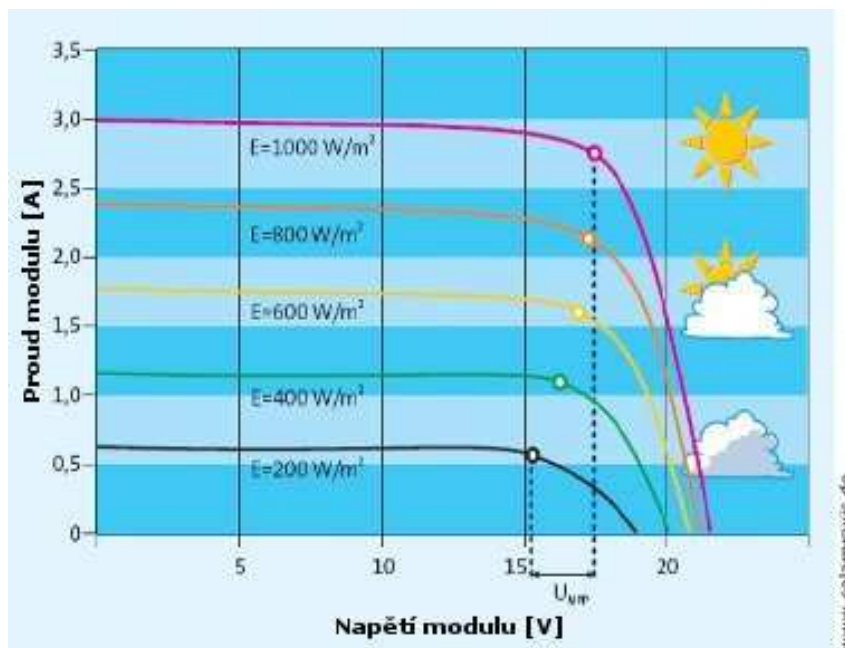
A_c [m²] plocha FVČ

Sériový R_{SO} a paralelní R_{SH} odpor fotočlánku

Hodnota sériového a paralelního odporu udává informaci o kvalitě fotočlánku. Pokud je hodnota paralelního odporu nízká, je článek vadný. Těmto parametrům odpovídá sklon charakteristiky. [10,11]



Graf 2 Teplotní závislost solárního článku [13]



Graf 3: Závislost proudu a napětí na intenzitě osvětlení [13]

1.5.2 Ekonomické ukazatele fotovoltaických článků:

Cena za jednotku výkonu FVČ:

$$CP = \frac{PC_{FVČ}}{P_m} \quad (1.4)$$

CP [Kč/W] cena za jednotku výkonu

$PC_{FVČ}$ [Kč] pořizovací cena

P_m [W] MPP-maximální výkon

Cena za jednotku plochy FVČ:

$$CA = \frac{PC_{FVČ}}{A_c} \quad (1.5)$$

CA [Kč/cm²] cena za jednotku plochy FVČ

$PC_{FVČ}$ [Kč] pořizovací cena

A_c [cm²] plocha FVČ

1.6 Fotovoltaické systémy

Fotovoltaické systémy lze rozdělit dle účelu použití na tři skupiny:

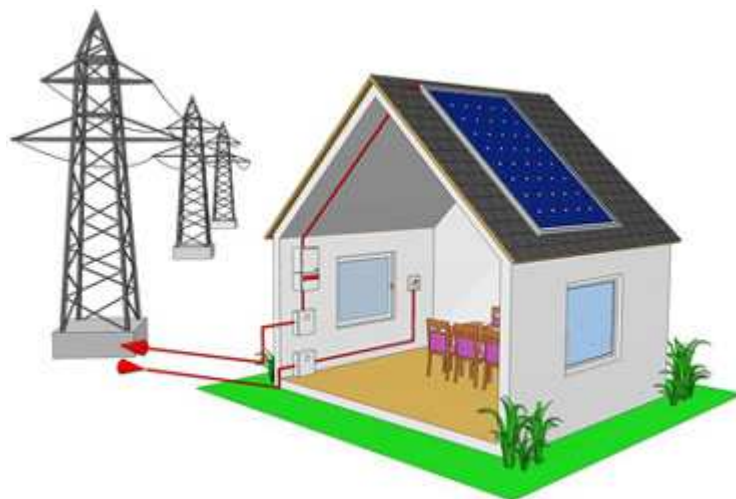
- Drobné aplikace
- Síťové systémy (on-grid, grid-connected)
- Ostrovní systémy (stand alone, off-grid)

1.6.1 Drobné aplikace

Drobné aplikace tvoří nejmenší, avšak nezanedbatelný podíl na fotovoltaickém trhu. Roste poptávka po nabíjecích zařízeních pro okamžité nabíjení akumulátorů (fotoaparáty, mobilní telefony, MP3 přehrávače, atd.) ve volné přírodě.

1.6.2 Síťové systémy (on-grid)

Tyto systémy připojené k rozvodné síti jsou nejčastěji používány v místech s hustou sítí elektrických rozvodů. Spotřebiče v budově jsou při dostatečném slunečním svitu napájeny vlastní vyrobenou energií. Systémy připojené na síť jsou nejčastěji budovány na rodinných domech nebo v průmyslových objektech. U těchto systémů se špičkový výkon pohybuje v rozmezí jednotek až stovek kW.



Obr. 11: Síťové systémy [25]

a) Režim vlastní spotřeby a prodeje přebytků

V tomto případě jsou FV panely připojené na napěťový měnič, který přeměňuje stejnosměrný proud na střídavý. Dále je zde elektroměr pro odpočet vyrobené energie fotovoltaikou. Celý okruh je připojen na samostatný jistič a přepětovou ochranu do rozvaděče v daném objektu. Vlastní vyrobenou energii je možné spotřebovat (tím lze šetřit náklady

na odebranou energii), nebo v případě přebytků přes hlavní čtyřkvadrantní elektroměr předávat do sítě. Za vyrobenou energii je v obou případech inkasován tzv. zelený bonus. Pokud prodáváme případné přebytky do sítě, inkasujeme rozdíl mezi výkupní cenou a zeleným bonusem.

b) Režim přímého prodej elektrické energie do sítě

Jedná se výhradně o výkup elektrické energie. FV panely jsou připojené na napěťový měnič a elektroměr pro odpočet energie, která je vyrobena fotovoltaikou. Okruh je přes jistič a přepěťovou ochranu připojen před hlavní elektroměr. Celková vyrobená energie je dodávána do distribuční sítě za výkupní cenu.

1.6.3 Ostrovní systémy (off-grid)

Tyto systémy nejsou připojeny k síti. Používají se v místech, kde se nenachází rozvodná síť a kde je za potřebí střídavé napětí 230 V. Nachází se v místech, kde nelze vybudovat elektrická přípojka, nejčastěji kvůli ekonomickým důvodům. Systémy se využívají na samotách, horských chatách, telekomunikačních zařízeních atd. Ostrovní systémy lze dále rozdělit na hybridní systémy, systémy s přímým napájením a systémy s akumulací elektrické energie.



Obr.12: Ostrovní systémy [25]

a) Systémy s přímým napájením

Jsou používány v případech, kdy nevádí, že připojené elektrické zařízení funguje pouze při dostatečné intenzitě osvětlení. Jedná se o propojení spotřebiče a solárního modulu. Systémy se aplikují např. pro nabíjení akumulátorů malých přístrojů, napájení ventilátorů, odvětrávání uzavřených prostor nebo čerpání vody pro závlahu.

b) Systémy s akumulací elektrické energie

Jsou nezávislé na síti a vyžadují akumulátorové baterie. Doba, kdy nastává největší spotřeba energie, není stejná jako doba, po kterou je energie ze solárních panelů k dispozici. Životnost baterie je silně závislá na způsobu nabíjení a vybíjení, které zajišťuje elektronický regulátor. K tomuto systému lze připojit spotřebiče na stejnosměrný proud (napětí systému 12V nebo 24V), nebo také běžné síťové spotřebiče 230V/~50 Hz napájené přes napěťový měnič.

c) Hybridní ostrovní systémy

Systémy s celoročním provozem je nutné dimenzovat na zimní provoz, v důsledku menšího množství získané energie v zimních měsících. To zapříčiní nárůst instalovaného výkonu a také investičních nákladů. Z tohoto hlediska je výhodnější připojit k systému doplňkový zdroj elektrické energie. Doplňkový zdroj může být spalovací generátor s kogenerací, větrný generátor nebo malá vodní elektrárna. [12,13, 25]

2 Legislativa týkající se FVE a jejich provozování

2.1 Legislativní rámec ČR

Mezi primární dokumenty hospodářské politiky patří Státní energetická koncepce ČR. Jedná se o dokument, kterým se stanovují strategické cíle státu v energetice s výhledem do roku 2030. Vymezuje vize a strategické priority energetiky a předvídá trendy budoucího vývoje v energetice. Vytváří podmínky pro bezpečné a spolehlivé dodávky energie. Dále pak efektivní využívání energie v souladu s ochranou životního prostředí. Hlavní představou Státní energetické koncepce je nezávislost ČR při zajišťování dodávek energií, udržitelný rozvoj a všestranná bezpečnost.

V roce 2010 byla SEK aktualizována v souvislosti s vydanou Směrnicí Evropského parlamentu a rady 2009/28/ES o podpoře využívání energie z OZE. Zde je stanoven rámec pro dosažení cíle 20 % podílu OZE na konečné spotřebě energie EU do roku 2020. Tento cíl je rozdělen mezi členy EU tak, že si každý členský stát sám stanoví podíl v jednotlivých sektorech (vytápění, elektřina a chlazení). Směrnice stanovuje kritéria udržitelnosti pro biopaliva a biokapaliny.

Jednu z nejvýznamnějších rolí v oblasti fotovoltaiky zastává Zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů. Jedná se o implementaci Směrnice 2001/77/EC do českého právního řádu. Jeho úkolem je stabilizovat podnikatelské prostředí a vzbudit zájem případných investorů. Tento zákon byl přijat 3. 3. 2005 a je účinný od 1. 8. 2005. Účelem zákona je podpora využívání OZE a také zvyšování podílu OZE na spotřebě primárních energetických zdrojů. Dále pak šetrné využívání přírodních zdrojů a naplnění cíle podílu elektřiny z OZE na hrubé spotřebě elektřiny v ČR ve výši 8 % k roku 2010. Také zavádí systém výkupních cen a zelených bonusů.

„Podpora tohoto zákona se vztahuje na výrobu elektřiny z OZE ve výrobnách elektřiny na území ČR připojených do elektrizační soustavy ČR, prostřednictvím odběrného místa nebo prostřednictvím jiné výroby elektřiny připojené k elektrizační soustavě České republiky. Podpora výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů je stanovena odlišně s ohledem na druh obnovitelného zdroje a velikost instalovaného výkonu výroby. V případě elektřiny vyrobené využitím energie slunečního záření se podpora vztahuje pouze na elektřinu vyrobenou ve výrobně elektřiny s instalovaným výkonem výroby do 30 kWp, která je umístěna na střešní

konstrukci nebo na obvodové zdi jedné budovy spojené se zemí pevným základem evidované v katastru.“ [15]

Jako výchozí prvek pro všechny následující zákony lze považovat Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií.

„Účelem zákona je zvýšit energetickou účinnost při výrobě, přenosu, přepravě, distribuci, rozvodu, spotřebě energie a uskladňování plynu včetně souvisejících činností. K tomu zákon stanoví povinnosti fyzických a právnických osob při nakládání s energií, při provádění energetických auditů a také pravidla pro tvorbu Státní energetické koncepce, územních energetických koncepcí a Národního programu hospodárného nakládání s energií a využívání jejich obnovitelných a druhotných zdrojů.“ [16]

Dne 1. 1. 2011 vstoupil v platnost Zákon č. 402/2010 Sb., kterým se mění Zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z OZE a o změně některých zákonů.

„Byl zaveden odvod za elektřinu vyrobenou ze slunečního záření. Předmětem odvodu je elektřina vyrobená ze slunečního záření v období od 1. 1. 2011 do 31. 12. 2013 v zařízení uvedeném do provozu v letech 2009 a 2010. Od odvodu je osvobozena elektřina vyrobená ze slunečního záření ve výrobně elektřiny s instalovaným výkonem výrobní do 30 kW, která je umístěna na střešní konstrukci nebo obvodové zdi jedné budovy spojené se zemí pevným základem evidované v katastru nemovitostí. Poplatníkem odvodu je výrobce elektřiny ze slunečního záření. Plátcem odvodu je provozovatel přenosové soustavy, resp. provozovatel regionální distribuční soustavy, který je povinen odvod provést z částek hrazených výrobcí formou výkupní ceny nebo zeleného bonusu.“ [17]

Tato novela obsahuje několik novinek. Zavedení srážkové daně ve výši 26 % na FVE uvedené do provozu v letech 2009/2010 o instalovaném výkonu vyšším než 30 kW. Zavedení 32 % darovací daně u bezúplatně nabytých povolenek a zvýšení poplatku za vynětí půdy z půdního fondu, na níž FVE stojí.

2.1.1 Všeobecný přehled právních norem:

- Směrnice 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů.
- Zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z OZE.
- Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií.
- Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (Energetický zákon).
- Vyhláška č. 475/2005 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o podpoře využívání OZE, ve znění pozdějších předpisů.
- Vyhláška č. 426/2005 Sb. o podrobnostech udělování licencí pro podnikání v energetických odvětvích.
- Vyhláška č. 363/2007 Sb., kterou se mění vyhláška č. 426/2005 Sb., o podrobnostech udělování licencí pro podnikání v energetických odvětvích.
- Vyhláška č. 51/2007 Sb. o podmínkách připojení k elektrizační soustavě.
- Vyhláška č. 150/2007 Sb. o způsobu regulace cen v energetických odvětvích. Výkupní ceny a zelené bonusy jsou uplatňovány po dobu životnosti elektrárny.
- Vyhláška č. 364/2007 Sb., kterou se mění vyhláška č. 475/2005 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů.
- Vyhláška č. 343/2008 Sb., kterou se stanoví vzor žádosti o vydání záruky původu elektřiny z OZE a vzor záruky původu elektřiny OZE.
- Cenové rozhodnutí ERÚ č. 7/2011, stanovuje výkupní ceny z obnovitelných zdrojů ceny pro rok 2012. [14]

2.1.2 Princip výkupních cen:

Provozovatel distribuční soustavy nebo přenosové soustavy je dle Zákona č. 180/2005 Sb. povinen odkoupit veškerou elektrickou energii, kterou vyrobí FVE. Pro daný rok stanovuje ERÚ výkupní cenu (viz tab. 14). Tato cena je vyplácena jako minimální po dobu 20 let. Každý půlrok podává investor hlášení o naměřené výrobě. Investor za odebranou energii platí dle stanovených sazeb dle tarifu. Při zvolení podpory ve formě výkupních cen musí investor vynaložit náklady na zřízení odběrného místa. Takto se tedy zvýší celková vstupní investice.

Pro rok 2012 činí výše výkupní ceny 5,08 Kč pro FVE s instalovaným výkonem do 30 kW (viz tab. 14).

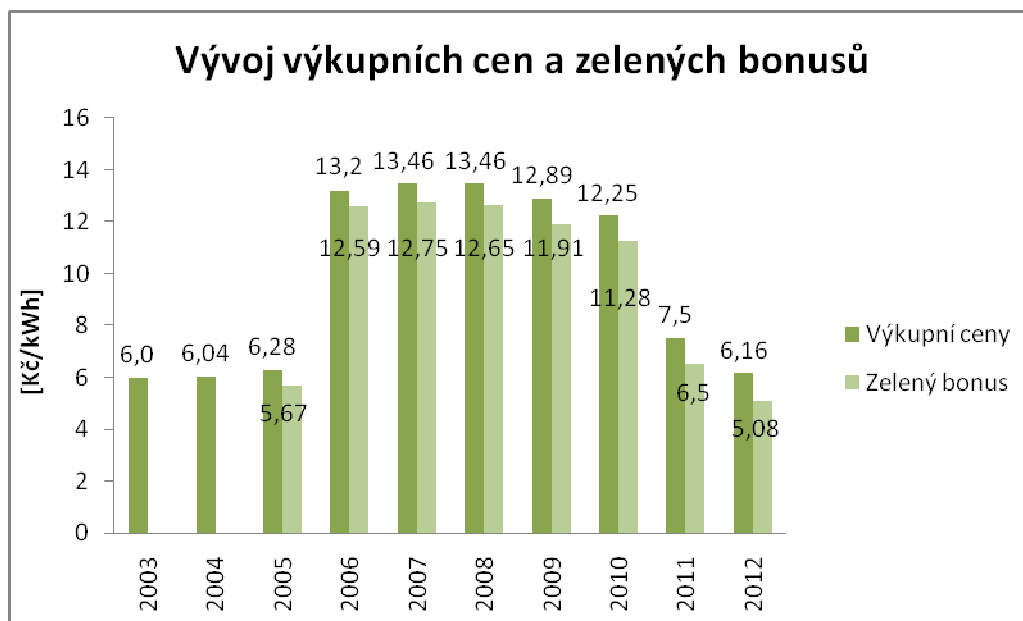
2.1.3 Princip zelených bonusů:

Jedná se o finanční částku, která navyšuje tržní cenu elektřiny a zohledňuje snížené poškození ŽP využitím OZE. Investor spotřebovává zpravidla většinu vyrobené energie sám. Přebytek vyrobené energie je vykupován distributorem. Výkupní cena vyrobené 1kWh je oproti výkupní ceně nižší. Na druhé straně šetří investor na vlastní spotřebě, kterou si dokáže sám pokrýt elektřinou z FVE. Investor musí sehnat odběratele pro výkup nadbytečné energie sám. Investor má povinnost podávat hlášení o vyrobené energii (oceňovaný elektroměr). Celková vstupní investice je oproti systému výkupních cen nižší.

Pro rok 2012 činí výše zeleného bonusu 6,16 Kč pro FVE s instalovaným výkonem do 30 kW. [18]

Datum uvedení do provozu	Výkupní cena [Kč/MWh]	Zelený bonus [Kč/MWh]
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedený do provozu od 1. ledna 2012 do 31. prosince 2012	6160	5080
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedený do provozu od 1. ledna 2011 do 31. prosince 2011	7650	6570
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem nad 30 kW do 100 kW včetně a uvedený do provozu od 1. ledna 2011 do 31. prosince 2011	6020	4940
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem nad 100 kW a uvedený do provozu od 1. ledna 2011 do 31. prosince 2011	5610	4530
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedený do provozu od 1. ledna 2010 do 31. prosince 2010	12750	11570
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem nad 30 kW a uvedený do provozu od 1. ledna 2010 do 31. prosince 2010	12650	11570
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedený do provozu od 1. ledna 2009 do 31. prosince 2009	13690	12610
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem nad 30 kW a uvedený do provozu od 1. ledna 2009 do 31. prosince 2009	13590	12510
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu od 1. ledna 2008 do 31. prosince 2008	14590	13510
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu od 1. ledna 2006 do 31. prosince 2007	14960	13880
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu před 1. lednem 2006	7130	6050

Tab. 1 Výše Výkupních cen a Zelených bonusů pro rok 2012 [14]

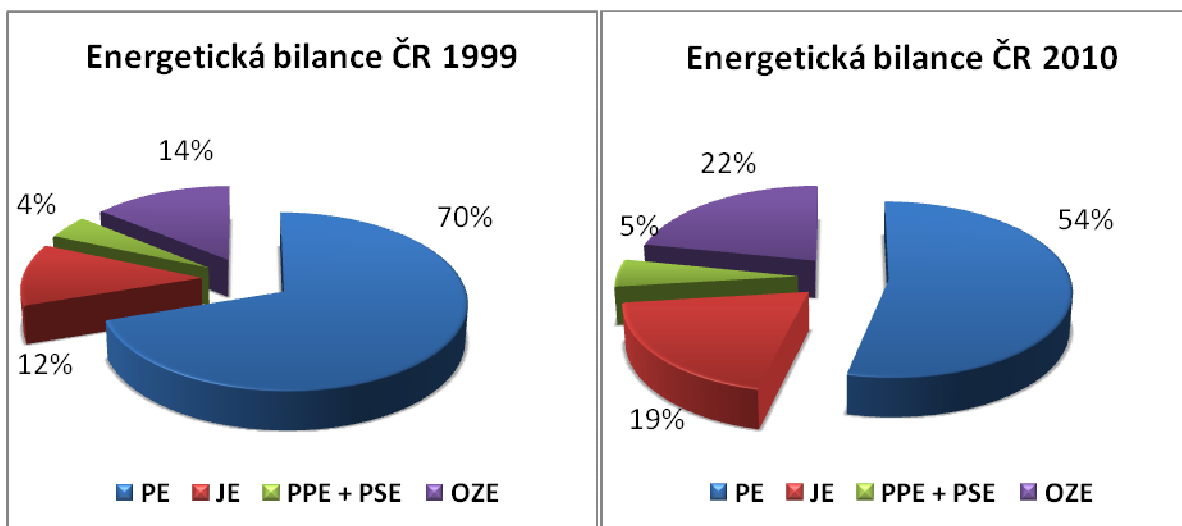


Graf 4 Vývoj výkupních cen a zelených bonusů [27]

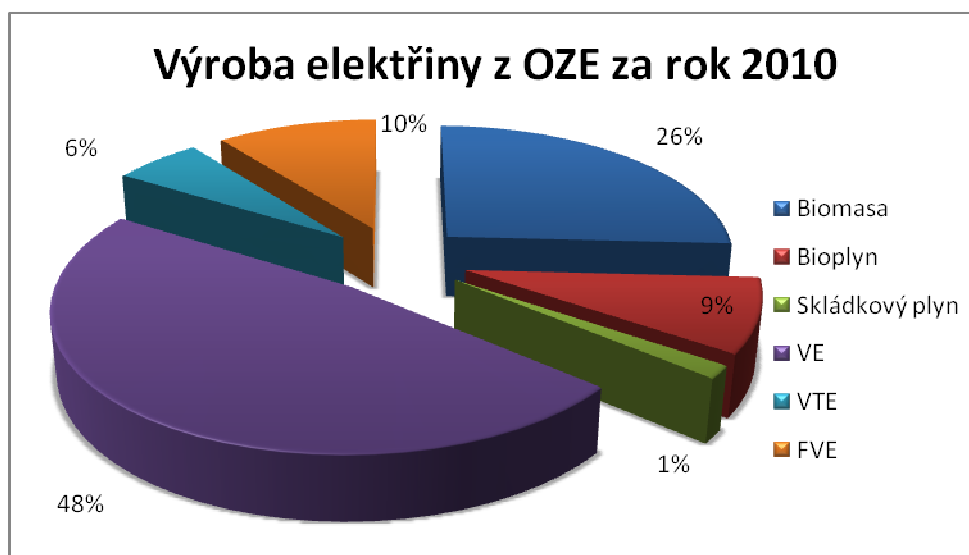
2.2 Solární boom

Česká republika se řídí (v oblasti výroby elektřiny z OZE) Směrnicí Evropského parlamentu a rady č. 2009/28/ES. Jejím cílem je do roku 2020 vyrábět 20 % elektřiny z OZE. Výhodné výkupní ceny (viz graf 4) měly podnikatele motivovat k investicím do OZE a dále měly investorům vykompenzovat nákup drahých solárních komponentů.

Počátek solárního boomu v ČR byl nastartován uvedením zákona č. 180/2005 Sb. Jeho nedostatky vytvořily výhodnější podmínky pro solární elektrárny, které byly zvýhodněné před ostatními zelenými zdroji (viz tab. 2) díky ustanovením v §3 a §6. Ještě před přijetím novelizujících zákonů nebyl nijak limitován v §3 celkový instalovaný výkon a umístění FVE. Projekty mohly být umístěovány kdekoliv a v neomezeném množství. Tímto bylo více výhodnější umísťovat FVE na volných prostranstvích, než na střeších budov. Snížily se tak celkové náklady na konstrukci. FVE byly dále zvýhodněny tím, že neexistovalo omezení podpory dle instalovaného výkonu výroby.



Graf 5 Energetická bilance ČR (1999,2010)[28]



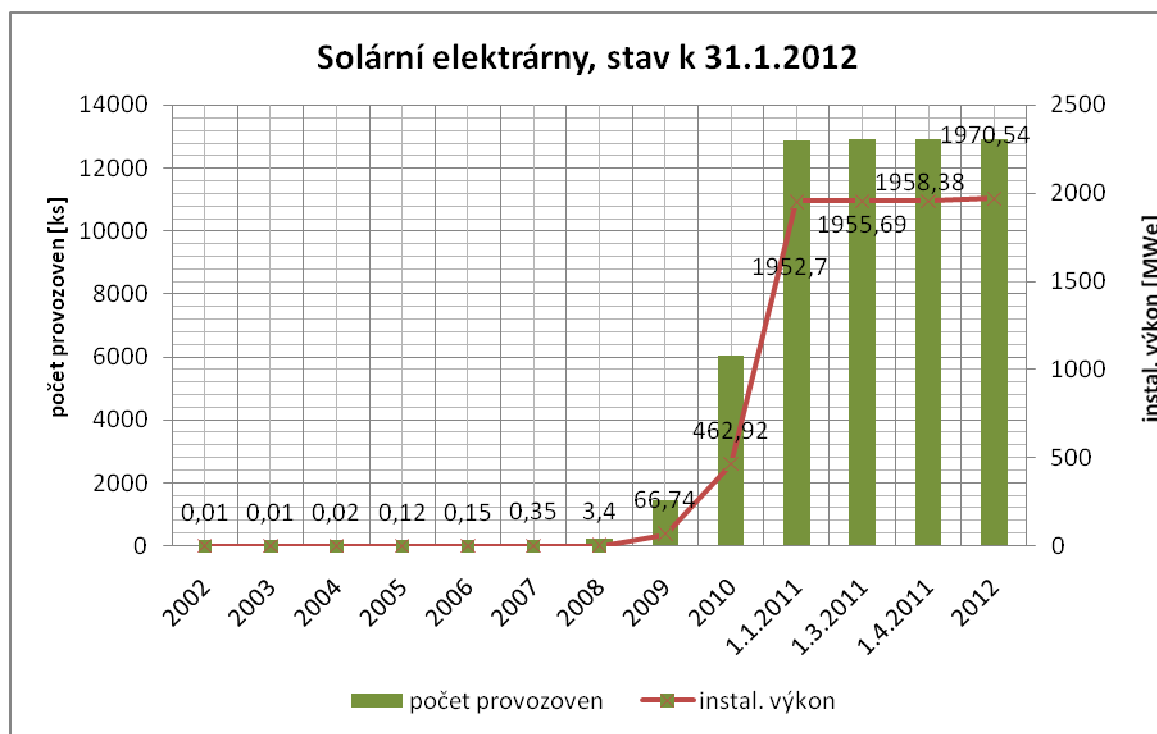
Graf 6 Výroba elektřiny z OZE 2010 [28]

Dalším startérem solárního boomu se stala vyhláška vydaná 364/2007 Sb., která zvýšila životnost fotovoltaických elektráren z 15 let na 20 let. Ve vyhlášce ERÚ č. 140/2009 Sb. je ustanoveno, že jsou zelené bonusy a výkupní ceny uplatňovány po celou dobu životnosti solárních elektráren. Tímto se zřetelně zlepšily případné výnosy z fotovoltaických investic a investoři se mohli spolehnout na dvacetiletou garanci ceny solární elektřiny. Další hlavní problém byl obsažen v §6 (Výše cen za elektřinu z obnovitelných zdrojů a zelených bonusů). Zde bylo uvedeno, že výkupní cena pro nově připojující se výroby nemůže klesnout o více než 5 % v porovnání se stanovenou hodnotou pro rok předcházející.

OZE 2008	Výkupní cena [kč/MWh]	Zelený bonus [kč/MWh]
FVE	13460	12650
GOE	4500	3370
Biomasa	4210	2930
Bioplyn	3900	2620
VE	2600	1400
TE	2460	1870
OZE 2012	Výkupní cena [kč/MWh]	Zelený bonus [kč/MWh]
FVE	6160	5080
GOE	4500	3450
Biomasa	4580	3530
Bioplyn	4120	3070
VE	3190	2140
VTE	2230	1790

Tab. 2 Výkupní ceny a Zelené bonusy pro rok 2008,2012 [27]

Jak již je uvedeno výše, solární boom odstartovalo uvedení nových lukrativních výkupních cen. Nicméně tzv. solární boom propukl se dvouletým zpožděním v roce 2008 díky snížení cen technických komponentů. Solární panely tvoří téměř 80 % počáteční investice. V červnu roku 2009 došlo ke snížení cen panelů dokonce až o 32 – 42 %. Snižující se ceny technologií byly také podpořeny výrazně silnou korunou v době před vypuknutím finanční krize. [19, 21]



Graf 7 Fotovoltaické elektrárny, stav k 31. 1. 2012 [vlastní zpracování]

2.3 Stop-stav

Na přelomu roku 2009/2010 došlo k velikému nárůstu žádostí o připojení, jelikož se vědělo, že od ledna 2011 nastane změna ekonomických podmínek. Tento růst byl zapříčiněn vysokými výkupními cenami, které platily do konce roku 2011. Společnost ČEPS, a. s. má povinnost stanovenou energetickým zákonem. Zajišťuje spolehlivý a bezpečný provoz přenosové soustavy a elektrizační soustavy ČR. Dále dodržuje pravidla mezinárodní spolupráce synchronně propojených soustav. Dne 3. 2. 2010 vydala ČEPS stanovisko, ve kterém zažádala distribuční společnosti o pozastavení vydávání kladných stanovisek k žádostem o připojení FVE. Hrozilo velké riziko ohrožení přenosové soustavy v případě zapojení všech FVE s kladným stanoviskem. *„Jedná se o technický limit regulace soustavy, tedy situaci, kdy již není v provozu dostatek zdrojů, které mají schopnost poskytovat regulační výkon pro vyrovnávání poruchových výpadků zdrojů, kolísání spotřeby a kolísání výroby z fotovoltaických a větrných elektráren.“* [20]

Pro rok 2010 byl vypočten bezpečný limit vyráběného výkonu z FVE a VTE ve výši 1 650 MW, avšak celkový objem povolených žádostí o připojení neregulovatelných zdrojů činil 8 063 MW. Žádosti tedy pětinašobně převyšovaly bezpečný limit. Dne 14. 2. 2010 zastavily distribuční společnosti vydávání stanovisek. Proti tomuto rozhodnutí ostře reagovala Česká fotovoltaická průmyslová asociace.

Na konci roku 2010 byl přijat zákon o zdanění již stávajících FVE. Zrušení stop-stavu zapříčinila Platforma pro OZE, která sdružuje investory a podnikatele, jak tuzemské, tak i zahraniční. Jejím cílem je zlepšení podmínek pro využívání OZE v ČR. Evropská komise, na základě podání stížnosti, zahájila s ČR řízení o porušení Smlouvy o fungování EU. Dle jejího názoru jsou opatření zavedená v ČR špatná a negativně ovlivňují důvěru investorů a nepodporují projekty OZE. Česká republika musela do konce ledna 2012 upravit přístup k síti v souladu se Směrnicí 2009/28/ ES., jinak měla stanout před Evropským soudním dvorem. Stop-stav byl ukončen dne 19. 9. 2011.

V současné době je Parlamentem ČR schvalován nový zákon o podporovaných zdrojích elektrické energie, který má vstoupit v platnost dne 1. 1. 2013. Asociace související s OZE připravují pozměňovací návrh zákona, jelikož obsahuje spoustu nedostatků. Hlavní nedostatky jsou: nulová podpora pro nové ostrovní systémy, zeslabení garance uplatnění vyrobené elektřiny na trhu a solární daň. Tyto nedostatky by i přes zrušení stop-stavu neumožnily nová připojení střešních instalací do sítě. Všeobecně by se tak zamezil rozvoj fotovoltaiky v ČR. S novým zákonem je také potřebné obnovit Národní akční plán (NAP),

který stanoví objem podporovaných OZE. Limit pro FVE stanovený v NAP, je již dle ERÚ vyčerpán do roku 2020.

Do budoucna je jasné, že velký rozvoj fotovoltaiky podobný předchozím letům nehrozí. Toto odvětví se stalo neperspektivním, díky omezení podpory pouze na střešní instalace a zásadnímu snížení výkupních cen. Stop-stav, který trval od 14. února 2010 do 19. září 2011, zapříčinil ztrátu až poloviny pracovních míst v sektoru fotovoltaiky a krach stovek firem, zejména instalačních. [22,23,24]

2.4 Realizace fotovoltaické elektrárny

Pro dosažení maximální ziskovosti elektrárny je důležité stanovení technických podmínek. Nejprve se vypočte výkon FVE na základě ploch pro umístění panelů a jejich charakteru. Je nutné brát na zřetel typ a sklon střechy a dále zastínění okolními budovami nebo stromy. Velmi důležitým parametrem je orientace panelů. Ideální orientace je směrem na jih s maximálním odklonem 15° na západ. Při realizacích FVE na rodinné domy se nejčastěji používají pevné systémy. U elektráren umístěných na zemi se mohou použít tzv. trackery.

2.4.1 Seznam potřebných dokumentů:

a) Souhlas o připojení výroby do distribuční sítě

- žádost o připojení výroby (ČEZ, EON, PRE)
- dotazník výroby
- výpis z katastru nemovitostí
- jednopólové schéma
- projekt fotovoltaické elektrárny
- souhlas obce s výstavbou výroby (není vždy třeba)

b) Smlouva o dílo

c) Vlastní realizace elektrárny

d) Žádost o udělení licence na ERÚ

- doklad o přiděleném IČ
- výpis z rejstříku trestů
- prokázání vlastnictví stavební i technologické části
- výpis z katastru nemovitostí

- kupní smlouva
- souhlas se zkušebním provozem
- zpráva o revizi elektrického zařízení
- správní poplatek ve výši 1.000,-Kč do výkonu 1MW (kolek)
- plná moc oprávněné osoby pokud není žadatelem

e) Smlouva s distribuční společností

- stanovisko distribuční společnosti
- žádost - smlouva o připojení výroby k DS
- žádost o uzavření smlouvy o výkupu elektřiny,
- smlouva o sdružených službách
- platná revize elektrického zařízení výroby
- protokol o nastavení ochran

f) Zahájení provozu fotovoltaické elektrárny

2.4.2 Postup při realizaci FVE

Pokud se rozhodne majitel objektu či pozemku k realizaci FVE, je nutné si nechat zpracovat základní kalkulaci návratnosti investice. Následně je nutné vypracovat konkrétní cenovou nabídku a projektovou dokumentaci stavby (PD). Pokud si investor na základě projektu a finanční kalkulace zajistí potřebné finance (vlastní zdroje, úvěr či refinancování apod.), je možné přistoupit k procesu zasmluvnění stavby s dodavatelem a vybudování výroby.

Prvním krokem je získání souhlasu o připojení výroby do distribuční sítě. Toto vyjádření podléhá 30 denní lhůtě na zpracování. Energetické společnosti mají povinnost připojit výrobu, pokud to stav distribuční sítě dovoluje. Mohou si stanovit připojovací podmínky, za kterých připojení povolí (termíny, technické parametry a nastavení ochran VN/NN, typ střídačů a výměnu hlavních jističů objektu). Následuje podepsání smlouvy o dílo. Dalším krokem je vlastní realizace elektrárny a případná revize zařízení a zkoušky.

Aby mohl investor prodávat elektrickou energii, musí vlastnit licenci, kterou uděluje ERÚ. Při podání žádosti o udělení licence je nutné doložit žádost o udělení licence pro podnikání v energetických odvětvích pro fyzické osoby, dále formulář obsahující seznam provozoven a počet zdrojů. Při výrobě elektřiny z OZE formulář o rozpočtu jednotlivých položek realizovaných investic potřebných pro uvedení zařízení do provozu. Dalším krokem je uzavření smlouvy s distribuční společností.

Na závěr dochází ke spuštění FVE, instalací čtyřkvadrantního elektroměru. Instalaci provádí provozovatel distribuční sítě do 14 dnů od nabytí právní moci smlouvy o připojení. Osazením tohoto elektroměru je možné dálkově odečítat načítané hodnoty.

Při provozování FVE jsou prováděny pravidelné revize zařízení dodavatelem. Investor dodává buď měsíčně, nebo jednou za čtvrt roku výkaz o vyrobené energii. Dále poskytuje předpoklad vyrobené energie. [26]

3 Provozování malých fotovoltaických elektráren

3.1 Fotovoltaická elektrárna Losiná

Fotovoltaická elektrárna o výkonu 4,83 kWp se nachází na jižní straně sedlové střechy rodinného domu na okraji obce Losiná. V okolí parcely se nenachází žádné vysoké stromy, které by mohly způsobit zastínění panelů. Rodinný dům, na kterém je tato FVE instalována se nachází v klidné zástavbě mezi stavbami, které nemohou v průběhu celého dne nijak zastínit plochu střešní instalace. Doba osvitů FV panelů není tedy limitována stromy ani budovami. Na účinnost panelů může mít vliv zvýšená prašnost z dopravní komunikace, která je vzdálená 200 m od parcely. Majitel zvolil podporu ve formě zelených bonusů. Tato fotovoltaická elektrárna byla uvedena do provozu dne 7. 9. 2010.



Obr. 13 Umístění fotovoltaických panelů



Obr. 14 Umístění fotovoltaických panelů

Systém je tvořen z 21 fotovoltaických panelů, které jsou zapojeny do dvou stringů po 10 a 11 kusech. Panely jsou umístěny na hliníkových profilech, které jsou ke střeše uchyceny systémem polohovatelných střešních háků. Tento typ konstrukce je oproti způsobu uchycení závitovými tyčemi lepší variantou, zejména kvůli páleným střešním taškám, které jsou na objektu umístěny. Střecha je orientována na jih se sklonem je 30° a s azimutem 10° na západ.

Pro realizaci byly zvoleny moduly výrobce Canadian Solar série CS6P230 složené z polykrystalických článků. Každý modul je tvořen z 60 polykrystalických článků, vysoko transparentního, teplotně stabilního a tvrzeného skla, lehkého hliníkového rámu a připojovacích konektorů (Tyco - IP 65) s ochranou proti záměně polarity.

Technické parametry modulu CS6P230	
Výkon	230 W
Napětí při max. výkonu	29,2 V
Proud při max. výkonu	7,53 A
Napětí naprázdno	36,6 V
Zkratový proud	8,09 A
Účinnost panelu	14,3 %
Teplotní koeficient	P _{max} : -0.43 %/°C
	V _{oc} : - 0.34 %/°C
	I _{sc} : 0.065 %/°C
Max napětí systému	1000 V
Výkonová tolerance	+ / - 5 W
Váha	18.5 kg
Rozměry	1638 x 982x40 mm
Elektrické hodnoty při STC (1000W/m², 25°C)	

Tab. 3 Technické parametry modulu CS6P230 [21]

Součástí systému je fotovoltaický střídač Delta SI 5000, který přeměňuje stejnosměrné napětí na střídavé (230 V, 50 Hz). Oddělení potenciálu solárního invertoru od sítě se dosahuje vysokofrekvenčním měničem s integrovaným transformátorem. Přitom je fotovoltaické napětí nastaveno tak, aby bylo dosaženo maximálního výstupního výkonu fotovoltaických modulů také při různých intenzitách ozáření a teplotách. Střídač obsahuje vnitřní přepět'ové ochrany a splňuje účinník (0,95-1) daný provozními podmínkami provozovatele distribuční soustavy. Solární inverter je řízen mikroprocesory, které zajišťují komunikaci rozhraní, zobrazení hodnot a hlášení na displeji. [21]

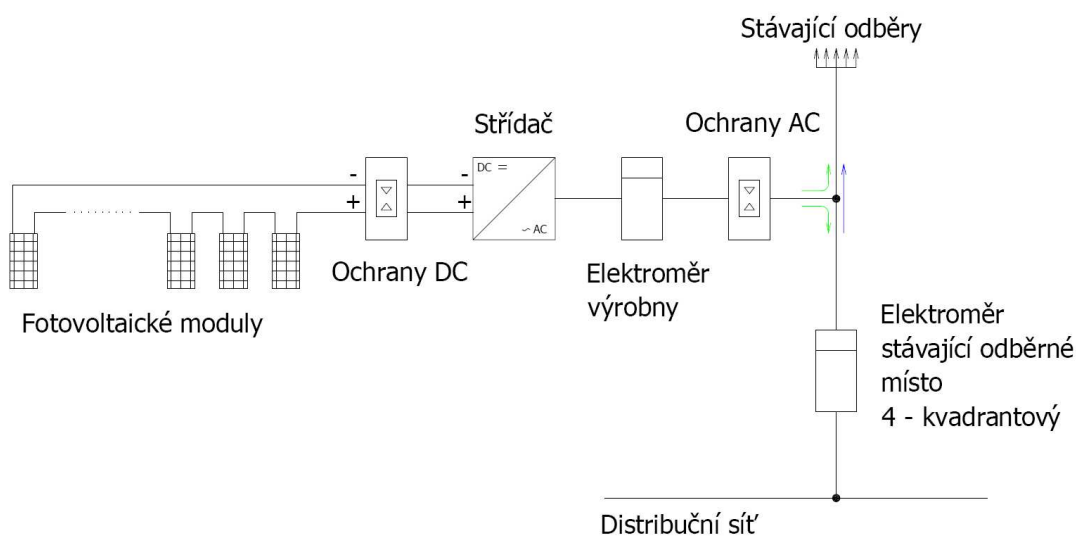
Technické parametry střídače Delta SI 5000	
Napěťový rozsah MPP	150 – 450 V
Jmenovitý výkon	5500 w
Max vstupní napětí	540 V
Max vstupní výkon	6000 W
Max účinnost	95,6 %
EU účinnost	94,6 %
Jmenovitý proud	17,2 A
Max proud	32 A
Síťové napětí	230 V
Frekvence	50 Hz

Tab. 4 Technické parametry střídače Delta SI 5000 [30]



Obr. 15 Střídač Delta SI 5000

Jednopolové schéma fotovoltaické elektrárny - zapojení zelený bonus



Obr. 16 Jednopolové schéma FVE Losiná

3.2 Fotovoltaická elektrárna Robčice

Druhá fotovoltaická elektrárna o výkonu 4,81 kWp se nachází v obci Robčice, vzdálené 11 km od Plzně. Byla uvedena do provozu na začátku roku 2009. V okolí rodinného domu jsou vysázeny stromky, které by mohly v budoucnu převýšit budovu a tím způsobit zastínění panelů. Majitel zvolil podporu ve formě zelených bonusů.



Obr. 17 Umístění fotovoltaických panelů



Obr. 18 Umístění fotovoltaických panelů

FVE je instalována na dvou sedlových střechách rodinného domku. Systém tvoří dohromady 26 fotovoltaických panelů. Tyto panely jsou zapojeny do 2 stringů po 13 kusech. Na jedné střeše se sklonem 37° je umístěno 20 panelů, na druhé střeše je instalováno 6 panelů se sklonem 41° . Odklon od jihu je 21° na východ. Stejně jako u první FVE jsou panely umístěny na hliníkových profilech, uchycených pomocí systému polohovatelných střešních háků.

Investor zvolil moduly KIOTO typ KPV PE 185 Q6L TT složené z polykrystalických článků. Každý modul je tvořen z 54 polykrystalických článků, teplotně stabilního a tvrzeného skla a hliníkového rámu.

Technické parametry modulu KPV PE 185	
Výkon	185 W
Napětí při max. výkonu	25,63 V
Proud při max. výkonu	7,23 A
Napětí naprázdno	32,08 V
Zkratový proud	7,78 A
Účinnost panelu	12,38 %
Teplotní koeficient	Pmax: -0,46 %/K) Voc: - 116,1 mV/K Isc: 4,4 mA/K
Max napětí systému	1000 V
Výkonová tolerance	+ / - 3 W
Váha	16.5 kg
Rozměry	1507 x 992x33 mm
Elektrické hodnoty při STC (1000W/m², 25°C)	

Tab. 5 Technické parametry modulu KPV PE 185 [21]

Součástí systému je fotovoltaický střídač FRONIUS IG 60 HV, který přeměňuje stejnosměrné napětí na střídavé (230 V, 50 Hz). Fotovoltaický střídač je vybaven vysokofrekvenčním transformátorem, který zajišťuje galvanické oddělení strany stejnosměrného proudu a strany střídavé sítě. Střídač obsahuje vnitřní přepětové ochrany a splňuje účinník (0,95-1) daný provozními podmínkami provozovatele distribuční soustavy.

Technické parametry střídače FRONIUS IG 60 HV	
Napětový rozsah MPP	150 – 400 V
Jmenovitý výkon	4600 w
Max vstupní napětí	530 V
Max vstupní výkon	5000 W
Max účinnost	94,3 %
EU účinnost	93,5 %
Max proud	35,8 A
Síťové napětí	230 V
Frekvence	50 Hz

Tab. 6 Technické parametry střídače FRONIUS IG 60 HV [32]

3.3 Odhad výroby energie

Pro odhad výroby energie byl použit fotovoltaický geografický informační systém (PVGIS). Jedná se o projekt Evropské unie, který umožňuje odhadnout intenzitu slunečního záření na jakémkoliv místě v Evropě nebo v Africe. Databáze využívá data z pozemních stanic i satelitních měření. V období od roku 1985 do 1995 probíhal v celé Evropě statistický sběr dat, kde byly odečítány hodnoty intenzity slunečního záření, teploty atd. Do systému byly zadány údaje zobrazené v tabulce 7 včetně odhadovaných ztrát systému. U současných FVE se doporučuje zadávat cca 11 %. Na obrázku 19 je zobrazeno zadávání příslušných dat do PVGIS. [33]

	FVE Losiná	FVE Robčice
GPS souřadnice	49°40'4.877"sever, 13°22'17.523"východ	49°40'4.877"sever, 13°22'17.523"východ
Nadmořská výška	413 m. n. m.	369 m. n. m.
Nominální výkon FVS	4,83 kWp	4,81 kWp
Sklon modulů	30°	37°
Orientace modulů	10° JZ	21°
Celkové odhadované ztráty	24%	24%
Ztráty vlivem úhlové odrazivosti	3,1%	3%
Ztráty vlivem teploty	11,9%	11,9%
Ostatní ztráty	11%	11%

Tab. 7 Údaje zadávané a vyhodnocené PVGIS

The screenshot displays the PVGIS web interface. On the left, a map shows the location of Losiná, with a red pin and coordinates 49°40'27.758"N, 13°27'11.688"E. The right panel, titled 'PV Estimation', contains the following settings:

- Performance of Grid-connected PV**
- Radiation database: Classic PVGIS
- PV technology: Crystalline silicon
- Installed peak PV power: 4.83 kWp
- Estimated system losses: 11%
- Fixed mounting options:
 - Mounting position: Building integrated
 - Slope: 30°
 - Azimuth: 10°
- Tracking options:
 - Vertical axis: 0°
 - Inclined axis: 0°
 - 2-axis tracking: 0°
- Output options:
 - Web page
 - Text file
 - PDF

A 'Calculate' button is visible at the bottom of the panel.

Obr. 19 Fotovoltaický geografický informační systém [33]

V následující tabulce 8 a v grafech 8 a 9 je znázorněn odhad vyrobené energie pro obě fotovoltaické elektrárny.

FVE Losiná

Fixed system: inclination=30°, orientation=10°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	4.64	144	1.13	35.1
Feb	7.89	221	1.98	55.3
Mar	11.50	356	2.99	92.6
Apr	15.40	462	4.20	126
May	17.60	546	4.94	153
Jun	17.10	512	4.86	146
Jul	18.20	563	5.22	162
Aug	16.50	511	4.70	146
Sep	12.90	386	3.54	106
Oct	9.89	307	2.61	80.8
Nov	4.45	134	1.12	33.6
Dec	3.15	97.5	0.77	24.0
Yearly average	11.6	353	3.18	96.7
Total for year		4240		1160

FVE Robčice

Fixed system: inclination=37°, orientation=-21°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	4.72	146	1.16	35.9
Feb	7.95	223	2.01	56.3
Mar	11.40	354	2.99	92.7
Apr	15.20	455	4.15	125
May	17.20	533	4.84	150
Jun	16.60	497	4.73	142
Jul	17.70	549	5.09	158
Aug	16.20	502	4.63	144
Sep	12.80	383	3.53	106
Oct	9.96	309	2.64	82.0
Nov	4.49	135	1.14	34.2
Dec	3.18	98.6	0.79	24.5
Yearly average	11.5	349	3.15	95.8
Total for year		4190		1150

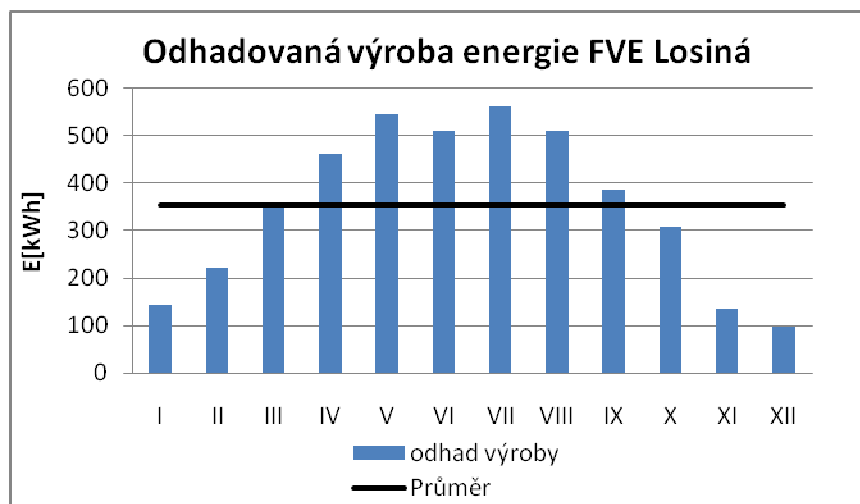
Tab. 8 Odhad vyrobené energie a množství globálního záření [33]

E_d [kWh] ...předpokládaná denní produkce

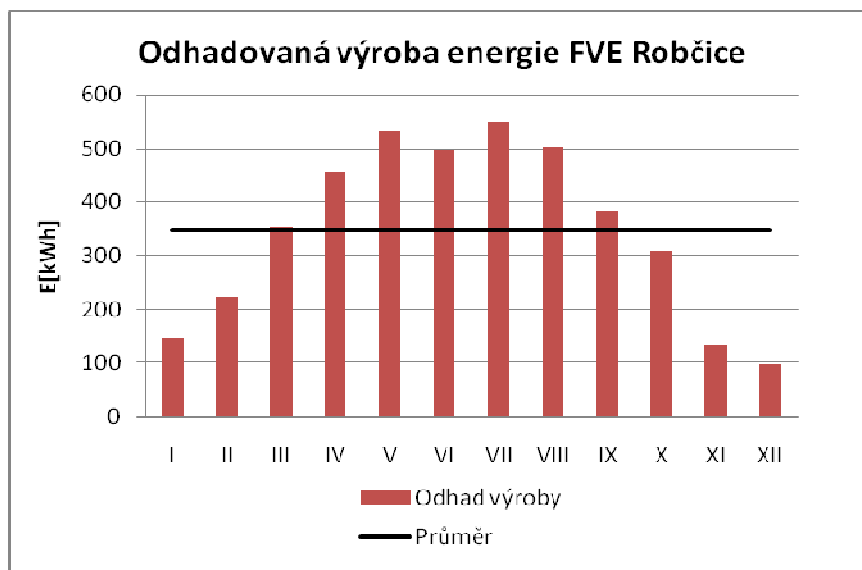
E_m [kWh] ...předpokládaná měsíční produkce

H_d [kWh/m²] ...předpokládaná denní suma globálního záření

H_m [kWh/m²] ... předpokládaná měsíční suma globálního záření



Graf 8 Odhadované množství vyrobené energie FVE Losiná



Graf 9 Odhadované množství vyrobené energie FVE Robčice

Dle fotovoltaického geografického informačního systému vyrobí za jeden rok FVE Losiná celkem 4 240 kWh. Předpokládaná výroba FVE Robčice činí za jeden rok 4 190 kWh. Dle systému by měla být výroba energie v letních měsících vyšší ve FVE Losiná, naopak vyšších výkonů by měla dosáhnout FVE Robčice v zimních měsících.

3.4 Skutečná výroba energie

V následující části je uvedena tabulka 9 a graf 10 s údaji vyhodnocující provoz obou fotovoltaických elektráren za rok 2011. V obou případech byla skutečná výroba elektrické energie za tento rok vyšší, než odhadovaná výroba.

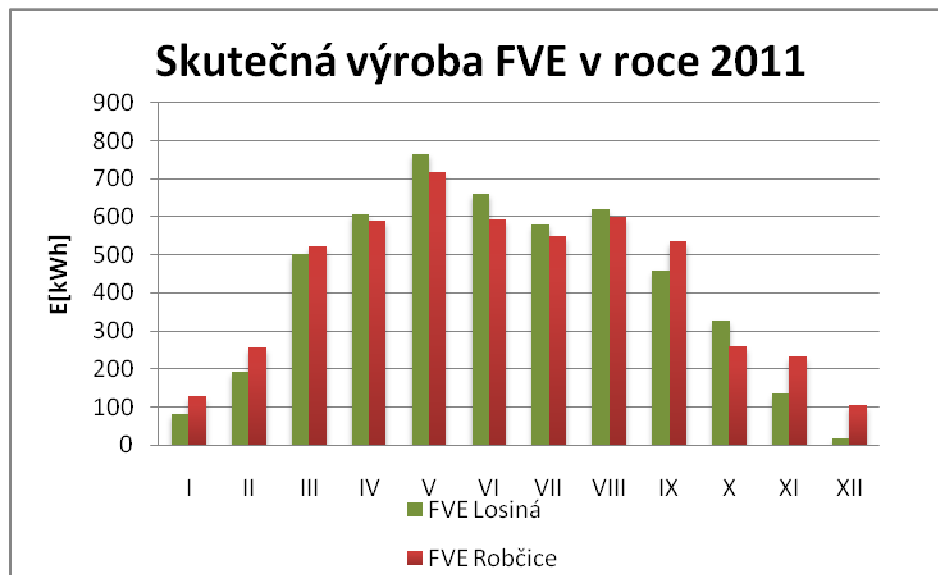
Měsíc	Skutečná výroba [kWh]	
	FVE Losiná	FVE Robčice
I.	82	130
II.	192	256
III.	504	523
IV.	608	591
V.	767	718
VI.	662	594
VII.	581	550
VIII.	620	600
IX.	459	534
X.	328	260
XI.	135	234
XII.	17	105
Celkem [kWh]	4955	5095

Tab. 9 Skutečná vyrobená energie FVE

3.4.1 Zhodnocení výroby

Nejméně produktivní měsíc byl prosinec, kdy se vyrobilo nejméně elektrické energie. V některých dnech byla délka přímého slunečního záření nulová, a tak se nevyrobila žádná elektrická energie. Naopak nejproduktivnější zimní měsíc byl únor, kdy bylo nejvíce jasných dní a nejméně srážek. V zimním období byly po několik dní FV panely pokryty sněhem.

Nejvíce elektrické energie se vyrobilo v květnu. Měsíční úhrn doby trvání slunečního svitu činil zhruba 280 h. Průměrná teplota v květnu byla cca 14,2°C. Nejslabším letním měsícem z hlediska výroby byl červenec. V tomto období bylo převážně zataženo s častými přeháňkami. Měsíční úhrn srážek se pohyboval okolo 160 mm. V srpnu výroba opět vzrostla. Denní teploty stoupaly na 25°C, čímž rostla i teplota panelů, což mělo za následek snížení účinnosti panelů, oproti měsíci květnu.



Graf 10 Skutečná výroba FVE v roce 2011

Za rok 2011 vyrobila FVE Losiná 4 955 kWh a FVE Robčice celkem 5 095 kWh. Při porovnání výroby energie z obou elektráren je zřejmé, že FVE Losiná vyrobila oproti předpokladu o 17 % elektrické energie více a FVE Robčice o 21 % více. Pro lepší srovnání byl proveden přepočít vyrobené energie na instalovaný výkon, který činil v případě FVE Losiná 1025,88 kWh/1kWp a ve FVE Robčice 1059,25 kWh/1kWp. Za poslední léta byl rok 2011 pro fotovoltaiky jedním z nejlepších.

V zimních měsících vyrobila FVE Robčice více elektrické energie. V období od dubna do srpna byla výkonnější FVE Losiná. Dle teoretických předpokladů by měla být FVE Losiná celkově více efektivnější, jelikož je její instalovaný výkon o 20 Wp vyšší. Dále jsou v tomto systému instalovány FV panely a střídač s vyšší účinností. Nižší výkonnost této elektrárny

může být způsobena sklonem panelů, který zvyšuje efektivnost systému v období jaro až podzim. Na těchto panelech se také v zimních měsících snáze udržuje napadlý sníh. Díky tomu byla výroba v zimních měsících velmi nízká. Dále je nižší výroba FVE Losiná způsobena většími ztrátami na vodičích (viz níže), jelikož „stringování“ obou FVE je topologicky odlišné.

Výpočet Jouleových ztrát

Celková délka stejnosměrné kabeláže činí u FVE Losiná 110 m a u FVE Robčice 94 m. Vodiče jsou zhotoveny z mědi o průřezu 4 mm² (FVE Losiná) a 6 mm² (FVE Robčice). Měrná rezistivita mědi činí $\rho=0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$. Proud při maximálním výkonu činí 7,53 A (FVE Losiná) a 7,23 A (FVE Robčice). Tyto parametry jsou potřebné při výpočtu Jouleových ztrát.

Nejprve je vypočten odpor DC vodiče pro FVE Losiná:

$$R_{DC} = \rho * \frac{l}{S} = 0,0178 * \frac{110}{4} = 0,489 \Omega \quad (3.1)$$

Následuje výpočet Jouleových ztrát pro FVE Losiná, který je spočten jako:

$$P_{dc} = R_{DC} * I^2 = 0,489 * 7,53^2 = 27,4W \quad (3.2)$$

Odpor DC vodiče pro FVE Robčice je spočten jako:

$$R_{DC} = \rho * \frac{l}{S} = 0,0178 * \frac{94}{6} = 0,279 \Omega \quad (3.3)$$

Jouleovy ztráty pro FVE Robčice činí:

$$P_{dc} = R_{DC} * I^2 = 0,279 * 7,23^2 = 14,6W \quad (3.4)$$

Z rovnic 3.2 a 3.4 je patrné, že ve FVE Losiná dochází k větším ztrátám na vodičích. V případě FVE Losiná jsou ztráty 27,4 W což je 0,56 % z celkového výkonu. V případě FVE Robčice jsou ztráty 14,6 W což je 0,3 % z celkového výkonu. Pro snížení těchto ztrát by bylo vhodné vyměnit stávající vodiče za nové s větším průřezem. Z praktického hlediska se tento problém v současné době nevyplatí řešit.

3.5 Výpočet výnosů a návratnosti

Prostá doba splácení je ekonomické kritérium, které značí, za jak dlouho se náklady na investici vrátí. Jedná se o porovnání dosažených přínosů s vynaloženými investičními náklady. Tento výpočet značí pouze orientační představu výnosnosti investice.

Ve výpočtu je zohledněno roční snížení účinnosti FV panelů o 1 %, vlivem přirozeného opotřebení. Také každoroční navyšování zeleného bonusu o míru inflace 2 % a meziroční nárůst ceny energie o 5 %. Náklady na provoz jsou stanoveny jako 1 % z celkové investice (revize, pojištění, údržba, atd.).

3.5.1 Návratnost investice FVE Losiná

Pro výpočet výnosů a návratnosti (viz příloha 1) je uvažována FVE Losiná s výkonem 4,83 kWp s formou podpory zelený bonus, za cenu 12,25 Kč/kWh, která je stanovena pro dobu zapojení solární elektrárny od září 2010. Cena elektrické energie vychází ze sazby D02d. Výkupní cena přebytku energie na volném trhu je stanovena na 0,9 Kč/1kWh. Rozpočet investice obsahuje pořizovací cenu FVE včetně projektové dokumentace, kompletní montáže a dopravy (viz tab. 10). Hodnoty jsou zadávány bez DPH, jelikož je investor plátcem DPH. Celková pořizovací cena díla činí 452 000 Kč. Ve výpočtu je uvažováno, že se v rodinném domě spotřebuje 50 % vlastní vyrobené energie.

Instalovaný výkon 4830 Wp	[Kč/Wp]	Cena bez DPH [Kč]
Technologie		
FV modul CSI CS6P230	64,00	307 200,00
Měnič Delta SI 5000	10,00	48 000,00
Montážní systém (Schletter) celkem	5,00	24 000,00
DC a AC elektročást	5,00	24 000,00
Cena technologie FVE celkem	84,00	403 200,00
Ostatní náklady		
Projektová dokumentace, administrativa, revize, legislativa	3,00	15 000,00
Kompletní montáž technologie a uvedení do provozu	6,00	28 800,00
Doprava	1,00	5 000,00
Ostatní náklady celkem	10,00	48 800,00
Celková cena díla k rozvaděči na střídavé straně	93,60	452 000,00

Tab. 10 Rozpočet celkové investice FVE Losiná

Navrácení investice se spočte jako podíl celkových nákladů na dílo a průměrných ročních výnosů.

$$\text{Návratnost} = \frac{452000}{1482174,08 / 20} = \frac{452000}{74108,7} = 6\text{let} \quad (3.5)$$

I přes klesající výkon FV panelů je viditelné, že výnosy rostou. Za 20 let provozu by měl investor inkasovat cca 1 030 174 Kč. Vynaložená investice by se měla navrátit zhruba do šesti let. Následujících 14 let bude mít investor stále zaručený výnos za vyrobenou energii. Po ukončení garantovaného období bude FVE nadále vyrábět elektrickou energii přibližně dalších 15 let. Není však jisté, jaké budou po tomto období výkupní ceny a pokud bude distributor po ukončení garantovaného období energii vykupovat. Jelikož se vychází pouze z výroby energie za rok 2011, jsou tyto výsledky velmi optimistické.

3.5.2 Návratnost investice FVE Robčice

V tomto výpočtu, který je uveden v příloze 2 je uvažována FVE Robčice s výkonem 4,81 kWp také s formou podpory zelený bonus. Jelikož byla elektrárna uvedena do provozu v roce 2009, je stanovena sazba zeleného bonusu za cenu 12,25 Kč/kWh. Cena elektrické energie vychází ze sazby D02d. Výkupní cena energie na volném trhu je stanovena na 0,9 Kč/1kWh. Rozpočet investice obsahuje pořizovací cenu FV panelů, střídače, montážního systému, kompletní montáže a dopravy (viz tab. 11). Hodnoty jsou zadávány bez DPH, jelikož je investor plátce DPH.

Instalovaný výkon 4830 Wp	Kč/Wp	Cena bez DPH [Kč]
Technologie		
FV modul KPV PE 185	80,00	466 200
Měnič Fronius IG 60 HV	10,90	52 800
Montážní systém celkem	4,50	22 000
DC a AC elektročást	5,00	25 000
Cena technologie FVE celkem	100,00	566 000,00
Ostatní náklady		
Projektová dokumentace, administrativa, revize, legislativa	2,00	15 000,00
Kompletní montáž technologie a uvedení do provozu	5,00	25 000,00
Doprava	0,50	4 000,00
Celková cena díla k rozvaděči na střídavé straně	105,00	610 000,00

Tab. 11 Rozpočet celkové investice FVE Robčice

Celková pořizovací cena díla činí 610 000 Kč. Dále je uvažováno, že se v rodinném domě spotřebuje 70 % vlastní vyrobené energie. Toto je odvozeno z většího počtu obyvatel v tomto rodinném domku.

$$\text{Návratnost} = \frac{610000}{1681518,57 / 20} = \frac{610000}{84075,9} = 7,3\text{let} \quad (3.6)$$

V této situaci by se vynaložená investice měla navrátit zhruba po sedmi letech. Po této době bude mít investor garantovaný výnos za vyrobenou energii. Za 20 let provozu by měl investor inkasovat zhruba 1 071 518 Kč. Pokud by se vycházelo z výroby energie FVE Robčice za rok 2010, která činila 4 455 kWh, prodloužila by se doba návratnosti o necelé dva roky.

V případě FVE Losiná se náklady na celé dílo vrátí o rok dříve, než u FVE Robčice. Velká počáteční investice na FVE Robčice se zřetelně projeví na celkové návratnosti. Nicméně z hlediska výnosnosti lze říci, že FVE Robčice je více lukrativní. To vyplývá z vyšších sazeb zeleného bonusu. V obou případech se doba návratnosti investice prodlouží, jelikož ve výpočtu nebyl zohledněn odvod daně z příjmů fyzických osob. Nebylo uvažováno s výměnou některých komponentů v důsledku jejich poruchy.

4 Provozování velkých fotovoltaických elektráren

V následující části jsou fotovoltaické elektrárny pojmenovány FVE 1 a FVE 2, jelikož si investoři nepřejí jejich přesnou lokalizaci.

4.1 Fotovoltaická elektrárna 1

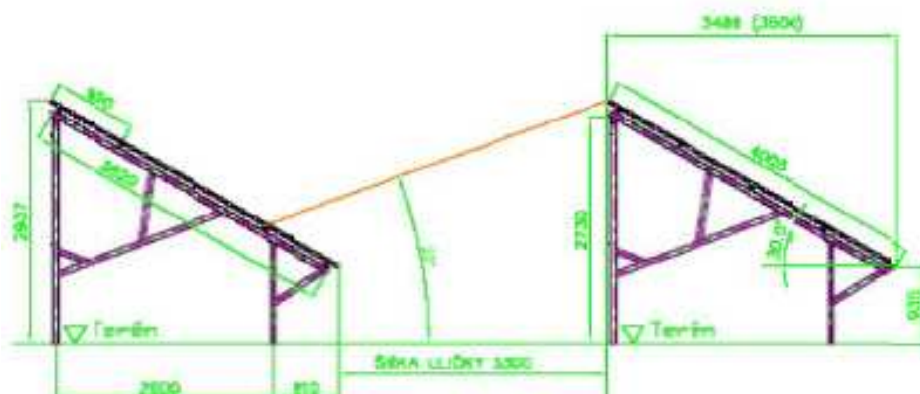
Fotovoltaická elektrárna 1 se nachází na Šumavě. Je instalována na pozemku o rozloze 1,8 ha. Celkový instalovaný výkon činí 1 339,8 kWp. Fotovoltaická elektrárna byla uvedena do provozu v roce 2010. Je tvořena z 5 740 FV panelů Yingli solar, tří střídačů Satcon 500 kW a 24 sběrných skříní SubCombiner box.



Obr. 20 Umístění FV panelů

4.1.1 Popis stavby

Fotovoltaické panely jsou uchyceny na duralové konstrukci pod úhlem 30° . Nosná část konstrukce tvoří 6 stojek, které jsou nasunuty a připevněny na zemní vruty, které jsou zavrtané do země. Hloubka zavrtání je cca 130 cm. Uchycení sběrných skříní je provedeno pomocí profilu, připevněným na mechanickém bloku mezi stojkami.



Obr. 21 Příčný řez řadami mechanických bloků

Je provedeno napojení 3 sestav FV panelů. První sestavu tvoří 80 kusů fotovoltaických panelů Yingli Solar YL 235 P-29b a 1820 kusů panelů typu YL 230 P-29b. Druhá a třetí sestava je tvořena z 1920 kusů FV panelů typu YL 235 P-29b. Na jednom mechanickém bloku konstrukce se nachází 20 nebo 40 panelů. Panely jsou sestaveny do 191 větví (stringů) po 20 kusech. Jednotlivé stringy jsou napojeny na sběrné skříně SubCombiner box, které mají 12 vstupů. Na každý střídač je připojeno 8 sběrných skříní o celkovém výkonu panelů 2 krát 451,2 kWp a 1 krát 437,4 kWp.

Technické parametry modulu	YL 235 P-29b	YL 230 P-29b
Výkon	235 W	230 W
Napětí při max. výkonu	29,5 V	29,5 V
Proud při max. výkonu	7,97 A	7,80 A
Napětí naprázdno	37,0 V	37,0 V
Zkratový proud	8,54 A	8,40 A
Účinnost panelu	14,4 %	14,1 %
Teplotní koeficient	P _{max} : -0,45 %/K) V _{oc} : - 3,7 mV/K I _{sc} : 4,5 mA/K	
Max napětí systému	1000 V	
Výkonová tolerance	+ / - 3 W	
Váha	19,8 kg	
Rozměry	1650 x 990x50 mm	
Elektrické hodnoty při STC (1000W/m², 25°C)		

Tab. 12 Technické parametry modulu Yingli Solar [34]

Zapojení panelů je svedeno do sběrných skříní Sub-Combiner box - Satcon osazených na konstrukcích pro panely. Sběrné skříně Satcon, které mají instalovanou ochranu proti přepětí, zabezpečují proti přetížení a zkratu. Každé fotovoltaické pole má svoji vlastní sběrnou skříň. Dále je provedeno propojení sběrných skříní Sub-Combiner box pomocí vodičů do skříní Astra, které jsou osazeny před měniči. V těchto skříních jsou osazeny pojistkové odpínače. Je provedeno propojení skříní Astra vodiči na sběrnici měniče Satcon 500 kW. Seskupení jednotlivých mechanických bloků a střídačů je znázorněno v příloze 5.

Technické parametry střídače Satcon 500	
Napětíový rozsah MPP	150 – 400 V
Jmenovitý výkon	4600 w
Max vstupní napětí	530 V
Max vstupní výkon	5000 W
Max účinnost	94,3 %
EU účinnost	93,5 %
Max proud	35,8 A
Síťové napětí	230 V
Frekvence	50 Hz

Tab. 13 Technické parametry střídače Satcon 500 [34]

Kabelové trasy

Hlavní kabelové trasy jsou provedeny v zemních kabelových drážkách dle ČSN. V kabelové drážce jsou uloženy v ochranné trubce kabely na propojení jednotlivých stringů, panelů a Sub-Combiner boxu. Pro propojení sběrných skříní se střídačem slouží silové lano, které je uloženo v zemi. Dále je v zemi uložen datový kabel, který slouží k přenosu dat. Nadzemní kabelové rozvody jsou umístěny v elektroinstalačních ohebných trubkách po konstrukcích pro FV panely a jsou umístěny pomocí vázací pásky, která je odolná proti UV záření.

Trafostanice

V areálu FVE jsou postaveny 3 trafostanice. V první trafostanici jsou umístěny řídicí a ovládací prvky a rozvaděč VN včetně měření a odjištění všech použitých transformátorů. V první trafostanici jsou umístěny transformátory 630 kVA a 50 kVA a dále rozvaděč VN. Dále je zde umístěn rozvaděč NN a rozvaděč ochrany. Druhá a třetí trafostanice je vybavena transformátorem 630 kVA. Je zde umístěn rozvaděč NN, který obsahuje hlavní jistič.

Zabezpečení

FVE je zabezpečena pomocí detekčního otřesového systému. Po celém obvodu pozemku je na plotě instalován detekční kabel, který snímá otřesy na plotě. Další zabezpečení tvoří soustava infračervených paprsků. Systém je doplněn o kamerový systém a výstražné osvětlení, které spíná v nočních hodinách v případě poplachu.

4.2 Fotovoltaická elektrárna 2

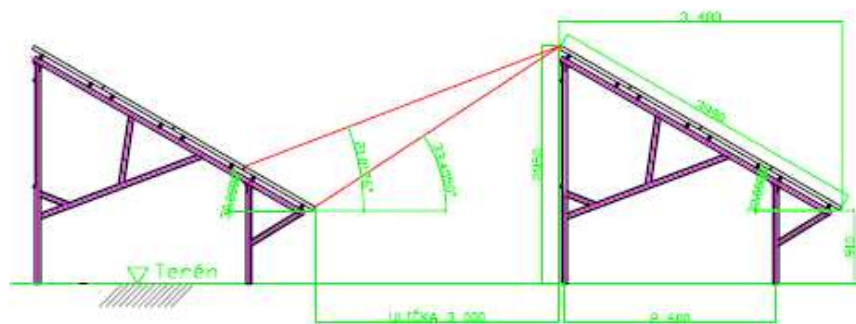
Fotovoltaická elektrárna 2 se nachází u Rokycan. Skládá se ze soustavy FV panelů a měničů. Celkový instalovaný výkon činí 999 kWp. FVE je tvořena ze 4 399 polykrystalických FV panelů Yingli solar, dvou střídačů Satcon 500 kW a 17 sběrných skříní. Výkon je dodáván do distribuční soustavy ČEZ Distribuce a.s. Tato elektrárna byla uvedena do provozu v roce 2010.



Obr. 22 Umístění FV panelů

4.2.1 Popis stavby

Je provedeno napojení dvou sestav FV panelů (viz příloha 6). První sestavu tvoří 2 200 kusů fotovoltaických panelů typu YL 225 P-29b. Druhá sestava je tvořena z 2 199 kusů FV panelů typu YL 225 P-29b. Zapojení panelů je svedeno do sběrných skříní SubCombiner box-Satcon, které jsou osazeny na konstrukcích pro panely. Do každé skříně je svedeno 12 ks sestav sériového zapojení 23 ks panelů, kromě jedné skříně, kde je vedena pouze jedna sestava 23 ks panelů. Dále jsou propojeny sběrné skříně pomocí vodičů do skříní Astra, které jsou osazeny před měniči. V těchto skříních jsou osazeny pojistkové odpínače. Propojení skříně Astra je provedeno na sběrnici invertoru Satcon 500 kW.



Obr. 23 Příčný řez řadami mechanických bloků

Technické parametry modulu	YL 225 P-29b
Výkon	225 W
Napětí při max. výkonu	29,5 V
Proud při max. výkonu	7,63 A
Napětí naprázdno	36,5 V
Zkratový proud	8,28 A
Účinnost panelu	13,8 %
Teplotní koeficient	Pmax: -0,45 %/K Voc: - 3,7 mV/K Isc: 4,5 mA/K
Max napětí systému	1000 V
Výkonová tolerance	+ / - 3 W
Váha	19,8 kg
Rozměry	1650 x 990x50 mm
Elektrické hodnoty při STC (1000W/m², 25°C)	

Tab. 14 Technické parametry modulu Yingli Solar [33]

Kabelové trasy

Hlavní kabelové trasy jsou provedeny v zemních kabelových drážkách dle ČSN. Nadzemní kabelové rozvody jsou realizovány v elektroinstalačních ohebných pevných trubkách a po konstrukcích.

Trafostanice

V areálu jsou postaveny dvě trafostanice. V každé je umístěn hlavní NN rozvaděč, přes který je připojen střídač Satcon na svůj transformátor. V obou trafostanicích je umístěn rozvaděč vlastní spotřeby, který zajišťuje napájení pomocných obvodů trafostanic, osvětlení atd. Stanice 1 je vybavena rozvaděčem 22 kV, skříní obchodního měření, transformátorem 630 kVA, který slouží pro připojení výkonu ze střídače 1 a druhým transformátorem 160 kVA, který slouží pro napájení obvodů vlastní spotřeby. Druhá transformátorová stanice slouží pro napojení střídače 2 do hlavních NN rozvaděčů a z tohoto rozvaděče na transformátor 630 kVA.

4.3 Monitorovací systém

Monitorovací systém obou FVE vyhodnocuje data v každých 15 minutách. Je určen pro kontrolu funkčnosti a maximalizaci energetického výnosu FVE. Dále slouží pro sběr dat z jednotlivých stringů, fakturačních měřidel elektrické energie na vstupu a výstupu a také sběr dat z meteorologické stanice. Je možné pracovat s historickými daty, různými statistikami a grafy, včetně exportu dat do tabulek. V případě poruchy upozorní systém obsluhu na vzniklý problém.

Při provozování FVE dochází nejčastěji k těmto poruchám:

- výpadek střídače
- porucha stringu
- porucha SubCombiner boxu
- výpadek VN
- výpadek napájení záložních zdrojů
- výpadek napájení transformátoru

Pokud nedojde při výpadku střídače k jeho automatickému restartování do jedné hodiny, vyhodnotí se tento stav jako porucha. Při poruše jednoho nebo více stringů dochází ke snížení celkového výkonu FVE. Závady na SubCombiner boxech jsou způsobovány vyzkratovanými pojistkami. Pokud při výpadku VN nedojde k opětovnému provozu, musí být provedeno ruční nahození hlavního jističe elektrárny.

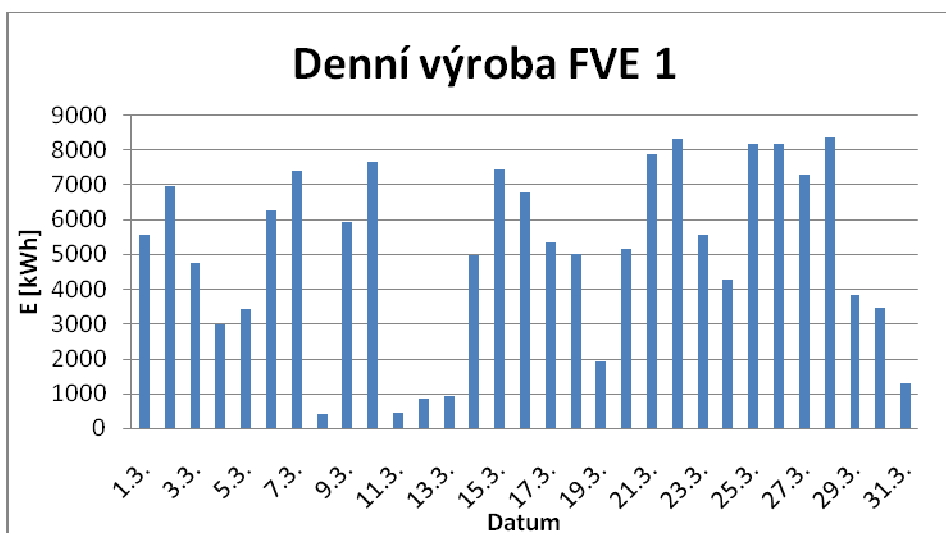
Při detekci závady na monitoringu kontaktuje dispečer lokálního servisního technika, kterému předá informace o poruše. Technik je tímto nasměrován na předmětný střídač, SubCombiner box, sdružovací skříň, string, rozvaděč nebo jistič a jiné.

Technik potvrdí či vyloučí závadu a zajistí opětovný provoz. Pokud jeho kvalifikace nebo schopnosti neumožňují nápravu, je povinen kontaktovat subservisního partnera, který je specializovaný na konkrétní část FVE.

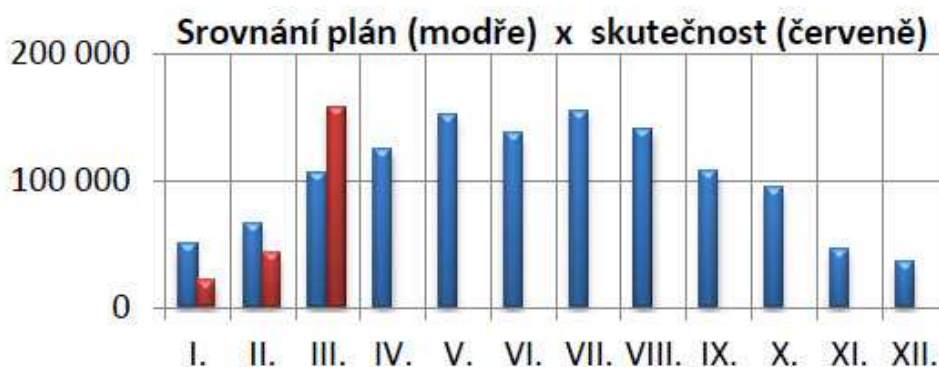
4.4 Vyhodnocení provozu FVE

Pro měření skutečné výroby energie FVE byl použitý monitorovací systém, který umožňuje měření různých veličin na jednotlivých střídačích. Měří napětí a proud na vstupu i výstupu ze střídače. Je měřen aktuální činný i jalový výkon a dále je zaznamenáván účinnost a teplota invertoru. Jsou vyhodnocovány data z meteorologické stanice, což je teplota okolí, teplota panelů a intenzita slunečního záření. Monitorovací systém FVE 2 umožňuje záznam průběhu proudů v jednotlivých Subcombiner boxech.

V tabulkách uvedených v příloze 3 a 4 je znázorněna výroba elektrické energie obou fotovoltaických elektráren v období od 1. 3. 2012 do 31. 3. 2012. Také je zde uvedeno množství slunečního záření v jednotlivých dnech a poznámka o meteorologických podmínkách. Následující grafy 11 a 12 zobrazují denní výrobu FVE 1 za měsíc březen 2012 a srovnání předpokládané a skutečné roční výroby za první tři měsíce výroby elektrické energie v roce 2012.



Graf 11 Denní výroba elektrické energie FVE 1 – březen 2012

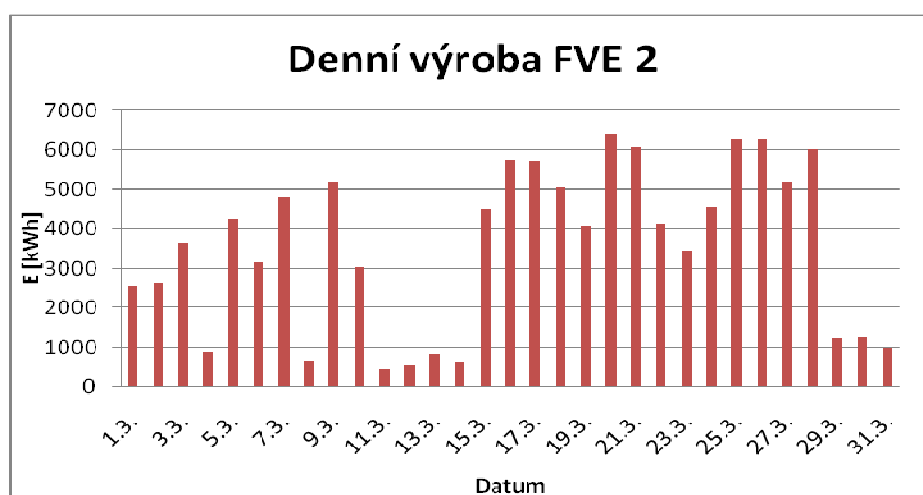


Graf 12 Předpokládaná a skutečná výroba energie FVE 1

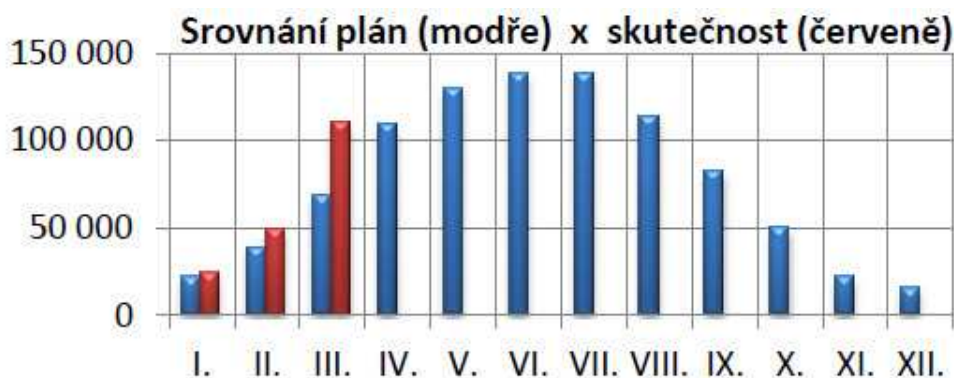
Odhadovaná výroba vychází z údajů Fotovoltaického geografického informačního systému PVGIS. Dle tohoto systému měla vyprodukovat FVE 1 za měsíc březen celkem 104 558 kWh. Skutečná výroba činila za tento měsíc 157 347 kWh, což je o 50 % více, než byl stanoven předpoklad. V prvních dvou měsících je odhad výroby o něco větší, než skutečná výroba. Sklon modulů zvyšuje efektivnost systému spíše v období jaro až podzim. FVE 1 se nachází v horské oblasti, cca 800 m. n. m. V zimním období byly

fotovoltaické panely často pokryty sněhovou vrstvou. V těchto případech záleží na majiteli elektrárny, zda se rozhodne k odklizení sněhu z panelů, či v rámci nepříznivé predikce počasí, bude tento problém ignorovat. Může dojít k tomu, že tato placená služba (úklid sněhu) se investorovi nevyplatí, jelikož existuje riziko opětovného napadání sněhu.

Následující grafy 13 a 14 zobrazují denní výrobu FVE 2 za měsíc březen 2012 a srovnání předpokládané a skutečné roční výroby za první tři měsíce výroby elektrické energie v roce 2012.



Graf 13 Denní výroba elektrické energie FVE 2 – březen 2012



Graf 14 Předpokládaná a skutečná výroba energie FVE 2

Dle PVGIS měla FVE 2 za měsíc březen vyprodukovat 67 177 kWh. Skutečná výroba byla o 64 % vyšší a činila 110 284 kWh. Již od ledna vyprodukovala FVE 2 více elektrické energie, než byl stanovený plán. Toto může být způsobeno lepšími klimatickými podmínkami, oproti statistickým datům, vyhodnocených dle PVGIS v dané lokalitě. Fotovoltaická elektrárna 2 se nachází v nížinné oblasti, cca 300 m. n. m. V této lokalitě nedochází tak často ke sněhovým přeháňkám, jako v oblasti FVE 1.

4.5 Výpočet účinnosti FV panelů

Pro výpočet účinnosti fotovoltaických panelů byl použit vzorec:

$$\eta = \frac{P_m}{P_{rad}} = \frac{P_m}{E \cdot A_c} \quad , \text{ kde} \quad (4.1)$$

P_m [W] max. výkon, který může článek dodávat

P_{rad} [W] výkon dopadajícího záření

E [W.m⁻²] intenzita osvětlení při STC

A_c [m²] plocha FVČ

Nejprve byla spočtena plocha jednoho panelu (viz tab. 14 a 16), která je shodná pro obě FVE.

$$A_{\text{článek}} = 1,65 * 0,99 = 1,63 \text{ m}^2 \quad (4.2)$$

Aktivní plocha panelů FVE 1 byla spočtena jako násobek počtu panelů a jejich plochy.

$$A_c = 5750 * 1,63 = 9372,5 \text{ m}^2 \quad (4.3)$$

Aktivní plocha panelů FVE 2 byla spočtena jako násobek počtu panelů a jejich plochy.

$$A_c = 4399 * 1,63 = 7170 \text{ m}^2 \quad (4.4)$$

Účinnost fotovoltaických panelů FVE 1 dne 7. 3. 2012 v jedenáct hodin dopoledne činila:

$$\eta = \frac{P_m}{P_{rad}} = \frac{P_m}{E \cdot A_c} = \frac{1063,7}{0,900 * 9372,5} = 0,126 \quad (4.5)$$

Účinnost fotovoltaických panelů FVE 2 činila pro tentýž den:

$$\eta = \frac{P_m}{P_{rad}} = \frac{P_m}{E \cdot A_c} = \frac{712}{0,802 * 7170} = 0,123 \quad (4.6)$$

Celková účinnost systému byla spočtena jako násobek účinnosti FV panelů, účinnosti střídače (viz. tab. 15) a účinnosti transformátoru, která činí 96 %.

$$\eta_{c\text{elk}} = \eta_{\text{panelů}} * \eta_{\text{měění}} * \eta_{\text{trans.}} = 0,12 * 0,935 * 0,96 = 0,113 \quad (4.7)$$

4.6 Vyhodnocení denního provozu FVE

Pro vyhodnocení denního provozu fotovoltaických elektráren byly vybrány dva dny, kdy bylo převážně jasno a dva dny, kdy převládala oblačnost. V následujících tabulkách je uvedena intenzita slunečního záření, výkon jednotlivých invertorů, teplota panelů a okolí. Dále jsou vypočítány účinnosti fotovoltaických panelů a účinnost celého systému. Data byla zaznamenávána vždy v 11, 13 a 15 h.

	FVE 1			FVE 2			
I [W/m²]	900,0	900,0	580,0	I [W/m²]	802,0	777,0	771,0
P_{DC1} [kW]	350,9	367,8	219,4	P_{DC1} [kW]	355,0	389,9	289,5
P_{DC2} [kW]	357,85	377,69	226,3	P_{DC2} [kW]	357,0	384,6	276,5
P_{DC3} [kW]	354,9	379,86	225,84	P_{DCcelkem} [kW]	712,0	774,5	566,0
P_{DCcelkem} [kW]	1063,7	1125,3	671,6	T_{okolí} [°C]	4,0	8,0	10,0
T_{okolí} [°C]	3,0	4,9	5,7	T_{panelů} [°C]	28,0	31,0	23,0
T_{panelů} [°C]	23,0	23,3	15,2	η_{článků}	0,123	0,132	0,102
η_{článků}	0,126	0,133	0,124	η_{celk}	0,110	0,124	0,092
η_{celk}	0,113	0,119	0,110				

Tab. 15 Naměřené a vypočtené hodnoty FVE, dne 7. 3. 2012

	FVE 1			FVE 2			
I [W/m²]	90	130	90	I [W/m²]	92,0	142,0	137,0
P_{DC1} [kW]	36,94	57,8	37,4	P_{DC1} [kW]	38,9	53,7	64,9
P_{DC2} [kW]	37,3	58,9	36,5	P_{DC2} [kW]	39,6	53,6	64,3
P_{DC3} [kW]	36,5	58,9	34,5	P_{DCcelkem} [kW]	78,5	107,3	129,2
P_{DCcelkem} [kW]	110,74	175,6	108,4	T_{okolí} [°C]	7,0	8,0	8,0
T_{okolí} [°C]	6,1	6,2	6,3	T_{panelů} [°C]	7,0	10,0	9,0
T_{panelů} [°C]	3,1	5,0	4,2	η_{článků}	0,119	0,105	0,132
η_{článků}	0,130	0,14	0,128	η_{celk}	0,106	0,095	0,118
η_{celk}	0,117	0,13	0,115				

Tab. 16 Naměřené hodnoty FVE, dne 13. 3. 2012

	FVE 1			FVE 2			
I [W/m²]	940	930	740	I [W/m²]	879,0	898,0	683,0
P_{DC1} [kW]	363,54	371,78	290,64	P_{DC1} [kW]	395,3	407,1	326
P_{DC2} [kW]	370,26	381,00	298,28	P_{DC2} [kW]	394,6	404,1	320
P_{DC3} [kW]	367,62	380,82	302,56	P_{DCcelkem} [kW]	789,9	811,2	646
P_{DCcelkem} [kW]	1101,41	1133,59	891,48	T_{okolí} [°C]	14,0	16,0	16,0
T_{okolí} [°C]	9,5	12,2	13,9	T_{panelů} [°C]	38,0	39,0	32,0
T_{panelů} [°C]	26,9	28,6	24,0	η_{článků}	0,125	0,125	0,132
η_{článků}	0,125	0,130	0,128	η_{celk}	0,112	0,113	0,118
η_{celk}	0,112	0,116	0,115				

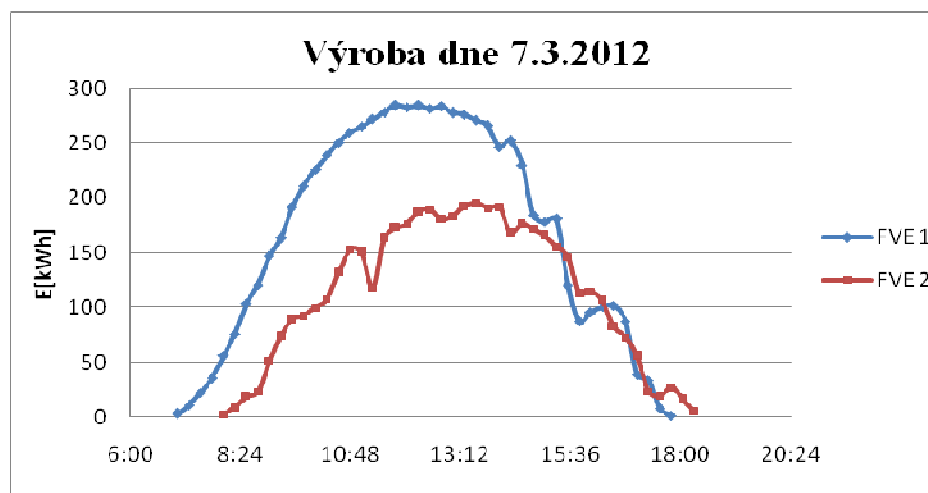
Tab. 17 Naměřené hodnoty FVE, dne 21. 3. 2012

	FVE 1			FVE 2			
I [W/m²]	50	287	110	I [W/m²]	407,0	190,0	21,0
P_{DC1} [kW]	14,2	92,38	38,99	P_{DC1} [kW]	199,6	91,3	10
P_{DC2} [kW]	0	92,49	39,73	P_{DC2} [kW]	200	87,6	10,6
P_{DC3} [kW]	14,60	92,54	40,34	P_{DCcelkem} [kW]	399,6	178,9	20,6
P_{DCcelkem} [kW]	28,75	277,41	119,06	T_{okolí} [°C]	8,0	8,0	7,0
T_{okolí} [°C]	4,5	6,5	6,5	T_{panelů} [°C]	16,0	10,0	7,0
T_{panelů} [°C]	2,5	6,0	4,5	η_{článků}	0,133	0,131	0,134
η_{článků}	0,060	0,103	0,11	η_{celk}	0,119	0,118	0,121
η_{celk}	0,055	0,09	0,093				

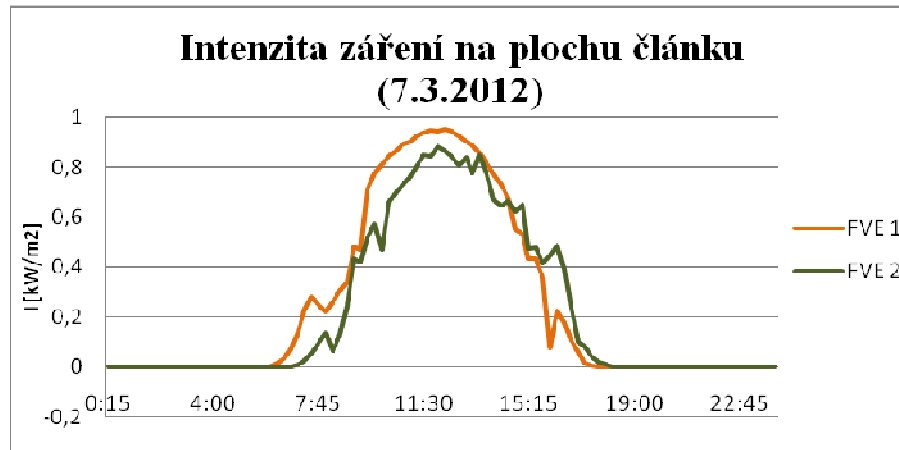
Tab. 18 Naměřené hodnoty FVE, dne 31. 3. 2012

Nulový výkon invertoru 2 kolem jedenácté hodiny dopoledne (FVE 1) byl způsoben odstavením střídače, v důsledku poruchy ventilátoru chlazení.

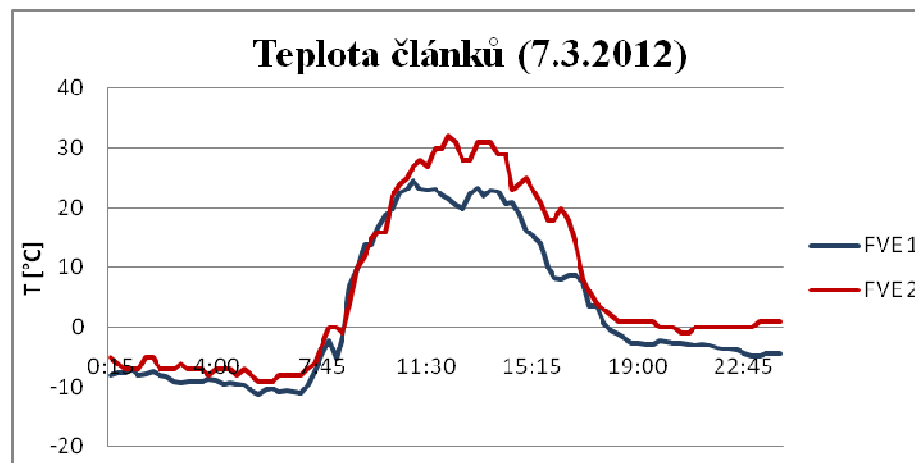
Následují grafy, které zobrazují výrobu elektrické energie obou FVE v jednotlivých dnech, průběhy záření dopadajícího na plochu panelů a jejich teploty.



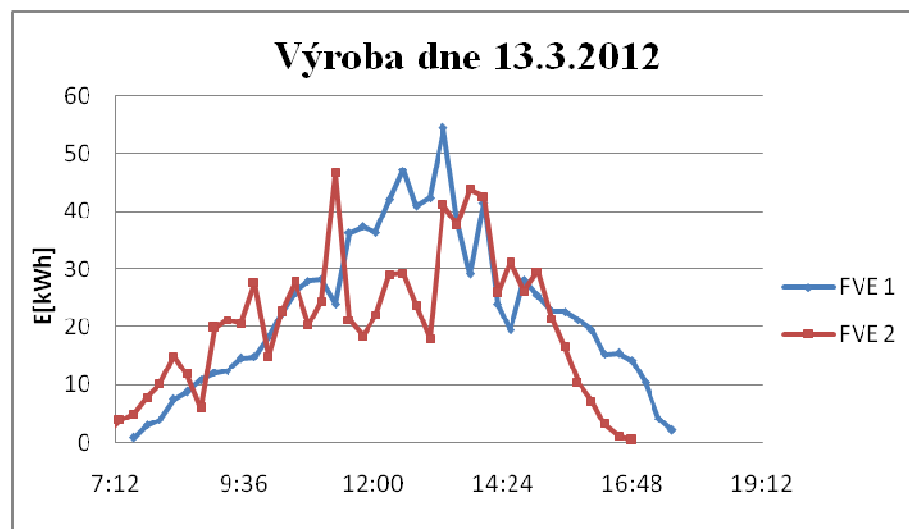
Graf 15 Výroba elektrické energie FVE



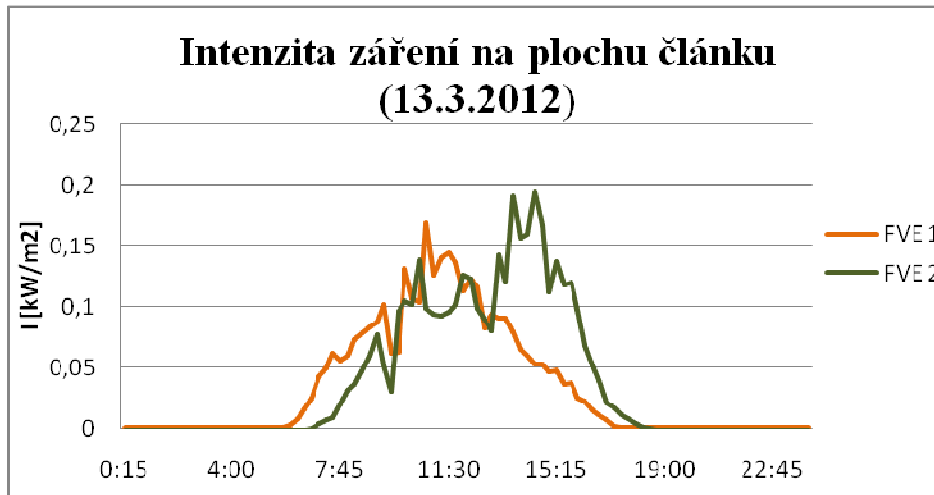
Graf 16 Intenzita dopadajícího záření



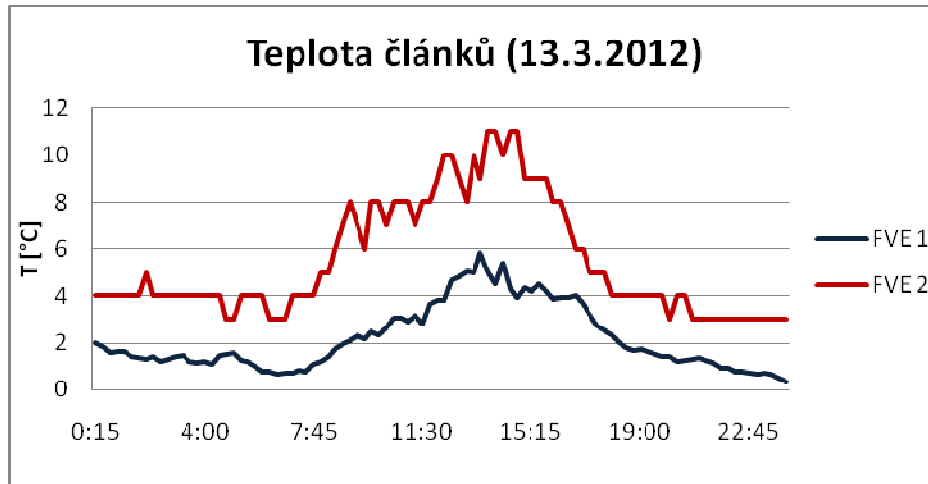
Graf 17 Teplota fotovoltaických článků



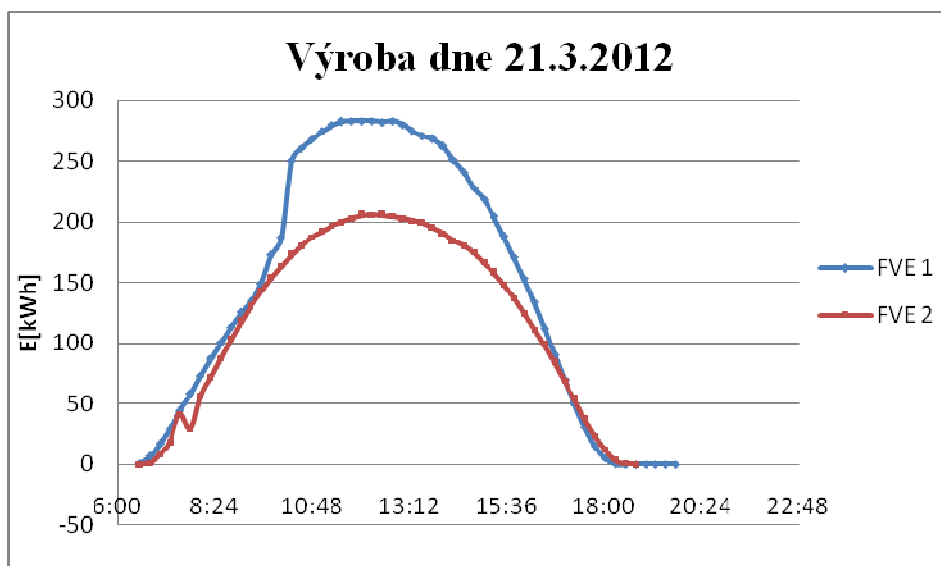
Graf 18 Výroba elektrické energie FVE



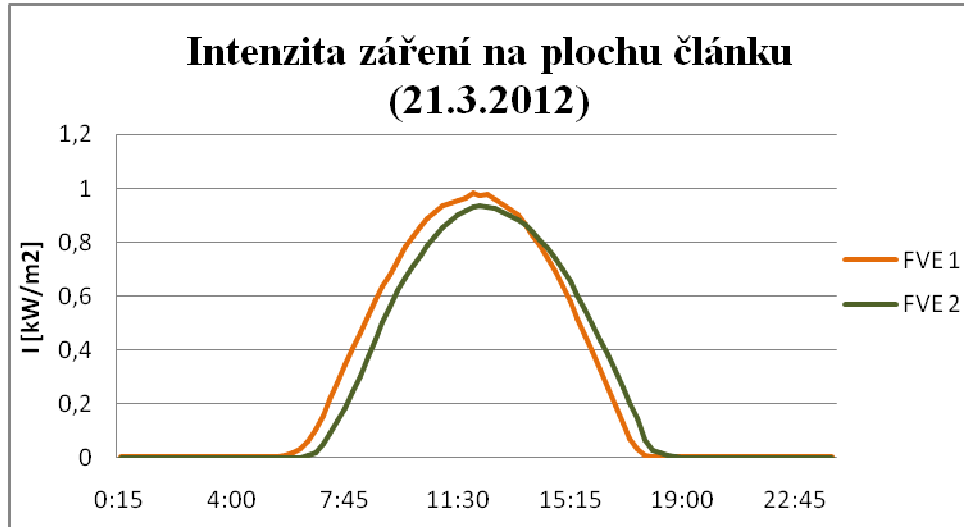
Graf 19 Intenzita dopadajícího záření



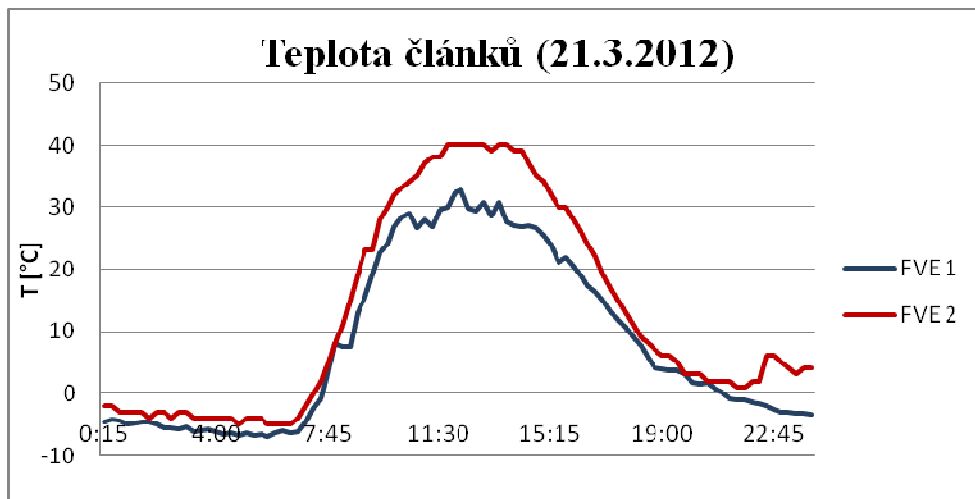
Graf 20 Teplota fotovoltaických článků



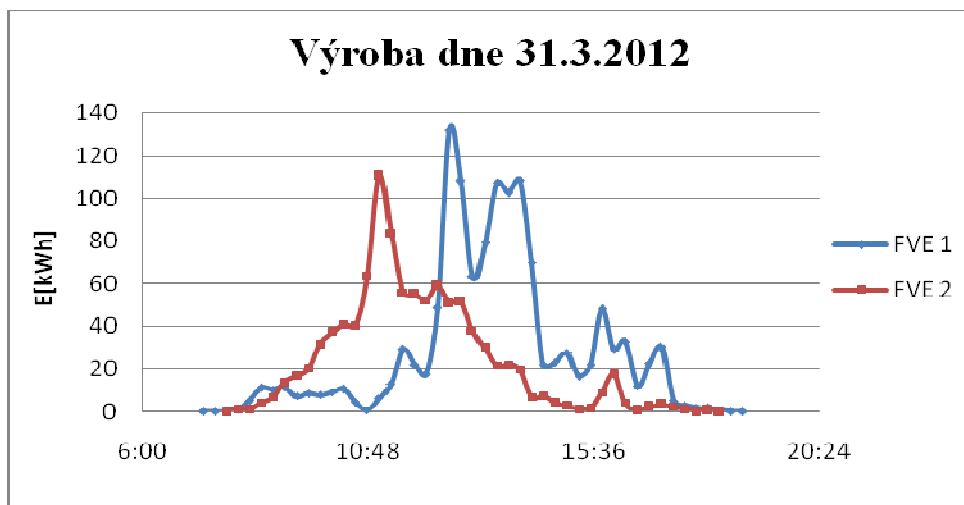
Graf 21 Výroba elektrické energie FVE



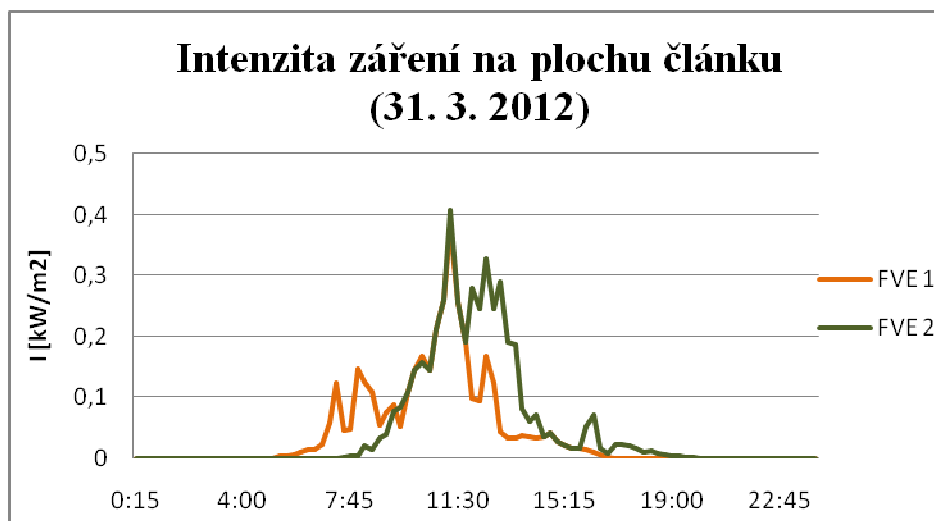
Graf 22 Intenzita dopadajícího záření



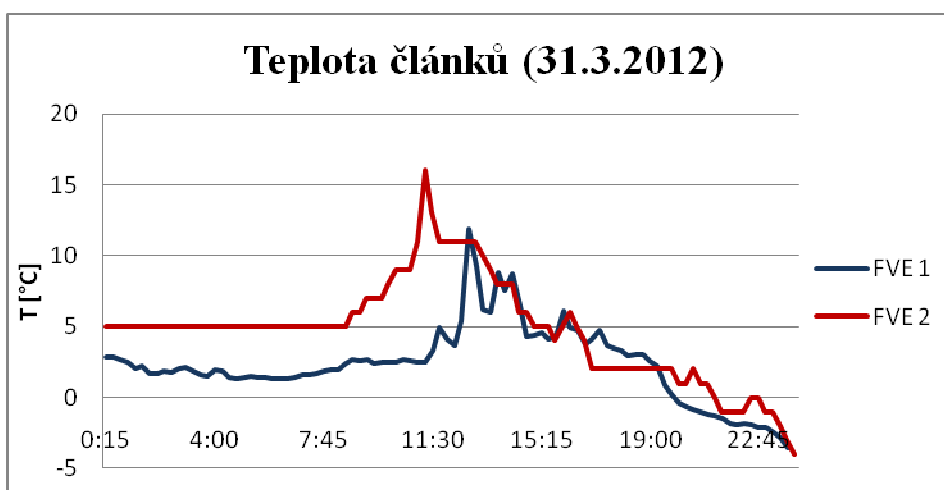
Graf 23 Teplota fotovoltaických článků



Graf 24 Výroba elektrické energie FVE



Graf 25 Intenzita dopadajícího záření



Graf 26 Teplota fotovoltaických článků

V grafech jsou jasně viditelné hodnoty slunečního záření dopadajícího na plochu článku v těchto dnech. V jarních měsících jsou průběhy intenzity slunečního záření velmi podobné jako v letních měsících. V létě je Slunce vysoko nad obzorem a svírá s panely ostřejší úhel, tím se snižují maximální hodnoty osvitů. Díky tomu mohou být maximální hodnoty dopadajícího slunečního záření na jaře vyšší než v létě.

Z grafů je zřejmé, že teplota panelů není závislá jen na intenzitě dopadajícího záření. Další parametry které ovlivňují teplotu článků jsou teplota okolí, rychlost větru, směr větru a vlhkost vzduchu. V jarních měsících jsou venkovní teploty nižší než v létě, a tak jsou moduly lépe chlazeny.

Z hlediska vhodnější lokality FVE 1 jsou panely o několik stupňů chladnější, oproti teplotám, které dosahují v tomto období panely FVE 2. S rostoucí teplotou FV panelů

se snižuje jejich účinnost. Díky tomu lze předpokládat vyšší výkonnost FVE 1 v období jaro až léto. Z grafů lze také vyčíst tepelnou setrvačnost panelů. Je zde znatelný opožděný průběh teplot oproti průběhům intenzity záření.

Průběhy výroby energie v jednotlivých dnech jsou úměrné s průběhy intenzity slunečního záření. Na grafickém znázornění denní výroby (viz graf 24) je možné v časových intervalech rozpoznat kolísavost výkonů jednotlivých FVE, která je způsobena proměnlivým počasím tj. přechodnou oblačností.

4.7 Měření povrchových teplot pomocí termovize

Pravidelné kontroly FVE snižují riziko vzniku závad a zajišťují dlouhou životnost a bezproblémový provoz. Měření panelů pomocí termovizní kamery je jednoduchá a rychlá metoda k odhalení panelů, které způsobují oslabení stringů a tím i celkový výkon elektrárny. Výhoda tohoto měření spočívá v tom, že není při kontrolách zapotřebí odpojovat jednotlivé moduly či části, jelikož se měření provádí při plném provozu bez omezení. Vadné sektory na FV panelech se vyznačují zahříváním. Se zvyšující se teplotou dochází ke snížení životnosti celého panelu. Dalším rizikovým místem jsou spojovací body, kde ve venkovním prostředí může docházet k uvolnění a zvýšení přechodového odporu z důvodu přehřívání spoje. Takový spoj je kromě ztrát nebezpečný i z hlediska požární prevence.

Emisní záření vyzařované tělesem lze zachytit termokamerou. Výstupem je termogram, což je snímek emisního záření v oblasti ultrafialového záření. Tento snímek je možné prohlížet a analyzovat. Z termogramu se vypočítá přibližná teplota vyzařovaného tělesa. To je výsledek, který potřebujeme k detekci vad na panelu v důsledku rozdílných teplot. Termovizní protokol je využíván jako přímý podklad pro reklamaci zařízení, přináší zvýšení výnosu po celou dobu provozu, zvyšuje životnost a bezpečnost provozu fotovoltaických systémů. [36]

4.7.1 Termovizní kamera FLIR E50

Jedná se o termovizní kameru, která je určena pro měření v energetice a průmyslu. Tato přenosná kamera umožňuje provádět dlouhodobá měření v terénu, díky své malé hmotnosti a ergonomii. Díky rozsahu měřených teplot (od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $+650\text{ }^{\circ}\text{C}$), jejich citlivosti (až $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ při teplotě $25\text{ }^{\circ}\text{C}$) a rozsahu pracovních teplot (od $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$), je tato kamera vhodná pro měření jak ve venkovním, tak i vnitřním prostředí. Kamera je osazena nechlazenými maticovými detektory. Hustota (počet) pixelů detektoru činí $240*180$ bodů. Kamera se zaostřuje ručně. Obrazová frekvence je 60 Hz. Obrazy se ukládají

na 2 GB microSD karty ve formátu JPEG, kdy jsou termogramy doplněny radiometrickými daty kamer. Je zde možnost výběru palet a směšování obrazu (termo a video). Dále je možné provádět korekci měření, jak pomocí nastavitelné emisivity, tak i nastavitelné odražené zdánlivé teploty. [35]



Obr. 24 Termovizní kamera Flir E50 [35]

4.7.2 Vhodné podmínky pro měření

Měření povrchových teplot FV panelů je nutné provádět při dostatečném slunečním záření, alespoň 500 W/m^2 . Při měření je nutné, aby byla elektrárna v provozu, jinak by nemohlo docházet k teplotním rozdílům. Je také důležitá rychlost větru, který způsobuje snižování teplotních rozdílů. Měření se provádí při jasné obloze. Oblaka se na FV panelech odrážejí a tím mohou způsobit údajné tepelné anomálie. Měření povrchu panelu by mělo být prováděno pod úhlem $5\text{-}60^\circ$ od kolmého pohledu na měřený panel. [36, 37]

4.7.3 Vlastní měření

Měření pomocí termovizní kamery proběhlo dne 28. 3. 2012 na FVE 2. Bylo změřeno všech 4 399 panelů a z tohoto počtu bylo vybráno k vyhodnocení 15 snímků FV panelů, u kterých byla detekována potenciální anomálie. Tento počet (0,34 %) svědčí o dobré kvalitě dodaných panelů. V době měření byla teplota vzduchu 16°C a intenzita záření činila 750 W/m^2 . Výkon fotovoltaické elektrárny v době měření činil cca 1 110 kW.



Obr. 25 Rozložení teplotního gradientu FVČ

V následující tabulce 19 jsou uvedeny teploty anomálií, maximální a minimální teploty jednotlivých panelů a jejich průměrná teplota. Také je zde uveden počet článků s možným výskytem vady.

FV panel	T_{anomálie} [°C]	T_{max} [°C]	T_{min} [°C]	T_{str.} [°C]	ΔT [°C]	Detekované články [ks]	Poznámka
1	61,4	50	25,1	37,0	24,4	1	vadný článek
2	67,9	37	28,4	33,0	34,9	2	vadné články
3	63,9	52	23,5	40,5	23,4	1	vadný článek
4	44,7	45	21,4	29,1	15,6	3	drobné anomálie
5	54,8	48	18,9	25,3	29,5	3	drobné anomálie
6	46,2	39	20,0	34,0	12,2	3	drobné anomálie
7	52,7	44	17,7	25,6	27,1	3	drobné anomálie
8	58,7	41	26,2	29,3	29,4	1	drobná anomálie
9	47,8	45	20,3	36,6	11,2	1	drobná anomálie
10	47,2	43	23,3	32,8	14,4	3	drobné anomálie
11	47,2	40	18,6	25,0	22,2	1	drobná anomálie
12	41,5	39	21,5	32,1	9,4	3	drobné anomálie
13	44,6	42	18,7	30,4	14,2	4	drobné anomálie
14	44,5	38	15,8	32,0	12,5	1	drobná anomálie
15	44,7	38	20,4	23,0	21,7	3	drobné anomálie

Tab. 19 Rozložení teplot jednotlivých FV panelů

Snímky 1-3 zobrazené v příloze 7 ukazují snížený výkon jedné z buněk. Jelikož nebylo provedeno měření fotovoltaických panelů hned po instalaci, mohla být závada způsobena při výrobě fotovoltaického modulů nebo až při jejich provozu. Podle termogramu je teplota článků vyšší než 60°C. Může hrozit nebezpečí požáru, nebo vážného poškození fotovoltaického modulu. Teplota jednotlivých článků vykazuje takové rozdíly (viz tab. 23), že tyto články budou snižovat výkon celých modulů. Následně bude docházet ke snížení výkonů všech paralelně řazených stringů. Tyto panely jsou vhodné pro reklamaci. Bohužel záleží na přístupu výrobce, zda budou panely vyreklamované.

Na obrázcích 4-15 (viz příloha 7) jsou znatelné jen drobné anomálie a zatím nedávají možnost reklamace. Další měření by se mělo zopakovat v červnu, kdy bude výkon elektrárny blízký maximálnímu výkonu a teploty okolí budou dosahovat 25°C.

5 Závěr

V posledních sedmi letech prošla fotovoltaika v České republice různými stádii. V roce 2006 byl zahájen program na podporu obnovitelných zdrojů. Velkou motivací pro investory se staly lukrativní výkupní ceny a prodloužení životnosti fotovoltaických komponentů z 15 let na 20 let. V roce 2008 došlo k výraznému zlevnění fotovoltaických technologií.

Začátkem roku 2010 zastavily distribuční společnosti vydávání kladných stanovisek ohledně připojení FVE, jelikož bylo možné riziko ohrožení přenosové soustavy. Tentýž rok byl uveden zákon o zdanění již stávajících fotovoltaických elektráren. Ukončení stop-stavu dne 11. 9. 2011 zapříčinila Platforma pro OZE, která se zabývá zlepšováním podmínek pro využívání obnovitelných zdrojů v ČR.

Měřením dvou malých fotovoltaických elektráren jsem našla některé rozdíly. Srovnáním předpokládané výroby elektrické energie obou FVE se skutečnou výrobou energie lze usoudit, že obě elektrárny pracují bez závad. V obou případech jsem zjistila, že elektrárny vyrobily v roce 2011 více elektrické energie, než byl odhadovaný výpočet. Fotovoltaická elektrárna Losiná je tvořena z kvalitnější technologie, přesto byla její výroba nižší. To bylo způsobeno nižším sklonem fotovoltaických panelů, zvýšenou prašností v dané lokalitě a většími ztrátami na vodičích.

Ve výpočtech návratnosti investice malých FVE jsem zohlednila degradaci fotovoltaických panelů během provozování. Dále každoroční navyšování zeleného bonusu o míru inflace 2 % a meziroční nárůst ceny energie o 5 %. Vzhledem k vysoké počáteční investici FVE Robčice by měla být tato investice navracena déle, než je tomu v případě FVE Losiná. Na druhou stranu bude FVE Robčice z hlediska výnosnosti více lukrativní, jelikož jsou stanoveny vyšší sazby za tarif zeleného bonusu. Tyto výpočty jsou pouze orientační. Vycházela jsem z výroby energie za rok 2011, který byl pro fotovoltaiky za poslední léta nejlepší. Vyhodnocená doba návratnosti je velmi krátká i z toho důvodu, že oba tyto systémy byly instalovány rodinným příslušníkem, který vytvořil pro investory velmi lukrativní nákupní ceny. Ve výpočtu jsem neuvažovala o odvodu daně z příjmů, výměnu některých komponentů v důsledku poruchy a nejistotu v oblasti zákonů. Po prvních 15 letech provozu bude zajímavé porovnávat reálnou dobu návratnosti investice s předpokládanou dobou návratnosti.

Při provozování velkých fotovoltaických elektráren je velmi důležitou pomůckou monitorovací systém. Ten umožňuje sledování aktuálního chodu FVE a také včasné řešení

případných poruch. Skutečná výroba energie FVE 1 v zimních měsících byla pod plánem. To bylo způsobeno častými sněhovými přeháňkami v dané lokalitě. V důsledku nadprůměrného slunečního svitu vzrostla v březnu výroba energie o 50 % nad předpokládanou výrobu. Již od začátku roku 2012 vyrobila FVE 2 více energie než byl stanovený plán v daných měsících. To bylo nejspíše způsobeno lepšími meteorologickými podmínkami, oproti statistickým datům, vyhodnocených dle PVGIS v dané lokalitě.

Při měření povrchových teplot pomocí termovize na FVE 2 jsem zjistila, že pouze tři fotovoltaické panely z celkových 4 399 jsou vadné a jsou tedy vhodné k reklamaci. Ostatních 12 panelů, u kterých byla detekována potenciální anomálie, by se mělo znovu změřit v červnu, kdy bude výkon elektrárny blízký maximálnímu výkonu.

6 Použitá literatura

- [1] Karamanolis, Strakatis : Sluneční energie východisko z ekologicko-energetické krize, Praha: Sdružení MAC, s.r.o., 1996
- [2] Henze A., Hillebrand N.: Elektrický proud ze Slunce, Ostrava: HEL, 2000, 1. české vydání. ISBN 80-86167-12-7.
- [3] Cihelka J.: Solární tepelná technika, Praha: T. Malina, 1994
- [4] Kleczek J.: Sluneční energie - úvod do helioenergetiky, Praha: SNTL, 1981
- [5] *Teorie fotovoltaiky* [online]. c2009 [cit. 2011-12-12.] Dostupný z WWW: <<http://www.isofenenergy.cz/fotovoltaika.aspx>>
- [6] *Fotovoltaika sluneční záření v ČR* [online]. c2009 [cit. 2012-2-12] Dostupný z WWW: <<http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>>
- [7] *Solární energie* [online]. c2010 [cit. 2011-12-12] Dostupný z WWW : <<http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm> >
- [8] *Fotovoltaický článek* [online]. c2008-2009 [cit. 2011-12-12] Dostupný z WWW : <<http://fotovoltaika.falconis.cz/fotovoltaika/fotovoltaicky-clanek.php> >
- [9] *Technologie a vývoj PV modulů* [online]. c 2010 [cit. 2011-12-12] Dostupný z WWW: <<http://www.czechsolar.cz/fotovoltaika/technologie-a-vyvoj-panelu/>>
- [10] *Měření na fotovoltaických článcích* [online]. [cit. 2011-12-12] Dostupný z WWW : <http://www.vosvdf.cz/cmsb/userdata/487/FVS_006_cviceni/006_zakladni_mereni_na_fvc.pdf>
- [11] *Solartec-jak měříme FVČ* [online]. c1993-2012 [cit. 2011-12-12] Dostupný z WWW : <<http://www.solartec.cz/cs/fv-systemy/o-fotovoltaice/mereni-clanku.html> >
- [12] *Ostrovní fotovoltaické systémy* [online] Energo Consulting c2008 [cit. 2011-12-20] Dostupný z WWW : <<http://www.vyjimecnedomy.cz/fotovoltaicke-systemy>>
- [13] *Avis solar* [online]. c2008 [cit. 2011-12-20] Dostupný z WWW: <<http://www.solar-aleo.cz/teorie.html> >
- [14] *Solární novinky* [online]. c2012 [cit. 2012-2-15] Dostupný z WWW: <<http://www.solarninovinky.cz/2010/index.php?rs=0&rm=21:61#legislativa>>
- [15] *Zákon č. 180/2005 Sb.* [online]. c2001-2012 [cit. 2012-3-3] Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-180-2005-sb-a-souvisejici-predpisy>>
- [16] *Zákon č. 406/2000 Sb.* [online]. c2001-2012 [cit. 2012-3-3]. Dostupný z WWW : <<http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-406-2000-sb-o-hospodareni-energii>>
- [17] *Zákon č. 402/2010 Sb.* [online]. c2009-2012 [cit. 2012-2-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.mojeenergie.cz/cz/zakon-c-402-2010-sb>>
- [18] *Zelený bonus a výkupní cena* [online]. c2012 [cit. 2011-12-10] Dostupný z WWW: <<http://www.zeleny-bonus.eu/statni-podpora/>>
- [19] *Legislativní rámec v ČR týkající se fotovoltaiky* [online]. c2009 [cit. 2012-1-8] Dostupný z WWW : <<http://www.maxisun.cz/clanky/legislativni-ramec-v-ceske-republice-tykajici-se-fotovoltaiky>>
- [20] *Čeps a.s.* [online] c2011 [cit. 2012-1-8] Dostupný z WWW: <<http://www.ceps.cz/CZE/Media/Stranky/FAQ.aspx>>

- [21] *Česká fotovoltaika* [online]. c2010 [cit. 2012-2-7]. Dostupný na WWW: <<http://www.zelenezpravy.cz/ceska-fotovoltaika/> >
- [22] *Skončí stop-stav na fotovoltaiku* [online]. c1996-2012, 2011 [cit. 2012-2-3]. Dostupný z WWW : <<http://stavitel.ihned.cz/c1-52898690-skonci-stop-stav-na-fotovoltaiku>>
- [23] *Novinky-CZEPHO* [online]. c2009-2010 [cit. 2012-2-3]. Dostupný z WWW: <<http://czepho.cz/cs>>
- [24] *Platforma pro OZE* [online]. c2011 [cit. 2012-2-3]. Dostupný z WWW: <<http://www.platforma-oze.cz/>>
- [25] *Fotovoltaika* [online]. c2008 [cit. 2012-3-8] Dostupný na WWW: <<http://www.energeticky poradce.cz/obnovitelne-zdroje/energie-slunce/fotovoltaika.html>>
- [26] *Modelový případ* [online]. ELESEREMO c2009 [cit. 2012-3-4] Dostupný z WWW: <<http://www.s-fotovoltaika.cz/modelovy-pripad.php> >
- [27] *Výše výkupních cen a zelených bonusů* [online]. Topinfo c2001-2012 [cit. 2012-2-7]. Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/vyse-vykupnich-cen-a-zelenych-bonusu>>
- [28] *Zprávy o provozu* [online]. c2009 [cit. 2012-2-5]. Dostupný z WWW: <http://www.eru.cz/dias-browse_articles.php?parentId=131&deep=off&type=>>
- [29] *Canadian Solar Inc* [online]. c2011 [cit. 2012-3-10]. Dostupný na WWW: <<http://solarinstallco.com/images/cs6p200.pdf>>
- [30] *SI 5000* [online]. c2012 [cit. 2012-3-10]. Dostupný na WWW: <<http://www.energyservis.cz/files/Delta-SI5000.pdf>>
- [31] *Kioto photovoltaics* [online]. c2011 [cit. 2012-3-10]. Dostupný na WWW: <http://www.kioto.com/content/files/Datenblatt-KPV-PE-QCells_E_J-n-10.pdf>
- [32] *Fronius IG* [online]. c2012 [cit. 2012-3-12]. Dostupný na WWW: <<http://www.gbc-montaze.cz/file.php?nid=6348&oid=2599271>>
- [33] *PV potential estimation utility* [online]. c2012, 2001-2007 [cit. 2012-3-12]. Dostupný na WWW: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>>
- [34] *Yingli solar* [online]. c2009 [cit. 2012-4-5]. Dostupný z WWW: <<http://www.cascadeng.com/pdf/renewable/Yingli%20230.pdf>>
- [35] *Fotovoltaiický měnič Satcon* [online]. c2010 [cit. 2012-2-5]. Dostupný z WWW: <http://www.satcon.com/cze/pv_inverters/500kw.html>
- [36] *Termovizní kamera Flir e50* [online]. c2010 [cit. 2012-2-5]. Dostupný z WWW: <<http://www.termogram.cz/termovizni-kamera-flir-e50>>
- [37] *Termokamery* [online]. c2010 [cit. 2012-2-5]. Dostupný z WWW: <<http://www.prorevize.cz/termodiagnostika/237-termokamery-fluke-drzi-vase-fotovoltaicke-elektrarny-v-chodu-2-cast>>
- [38] *Atlas podnebí České republiky* [online] c2006 [cit. 2012-1.10]. Dostupný z WWW: <<http://old.chmi.cz/meteo/ok/atlas/uvod.html> >

7 Seznam symbolů a zkratk

FVČ	fotovoltaický článek
FVE	fotovoltaická elektrárna
STC	standardní testovací podmínky
AM	spektrum slunečního záření
ERÚ	Energetický regulační úřad
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System fotovoltaický geografický informační systém
OZE	obnovitelné zdroje energie
ČEPS	Česká energetická přenosová soustava
SEK	Státní energetická koncepce
VTE	větrná elektrárna
VE	vodní elektrárna
PPE	paroplynová elektrárna
PSE	plynová/spalovací elektrárna

8 Seznam obrázků

Obr. 1 Energie fotonů

Obr. 2 Přímé a difuzní záření

Obr. 3 Průměrný roční úhrn globálního záření

Obr. 4 Průměrný roční počet jasných dnů

Obr. 5 Průměrný roční úhrn doby trvání slunečního svitu

Obr. 6 Fotovoltaický článek

Obr. 7 Monokrystalický článek

Obr. 8. Křemíkové ingoty

Obr. 9 Polykrystalický článek

Obr. 10 Amorfní článek

Obr. 11 Síťové systémy

Obr.12 Ostrovní systémy

Obr. 13 Umístění fotovoltaických panelů

Obr. 14 Umístění fotovoltaických panelů

Obr. 15 Strídač Delta SI 5000

Obr. 16 Jednólové schéma FVE

Obr. 17 Umístění fotovoltaických panelů

Obr. 18 Umístění fotovoltaických panelů

Obr. 19 Fotovoltaický geografický informační systém

Obr. 20 Umístění FV panelů

Obr. 21 Příčný řez řadami mechanických bloků

Obr. 22 Umístění FV panelů

Obr. 23 Příčný řez řadami mechanických bloků

Obr. 24 Termovizní kamera Flir E50

Obr. 25 Rozložení teplotního gradientu FVČ

Graf 1 V-A charakteristika solárního článku

Graf 2 Teplotní závislost solárního článku

Graf 3 Závislost proudu a napětí na intenzitě osvětlení

Graf 4 Vývoj výkupních cen a zelených bonusů

Graf 5 Energetická bilance ČR (1999,2010)

Graf 6 Výroba elektřiny z OZE 2010

Graf 7 Fotovoltaické elektrárny, stav k 31. 1. 2012

Graf 8 Odhadované množství vyrobené energie FVE Losiná

Graf 9 Odhadované množství vyrobené energie FVE Robčice

Graf 10 Skutečná výroba FVE

Graf 11 Denní výroba elektrické energie FVE 1 – březen 2012

Graf 12 Předpokládaná a skutečná výroba energie FVE 1

Graf 13 Denní výroba elektrické energie FVE 2 – březen 2012

Graf 14 Předpokládaná a skutečná výroba energie FVE 2

Graf 15 Výroba elektrické energie FVE

Graf 16 Intenzita dopadajícího záření a

Graf 17 Teplota fotovoltaických článků

Graf 18 Výroba elektrické energie FVE

Graf 19 Intenzita dopadajícího záření a

Graf 20 Teplota fotovoltaických článků

Graf 21 Výroba elektrické energie FVE

Graf 22 Intenzita dopadajícího záření a

Graf 23 Teplota fotovoltaických článků

Graf 24 Výroba elektrické energie FVE

Graf 25 Intenzita dopadajícího záření

Graf 26 Teplota fotovoltaických článků

9 Seznam tabulek

Tab. 1 Výše Výkupních cen a Zelených bonusů pro rok 2012

Tab. 2 Výkupní ceny a Zelené bonusy pro rok 2008,2012

Tab. 3 Technické parametry modulu CS6P230

Tab. 4 Technické parametry střídače Delta SI 5000

Tab. 5 Technické parametry modulu KPV PE 185 Q6L TT

Tab. 6 Technické parametry střídače FRONIUS IG 60 HV

Tab. 7 Údaje zadávané a vyhodnocené PVGIS

Tab. 8 Odhad vyrobené energie a množství globálního záření

Tab. 9 Skutečná vyrobená energie FVE

Tab. 10 Rozpočet celkové investice FVE Robčice

Tab. 11 Rozpočet celkové investice FVE Robčice

Tab. 12 Technické parametry modulu Yingli Solar

Tab. 13 Technické parametry střídače Satcon 500

Tab. 14 Technické parametry modulu Yingli Solar

Tab. 15 Naměřené a vypočtené hodnoty FVE, dne 7. 3. 2012

Tab. 16 Naměřené a vypočtené hodnoty FVE, dne 13. 3. 2012

Tab. 17 Naměřené a vypočtené hodnoty FVE, dne 21. 3. 2012

Tab. 18 Naměřené a vypočtené hodnoty FVE, dne 31. 3. 2012

Tab. 19 Rozložení teplot jednotlivých FV panelů

10 Příloha

Příloha 1: Výpočet návratnosti investice FVE Losiná

Příloha 2: Výpočet návratnosti investice FVE Robčice

Příloha 3: Výroba elektrické energie FVE 1 – březen 2012

Příloha 4: Výroba elektrické energie FVE 2 – březen 2012

Příloha 5: Umístění mechanických bloků a střídačů FVE 1

Příloha 6: Umístění mechanických bloků a střídačů FVE 2

Příloha 7: Termovizní snímky fotovoltaických panelů

Příloha 1: Výpočet návratnosti investice FVE Losiná

Rok	Roční výkon [kWp]	Roční výroba elektřiny [kWh]	Zelený bonus [Kč]	Prodej Zelený bonus [Kč]	Úspora nenakoupené energie [Kč]	Cena el. energie ČEZ D02d [Kč]	Prodej přebytku vyrobené energie [Kč]	Roční výnosy při započítání nákladů [Kč]	Prostá návratnost investice [Kč]
2010	4,83	4 955,00	11,25	55 744	10 727,58	4,33	2 229,75	64 181,08	-387 818,93
2011	4,78	4 905,45	11,48	56 290	11 151,31	4,55	2 207,45	65 128,81	-322 690,12
2012	4,73	4 855,90	11,70	56 836	11 590,61	4,77	2 185,16	66 091,64	-256 598,47
2013	4,69	4 806,35	11,94	57 381	12 045,95	5,01	2 162,86	67 069,85	-189 528,62
2014	4,64	4 756,80	12,18	57 925	12 517,86	5,26	2 140,56	68 063,69	-121 464,93
2015	4,59	4 707,25	12,42	58 468	13 006,84	5,53	2 118,26	69 073,42	-52 391,51
2016	4,54	4 657,70	12,67	59 010	13 513,42	5,80	2 095,97	70 099,31	17 707,80
2017	4,49	4 608,15	12,92	59 550	14 038,14	6,09	2 073,67	71 141,61	88 849,41
2018	4,44	4 558,60	13,18	60 088	14 581,55	6,40	2 051,37	72 200,60	161 050,01
2019	4,40	4 509,05	13,44	60 623	15 144,21	6,72	2 029,07	73 276,52	234 326,53
2020	4,35	4 459,50	13,71	61 156	15 726,68	7,05	2 006,78	74 369,64	308 696,17
2021	4,30	4 409,95	13,99	61 686	16 329,54	7,41	1 984,48	75 480,22	384 176,39
2022	4,25	4 360,40	14,27	62 213	16 953,36	7,78	1 962,18	76 608,51	460 784,90
2023	4,20	4 310,85	14,55	62 736	17 598,75	8,16	1 939,88	77 754,75	538 539,65
2024	4,15	4 261,30	14,84	63 255	18 266,28	8,57	1 917,59	78 919,19	617 458,84
2025	4,11	4 211,75	15,14	63 770	18 956,58	9,00	1 895,29	80 102,05	697 560,89
2026	4,06	4 162,20	15,44	64 280	19 670,24	9,45	1 872,99	81 303,58	778 864,47
2027	4,01	4 112,65	15,75	64 785	20 407,87	9,92	1 850,69	82 523,97	861 388,44
2028	3,96	4 063,10	16,07	65 285	21 170,09	10,42	1 828,40	83 763,45	945 151,89
2029	3,91	4 013,55	16,39	65 779	21 957,52	10,94	1 806,10	85 022,19	1 030 174,08
Celkem				634 946	315 354,38			1 482 174,08	

Příloha 2: Výpočet návratnosti investice FVE Robčice

Rok	Roční výkon [kWp]	Roční výroba elektřiny [kWh]	Zelený bonus [Kč]	Prodej Zelený bonus [Kč]	Úspora nenakoupené energie [Kč]	Cena el. energie ČEZ D02d [Kč]	Prodej přebytku vyrobené energie [Kč]	Roční výnosy při započítání nákladů [Kč]	Prostá návratnost investice [Kč]
2009	4,81	5 095,00	11,91	60 681	15 442,95	4,33	1 375,65	71 400,05	-538 599,96
2010	4,76	5 044,05	12,15	61 276	16 052,94	4,55	1 361,89	72 590,96	-466 008,99
2011	4,71	4 993,10	12,39	61 870	16 685,33	4,77	1 348,14	73 803,79	-392 205,20
2012	4,67	4 942,15	12,64	62 464	17 340,83	5,01	1 334,38	75 038,98	-317 166,23
2013	4,62	4 891,20	12,89	63 056	18 020,16	5,26	1 320,62	76 296,99	-240 869,24
2014	4,57	4 840,25	13,15	63 647	18 724,07	5,53	1 306,87	77 578,30	-163 290,94
2015	4,52	4 789,30	13,41	64 237	19 453,32	5,80	1 293,11	78 883,37	-84 407,57
2016	4,47	4 738,35	13,68	64 825	20 208,69	6,09	1 279,35	80 212,68	-4 194,88
2017	4,43	4 687,40	13,95	65 410	20 990,96	6,40	1 265,60	81 566,71	77 371,83
2018	4,38	4 636,45	14,23	65 993	21 800,94	6,72	1 251,84	82 945,94	160 317,76
2019	4,33	4 585,50	14,52	66 573	22 639,44	7,05	1 238,09	84 350,84	244 668,60
2020	4,28	4 534,55	14,81	67 150	23 507,28	7,41	1 224,33	85 781,89	330 450,49
2021	4,23	4 483,60	15,10	67 724	24 405,31	7,78	1 210,57	87 239,59	417 690,08
2022	4,18	4 432,65	15,41	68 293	25 334,38	8,16	1 196,82	88 724,39	506 414,47
2023	4,14	4 381,70	15,71	68 858	26 295,34	8,57	1 183,06	90 236,78	596 651,25
2024	4,09	4 330,75	16,03	69 419	27 289,06	9,00	1 169,30	91 777,22	688 428,46
2025	4,04	4 279,80	16,35	69 974	28 316,41	9,45	1 155,55	93 346,16	781 774,63
2026	3,99	4 228,85	16,68	70 524	29 378,28	9,92	1 141,79	94 944,07	876 718,70
2027	3,94	4 177,90	17,01	71 068	30 475,54	10,42	1 128,03	96 571,37	973 290,07
2028	3,90	4 126,95	17,35	71 605	31 609,08	10,94	1 114,28	98 228,50	1 071 518,57
Celkem				691 189	453 970,29			1 681 518,57	

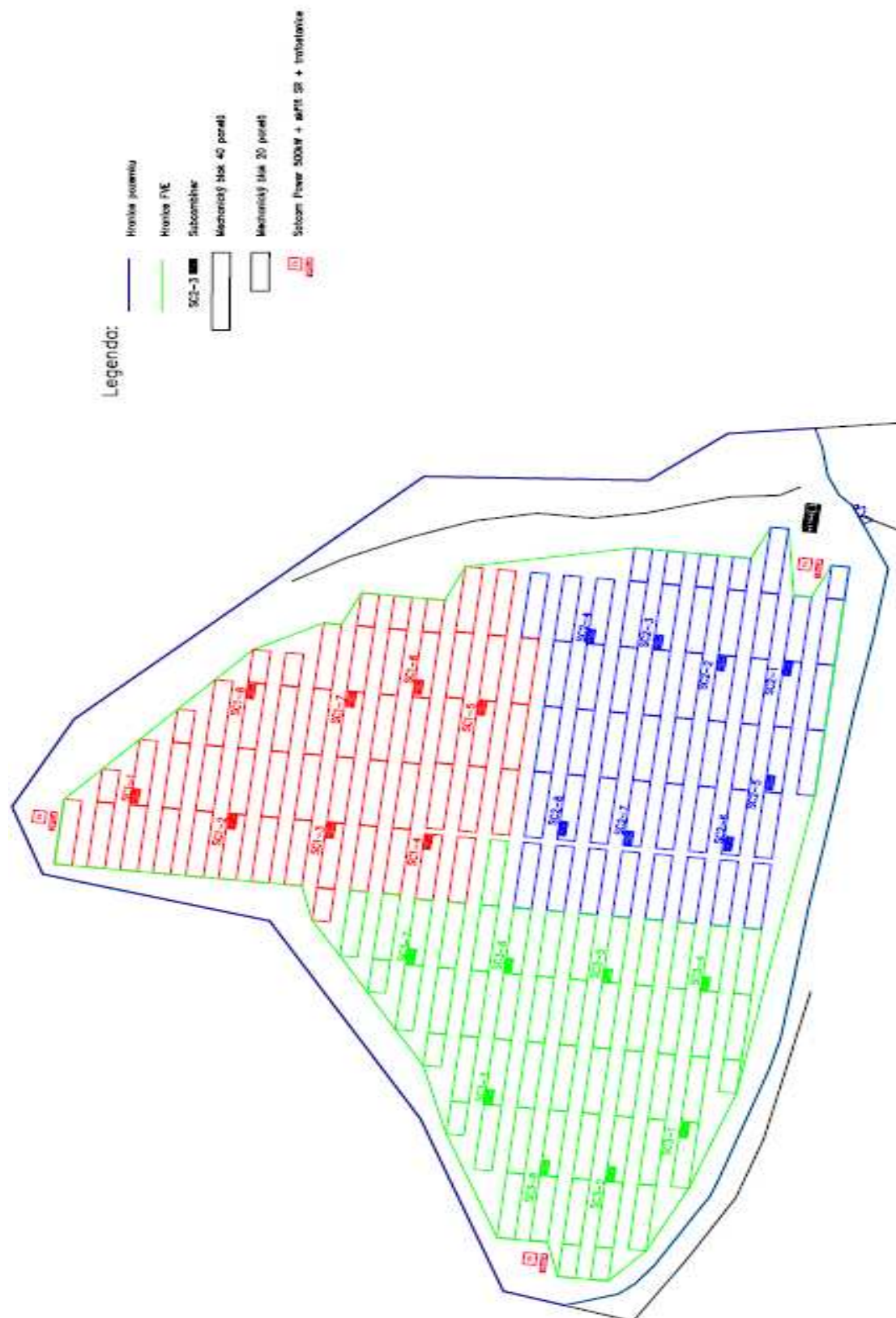
Příloha 3: Výroba elektrické energie FVE 1 – březen 2012

Datum	Denní výroba [kWh]	Kumulativní výroba [kWh]	Intenzita sluneční záření [kWh/m ²]	Poznámka
1.3.2012	5557,0	5 557,0	4,697	oblačno / polojasno / oblačno
2.3.2012	6941,0	12 498,0	5,938	polojasno / oblačno / oblačno
3.3.2012	4723,0	18 221,0	4,695	oblačno / oblačno / oblačno
4.3.2012	2987,0	21 208,0	2,402	oblačno / oblačno / polojasno
5.3.2012	3408,0	24 616,0	2,882	oblačno / polojasno / polojasno
6.3.2012	6233,0	30 849,0	5,192	polojasno / polojasno / zataženo
7.3.2012	7387,0	38 236,0	6,082	polojasno / zataženo / polojasno
8.3.2012	404,0	38 640,0	0,72	zataženo / polojasno / polojasno
9.3.2012	5904,0	44 544,0	5,504	polojasno / zataženo / zataženo
10.3.2012	7640,0	52 184,0	6,239	polojasno / zataženo / zataženo
11.3.2012	450,0	52 634,0	0,462	zataženo / zataženo / zataženo
12.3.2012	831,0	53 465,0	0,750	zataženo / zataženo / polojasno
13.3.2012	926,0	54 391,0	0,812	zataženo / polojasno / polojasno
14.3.2012	4957,0	59 348,0	4,004	polojasno / polojasno / jasno
15.3.2012	7435,0	66 783,0	6,033	polojasno / jasno / jasno
16.3.2012	6763,0	73 546,0	6,896	polojasno / jasno / jasno
17.3.2012	5335,0	78 881,0	6,743	polojasno / zataženo / polojasno
18.3.2012	4985,0	83 866,0	6,311	jasno / polojasno / zataženo
19.3.2012	1903,0	85 769,0	2,318	zataženo / polojasno / jasno
20.3.2012	5129,0	90 898,0	6,332	polojasno / jasno / jasno
21.3.2012	7848,0	98 746,0	6,876	jasno / jasno / jasno
22.3.2012	8313,0	107 059,0	4,731	jasno / polojasno / polojasno
23.3.2012	5551,0	112 610,0	3,819	polojasno / polojasno / jasno
24.3.2012	4252,0	116 862,0	6,594	polojasno / jasno / jasno
25.3.2012	8169,0	125 031,0	6,521	jasno / jasno / jasno
26.3.2012	8144,0	133 175,0	5,821	jasno / jasno / jasno
27.3.2012	7263,0	140 438,0	6,636	jasno / jasno / oblačno
28.3.2012	8347,0	148 785,0	6,027	jasno / oblačno / oblačno
29.3.2012	3819,0	152 604,0	3,027	oblačno / oblačno / zataženo
30.3.2012	3451,0	156 055,0	2,781	oblačno / zataženo / oblačno
31.3.2012	1292,0	157 347,0	1,129	zataženo / oblačno / oblačno

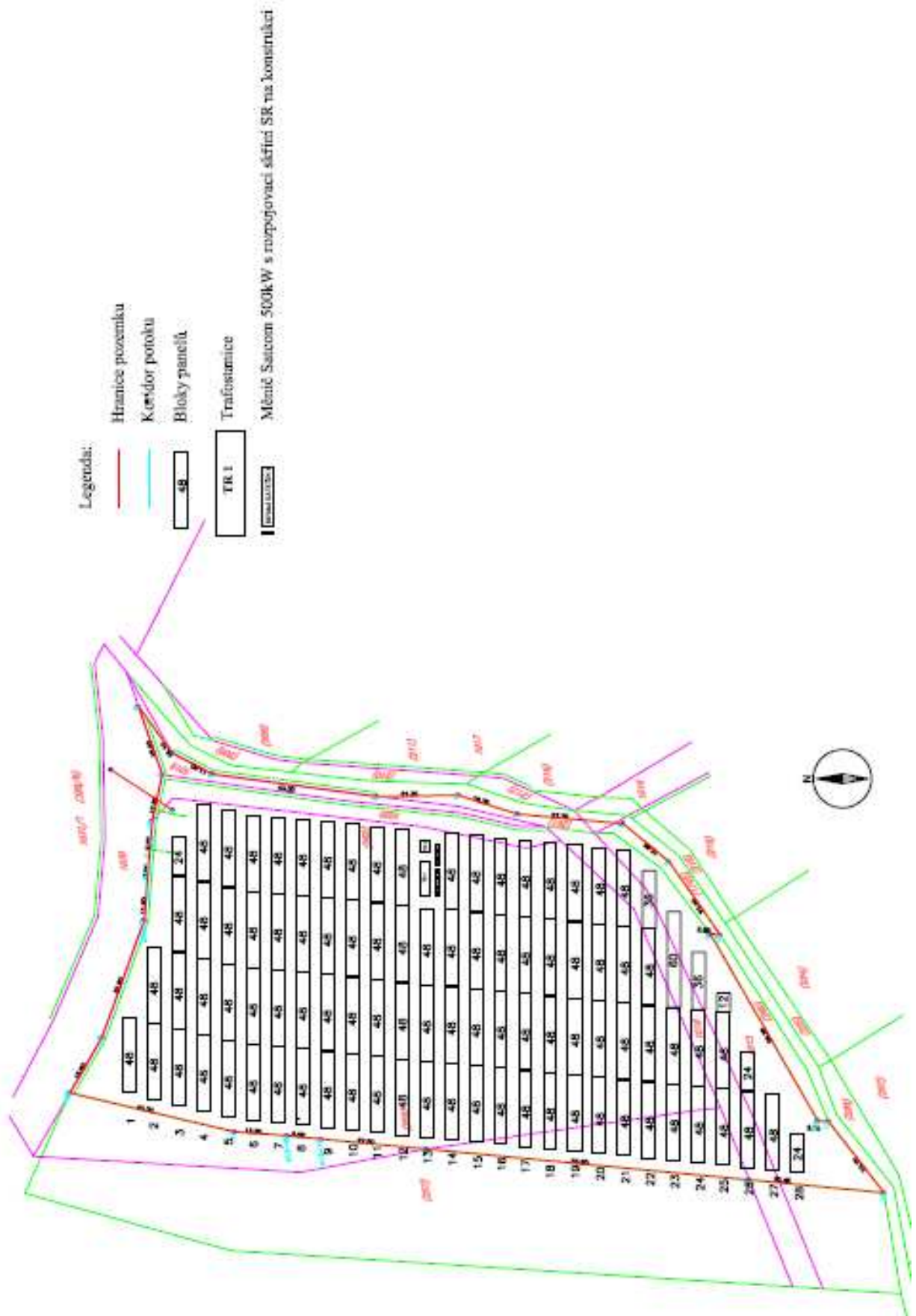
Příloha 4: Výroba elektrické energie FVE 2 – březen 2012

Datum	Denní výroba [kWh]	Kumulativní výroba [kWh]	Intenzita slunečního záření [kWh/m ²]	Poznámka
1.3.2012	2540,5	2540,5	3,135	oblačno/oblačno/polojasno
2.3.2012	2625,3	5165,8	3,229	oblačno/polojasno/zataženo
3.3.2012	3649,8	8815,6	4,277	polojasno/zataženo/oblačno
4.3.2012	870,3	9685,9	1,014	zataženo/oblačno/polojasno
5.3.2012	4244,3	13930,2	4,782	oblačno/polojasno/polojasno
6.3.2012	3143,3	17073,5	3,520	polojasno/polojasno/zataženo
7.3.2012	4809,8	21883,3	5,319	polojasno/zataženo/polojasno
8.3.2012	668,0	22551,3	1,014	zataženo/polojasno/oblačno
9.3.2012	5197	27748,3	5,661	polojasno/oblačno/zataženo
10.3.2012	3053	30801,3	3,335	oblačno/zataženo/zataženo
11.3.2012	456,8	31258,1	0,595	zataženo/zataženo/zataženo
12.3.2012	537,0	31795,1	0,675	zataženo/zataženo/zataženo
13.3.2012	814,3	32609,4	0,940	zataženo/zataženo/polojasno
14.3.2012	630,3	33239,7	0,756	zataženo/polojasno/jasno
15.3.2012	4500,8	37740,5	5,184	polojasno/jasno/jasno
16.3.2012	5748,5	43489	6,217	jasno/jasno/polojasno
17.3.2012	5717,0	49206	6,236	jasno/polojasno/zataženo
18.3.2012	5054,8	54260,8	5,578	polojasno/zataženo/polojasno
19.3.2012	4082,3	58343,1	4,336	zataženo/polojasno/jasno
20.3.2012	6387,5	64730,6	6,746	polojasno/jasno/polojasno
21.3.2012	6089,8	70820,4	6,536	jasno/polojasno/polojasno
22.3.2012	4145,5	74965,9	4,518	polojasno/polojasno/polojasno
23.3.2012	3445,5	78411,4	3,813	polojasno/polojasno/polojasno
24.3.2012	4550,5	82961,9	5,040	polojasno/polojasno/jasno
25.3.2012	6296,5	89258,4	6,752	polojasno/jasno/polojasno
26.3.2012	6292,0	95550,4	6,7	jasno/polojasno/jasno
27.3.2012	5206,3	100756,7	5,610	polojasno/jasno/oblačno
28.3.2012	6034,8	106791,5	6,454	jasno/oblačno/oblačno
29.3.2012	1234,5	108026	1,368	oblačno/oblačno/zataženo
30.3.2012	1259,8	109285,8	1,418	oblačno/zataženo/oblačno
31.3.2012	998,3	110284,1	1,123	zataženo/oblačno/oblačno

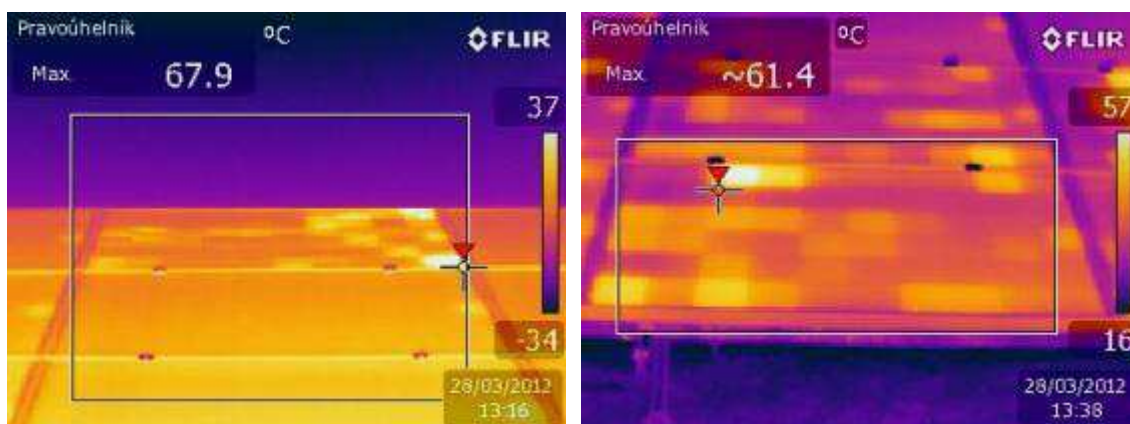
Příloha 5: Umístění mechanických bloků a střídačů FVE 1



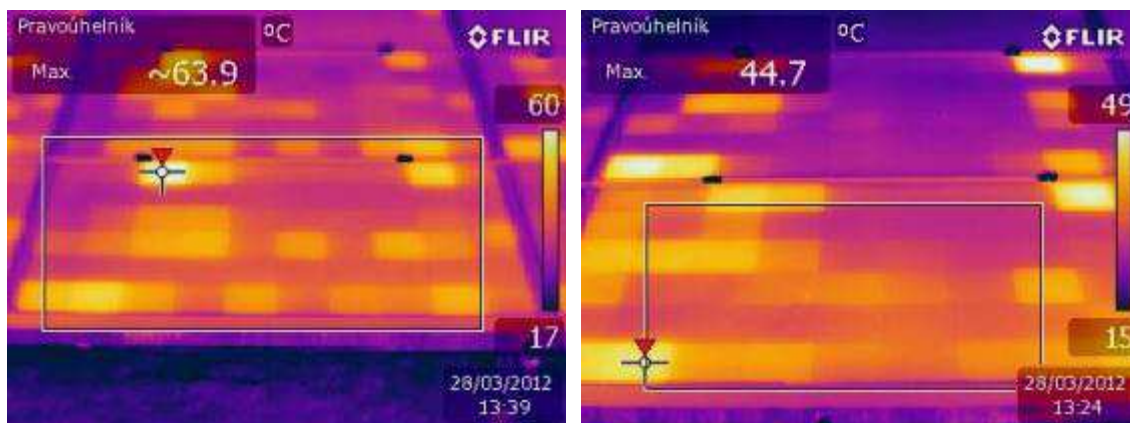
Příloha 6: Umístění mechanických bloků a střídačů FVE 2



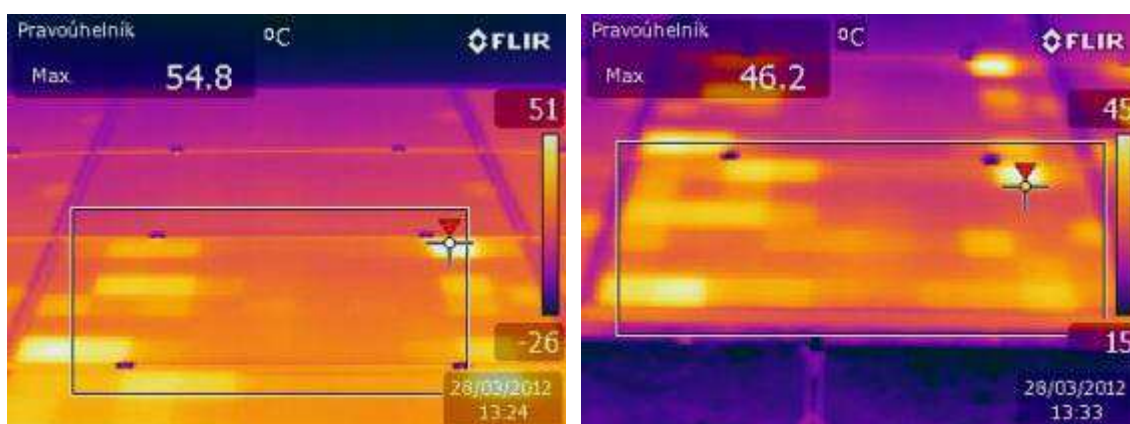
Příloha 7: Termovizní snímky fotovoltaických panelů



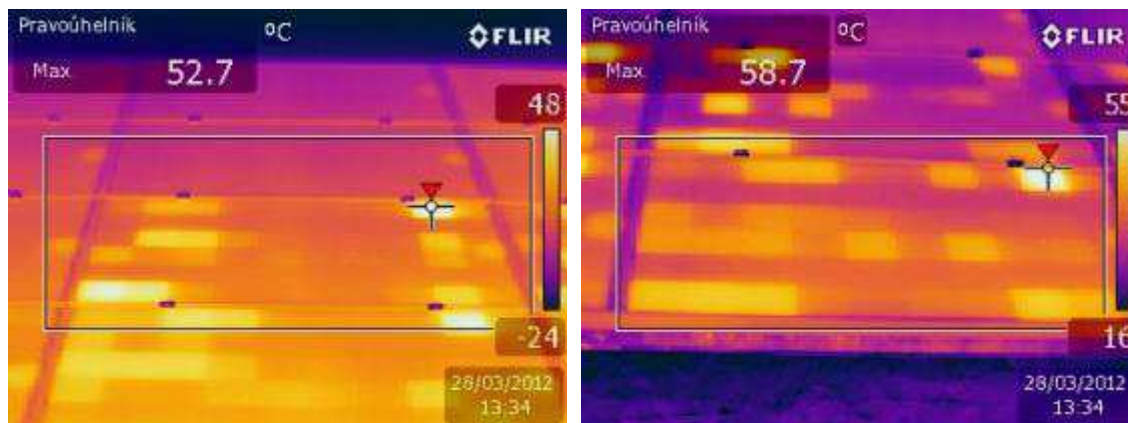
Obr. 1 a 2 Rozložení teplotního gradientu FVČ



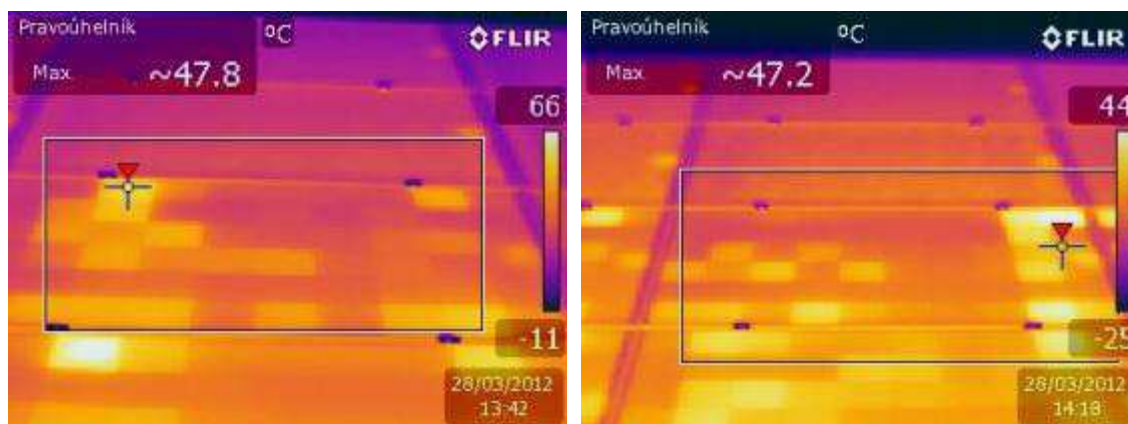
Obr. 3 a 4 Rozložení teplotního gradientu FVČ



Obr. 5 a 6 Rozložení teplotního gradientu FVČ



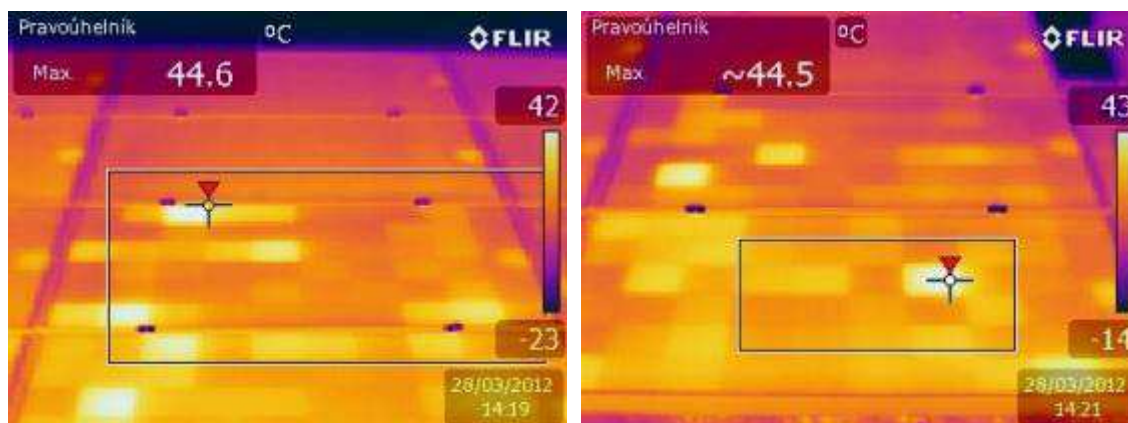
Obr. 7 a 8 Rozložení teplotního gradientu FVČ



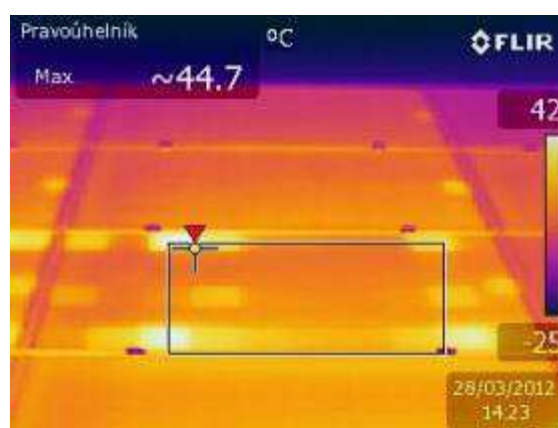
Obr. 9 a 10 Rozložení teplotního gradientu FVČ



Obr. 11 a 12 Rozložení teplotního gradientu FVČ



Obr. 13 a 14 Rozložení teplotního gradientu FVČ



Obr. 15 Rozložení teplotního gradientu FVČ