

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Měření a monitorování výkonových parametrů domácí
FV elektrárny**

Autor:

Jan Buchwald

Vedoucí práce:

Ing. Pavel Štekl, Ph.D.

2016

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan BUCHWALD**
Osobní číslo: **E13B0106P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Měření a monitorování výkonových parametrů domácí FV elektrárny**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Zpracujte rešerši na téma nasazení a využití malých FV elektráren pro domácí použití. Do rešerše zahrňte i finanční údaje a technické detaily.
2. Proveďte na vhodném objektu dlouhodobé měření výkonových parametrů s přihlédnutím na vliv počasí a stav odběrové sítě.
3. Popište možnosti dlouhodobého monitorování parametrů domácí FV elektrárny a vyberte konkrétní systém, který je schopen uvedená měření zajistit.
4. Proveďte měření s vybraným systémem a vyhodnoťte získaná data zejména s přihlédnutím k meteorologické situaci v místě měření.
5. Kromě technického a grafického rozboru měření proveďte též rozbor finanční se započítáním přínosů daného zařízení.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

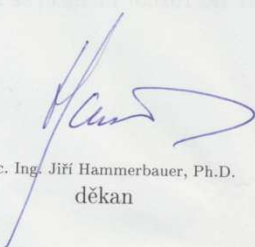
Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Štekl, Ph.D.

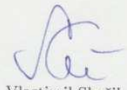
Katedra teoretické elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2015

Termín odevzdání bakalářské práce: 2. června 2016


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




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce se zabývá monitorováním a měřením výkonových parametrů malé střešní fotovoltaické elektrárny o výkonu 6 kWp v závislosti na vlivu meteorologických podmínek v Plzni. Umožní lépe definovat přínos FVE pro domácnost z hlediska rentability, návratnosti a poměru množství spotřebované energie z vlastních zdrojů a odběrů z veřejné distribuční sítě. V práci je také zmíněn problém kontroverzních instalací fotovoltaických elektráren v souvislosti s výhodnými výkupními cenami v minulých letech.

Klíčová slova

Fotovoltaika, fotovoltaická elektrárna, sluneční záření, fotovoltaický článek, fotovoltaický panel, výkon, rentabilita, náklady, výnos, investice, návratnost

Abstract

This bachelor thesis deals with monitoring and measuring of efficiency parameters of one small roof photovoltaic power plant with 6 kWp wattage in connection to influence of meteorological conditions in Pilsen. The thesis will allow to better define benefits of the plant for the household regarding profitability, recoverability, and ratio between the amount of the used up energy from one's own resources and the energy taken from public distribution power network. In the thesis there is also mentioned the problem of the past years of controversial installations of photovoltaic power plants with owner's primary intention to sell the gained energy for convenient prices.

Key words

Photovoltaic, photovoltaic power plant, solar radiation, solar cell, solar panel, efficiency, profitability, costs, profit, investment, recoverability

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, které jsou součástí této bakalářské práce v uvedeném seznamu.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální. Také prohlašuji, že data z ČHMÚ jsou licencována a budou použita pouze pro tuto práci.

.....
podpis

V Plzni dne 30.5.2016

Jan Buchwald

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Pavlu Šteklovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, předání znalostí a vstřícný přístup při psaní této práce. Také bych chtěl poděkovat katedře KTE za pomoc při získání licence na klimatická data z ČHMÚ. Mé poděkování patří též panu Mgr. Zdeňku Lepkovi za vstřícnost a spolupráci při získání dat z ČHMÚ. Dále děkuji společnosti Hotset ČR s.r.o. za zapůjčení infrakamery pro monitorování fotovoltaické elektrárny, jmenovitě pak panu Davidu Müllerovi.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině a svým blízkým za trpělivost a podporu během studia.

Obsah

OBSAH.....	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
ÚVOD.....	11
1 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ	12
2 HISTORIE FOTOVOLTAIKY.....	14
3 FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK.....	16
3.1 Foton.....	16
3.2 Princip FV článku.....	17
3.3 Struktura a vrstvy FV článku.....	20
3.4 Křemík (Si).....	20
3.5 Výroba nejčastějších typů křemíkových článků.....	21
3.5.1 Monokrystalické články.....	21
3.5.2 Polykrystalické články.....	22
3.5.3 Amorfni křemíkové články.....	22
3.6 Další typy FV článků.....	23
3.6.1 Galium arsenid (arsenid galitý, GaAs).....	23
3.6.2 Mikromorfni fotovoltaické články (μ -Si a A-Si).....	23
3.6.3 Diselenid mědi a india ($CuInSe_2$, CIS).....	24
3.6.4 Telurid kadmia (CdTe).....	24
3.6.5 Články z organických látek.....	24
4 FOTOVOLTAICKÝ PANEL	24
4.1 EVA.....	25
4.2 Sklo.....	25
4.3 Zadní umělohmotná fólie.....	26
4.4 Připojovací svorkovnice	26
4.5 Životnost panelu	26
4.6 Umístění FVE.....	27
5 KOMPONENTY K FVE.....	28
5.1 Kabely a vodiče	28
5.2 Ochranné prvky	29
5.2.1 Ochrana před chybovými proudy.....	29
5.2.2 Ochrana před bleskem.....	29
5.3 Invertor	30
5.3.1 Účinnost.....	31
5.3.2 Výhody a nevýhody inverterů podle konstrukce	31
5.4 Elektroměr	31
5.4.1 Přímý výkup.....	32
5.4.2 Nepřímý výkup.....	32
5.4.3 Zelený bonus.....	32
5.4.4 Ostrovní systém	33
5.5 Monitorování a zaznamenávání výroby.....	33
6 DOMÁCÍ FVE V PLZNI 10 – LHOTA.....	34
6.1 Umístění FVE.....	34
6.2 Popis FVE.....	34
6.3 Budoucí recyklace	35
6.4 Společnost Solarion CZ s.r.o.	35
6.5 FV panely Canadian Solar CS6P-240.....	36

6.6	Invertor Kostal Piko 5. 5.....	37
6.7	Elektroměry	39
6.7.1	Vnitřní elektroměr <i>NERIS DVH5161-M</i>	39
6.7.2	Venkovní elektroměr <i>ITRON SL7000</i>	42
6.8	Kabely.....	44
6.9	CS OTE a Portál naměřených dat ČEZ	44
7	ROZVAHOVÉ MĚŘENÍ.....	46
7.1	Náklady.....	53
7.2	Výnosy.....	54
7.3	Návratnost.....	56
7.4	Monitorování infrakamerou.....	56
	ZÁVĚR.....	57
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	61
	PŘÍLOHY	62
	Příloha A – Přebytky vyrobené elektrické energie a doba slunečního svitu.....	62
	Příloha B – Grafy pro přehled naměřených hodnot.....	74
	Příloha C – Fotografie FVE.....	77
	Příloha D – Blokové schéma elektrárny	80

Seznam symbolů a zkratk

<i>FVE</i>	fotovoltaická elektrárna
W/m^2	watt na metr čtvereční
λ	lambda, vlnová délka
<i>UV</i>	ultrafialové záření
<i>VL</i>	Visible Light
<i>IR</i>	infračervené záření
<i>kWh/rok</i>	kilowatt hodina za rok
<i>ČHMÚ</i>	Český hydrometeorologický ústav
<i>eV</i>	elektronvolt
<i>Eg</i>	zakázané pásmo
<i>Ec</i>	vodivostní pásmo
<i>Ev</i>	valenční pásmo
<i>FV, PV</i>	fotovoltaika/fotovoltaický
<i>PN</i>	přechod mezi příměsemi polovodičů s kladně a záporně nabitými náboji
<i>Voc</i>	napětí vzniklé osvětlením PN přechodu (obr. 3.1)
<i>IP</i>	označení pro stupeň ochrany krytu
<i>SS, DC</i>	stejnsměrný
<i>ST, AC</i>	střídavý
<i>PVC</i>	polyvinylchlorid
<i>NYM, CYKY</i>	silový kabel, jmenovité napětí 300/500 V, speciální PVC – šedé, C – měď, Y – PVC izolace, K – kabel s pevnými vodiči, Y – PVC izolace
<i>CYKY-J</i>	C – měď, Y – PVC izolace, K – kabel s pevnými vodiči, Y – PVC izolace, J – kabel pro pevné uložení a se zelenožlutým vodičem
<i>YYY</i>	silový kabel, jmenovité napětí 0,6/1 kV, termoplastické PVC – černé
<i>NYCW</i>	silový kabel, jmenovité napětí 0,6/1 kV, koncentrický vodič z Cu pásky a Cu drátků, termoplastické PVC – černé
<i>NHMH</i>	označení kabelů se specifikací chemické struktury, silový kabel, jmenovité napětí 300/500 V, termoplast bez halogenové polymerní sloučeniny
<i>nf</i>	nízkofrekvenční
<i>vf</i>	vysokofrekvenční
<i>MPP</i>	Maximal Power Point
<i>PC</i>	Personal Computer
<i>kWp</i>	kilo watt peak
<i>Wp</i>	Watt peak
<i>IEC</i>	elektrické a mechanické zkoušky
<i>UL</i>	elektrické a mechanické zkoušky
<i>TN-C-S</i>	označení sítě, T – jeden bod je bezprostředně uzemněn, N – přímé spojení neživých částí s uzemněným bodem sítě, C – sloučení středního a ochranného vodiče, S – oddělení středního a ochranného vodiče

Úvod

Předkládaná práce se zabývá měřením a analyzováním získaných výkonových parametrů z malé střešní fotovoltaické elektrárny o výkonu 6 kWp. V první části je práce zaměřena na problematiku ohledně zdrojů světla, vývoje fotovoltaiky, fotovoltaických článků a panelů, komponentů k elektrárně a monitorovacích zařízení. Druhá část analyzuje konkrétní naměřená data z domácí FVE a finanční stránku provozu této malé střešní elektrárny v průběhu roku 2015.

Dané téma jsem si zvolil z důvodu aktuálnosti výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů a s ohledem na svůj studijní program, jenž se zaměřuje mimo jiné na ekonomickou stránku, do které patří např. počáteční investice, náklady během provozu, předpokládaný výnos a snížený celkový odběr elektrické energie z veřejné distribuční sítě. Pro zkoumání výkonových parametrů jsem použil instalovanou malou střešní elektrárnu zhotovenou z 25 ks panelů, jejíž jeden panel má výkon 240 Wp. Důvodem instalace FV elektrárny byla návaznost na tepelné čerpadlo. Hlavním cílem je spotřebovat většinu vyrobené energie v domácnosti a co nejméně odebírat energii z veřejné distribuční sítě. Monitorování pomůže odhalit celkový odběr z veřejné distribuční sítě, jaké množství elektrické energie za rok panely vyrobí, jaká je rentabilita a za kolik let se splatí instalace elektrárny. Při instalaci se předpokládalo, že bude počáteční investice splacena do 9 let. Práce je také zaměřena na konkrétní komponenty, které jsou pořízeny pro provoz elektrárny. Při zkoumání poslouží rovněž infrakamera, jež objeví případná infikovaná místa na panelech nebo na zařízeních pro provoz FVE. Takováto infikovaná místa mohou způsobit pokles výkonu výroby, na čemž závisí budoucnost dlouhodobé produkce elektrické energie pro domácnost. Využita jsou také licencovaná data z ČHMÚ, která umožní predikovat, zda jsou v místě elektrárny vhodné klimatické a meteorologické podmínky k provozu FVE. Ze získaných dat je možné zjistit množství slunečního záření a srážek, které dopadnou na povrch panelů během sledovaného období.

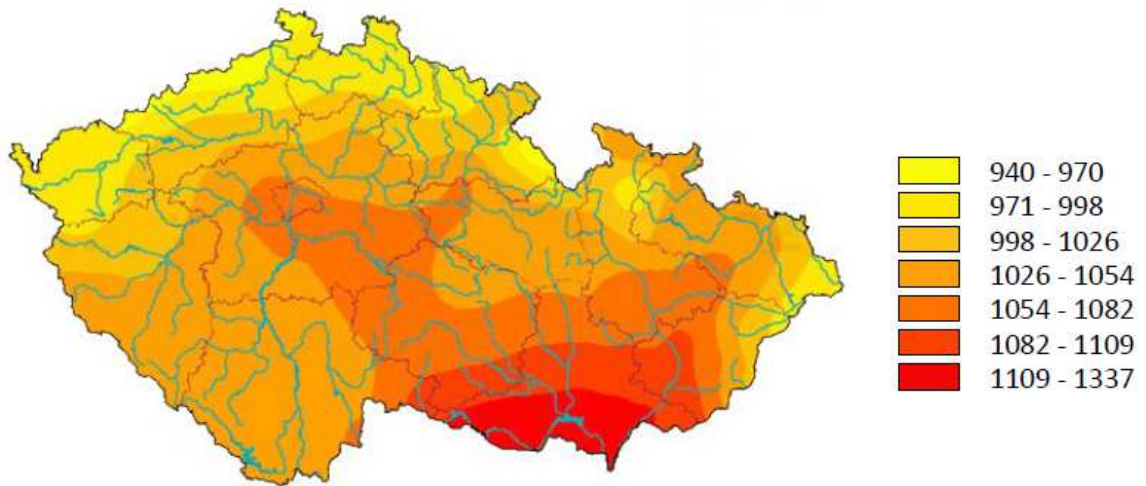
V práci je dále zmíněn problém kontroverzních instalací fotovoltaických elektráren v souvislosti s výhodnými výkupními cenami v minulých letech. V závěru je nastíněno, za jakých podmínek se v současné době vyplatí investovat do provozu nových domácích FVE.

1 Sluneční záření

Sluneční záření, kterému se někdy říká slangovým výrazem svit, se dostane na povrch Země za 8 minut. Svit je důležitý faktorem pro FVE a udává se v jednotce W/m^2 . Solární konstanta o hodnotě $1\,354\text{ W/m}^2$ představuje intenzitu záření nad naší atmosférou. [1] Podle publikace je solární konstanta $1\,367\text{ W/m}^2$. [2] Průchodem zemskou atmosférou je sluneční záření pohlcováno a odráženo, takže měření na zemském povrchu nemají k určení hodnoty solární konstanty žádnou váhu. Průměrný tok slunečního záření dosahuje na zemském povrchu (na rovníku) kolem $1\,000\text{ W/m}^2$. [3] Z toho je 527 W/m^2 IR záření, 445 W/m^2 viditelné záření a přibližně 28 W/m^2 UV záření. [1, 2, 4]

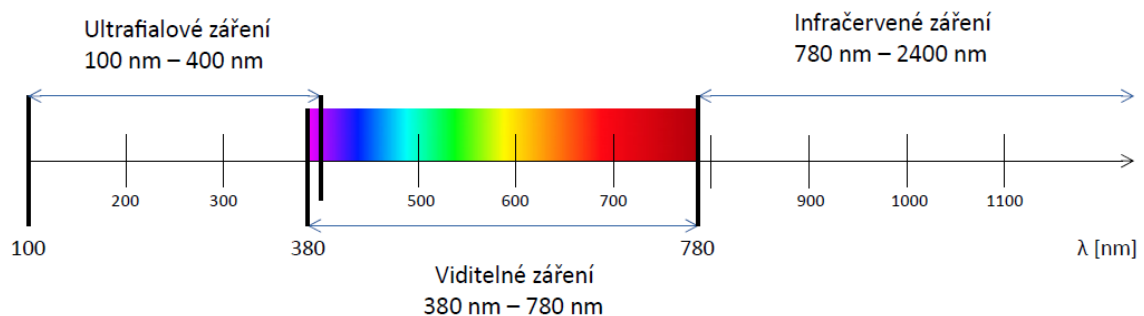
Využitelnost sluneční energie v České republice ovlivňuje hned několik faktorů. Mezi tyto faktory patří zejména zeměpisná poloha, konkrétně daná lokalita, doba slunečního svitu, nadmořská výška a také kvalita ovzduší. ČR leží v mírném pásmu. I přesto jsou podmínky pro přeměnu sluneční energie na elektrickou energii poměrně dobré. Celková doba slunečního záření se pohybuje v rozmezí od $1\,400\text{ h/rok}$ do $1\,700\text{ h/rok}$. [4] Podle ČHMÚ se pohybuje počet hodin ročně v rozmezí $1\,331\text{ h/rok}$ – $1\,844\text{ h/rok}$. [5]

Mapa na obr. 1.1 vystihuje celkovou situaci v rozložení dopadající sluneční energie v České republice. Průzkum vychází z dlouhodobých meteorologických měření. Na 1 m^2 dopadne v rozmezí 950 kWh – $1\,340\text{ kWh}$ elektrické energie. Přičemž největší podíl energie zajistí letní období. Procentuálně se hodnota vyšplhá až na 75 %. Zmíněné údaje jsou velmi důležité pro výpočty energetické bilance FVE i návratnosti investic. Pokud je známo, kolik slunečního záření ročně dopadne na 1 m^2 fotovoltaického panelu, lze výpočtem odvodit výkon této plochy v rozmezí cca 133 kWh – 188 kWh elektrické energie za rok. Konverzní účinnost panelu se pohybuje kolem 14 %. [5] Pro hrubou orientaci může posloužit pravidlo, že z 1 kWp instalovaného výkonu lze získat v rozmezí 800 kWh/rok – $1\,000\text{ kWh/rok}$ elektrické energie. [4]



Obr. 1.1 Roční celková sluneční energie na území ČR [W/m^2] (převzato z [5])

Sluneční záření se dělí podle vlnové délky λ do mnoha spektrálních sekcí, z nichž pro nás nejvýznamnější se nazývají ultrafialové záření, viditelné záření a infračervené záření (tepelné záření). (obr. 1.2) [1]



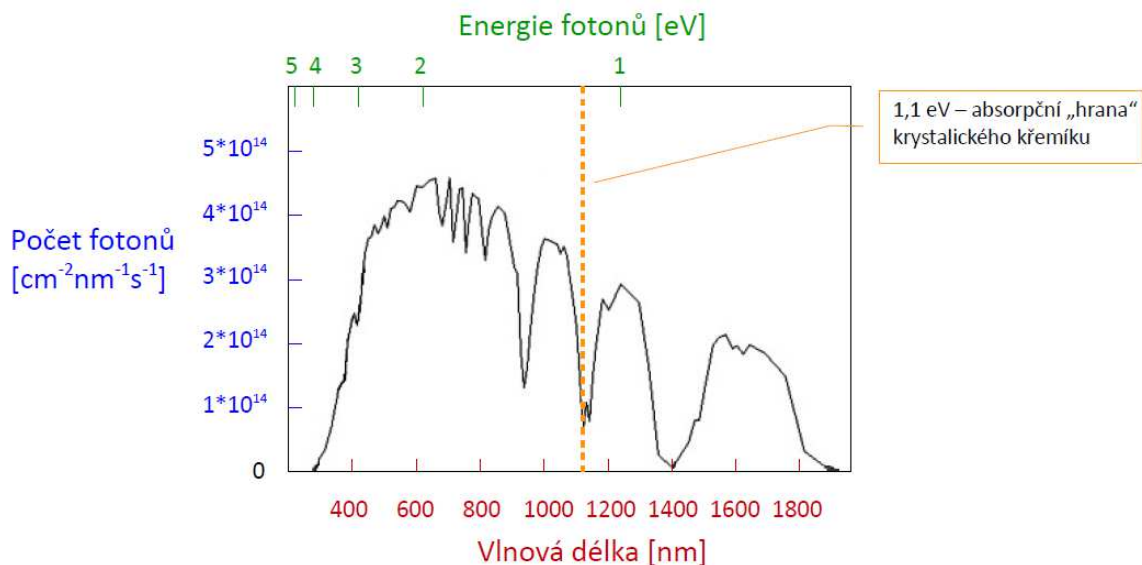
Obr. 1.2 Spektrum slunečního záření

Ultrafialové záření (UV) je elektromagnetické záření s kratšími vlnovými délkami než viditelné. Jeho vlnová délka se pohybuje v rozmezí od 100 nm – 400 nm. Tvoří kolem 7 % celkového elektromagnetického záření. Toto záření je považováno za škodlivé nejen pro živé organizmy včetně lidí, ale způsobuje i degradační procesy v polovodičových vrstvách fotovoltaických panelů. [1]

Viditelné záření (VL [1]) je tvořeno od fialové do červené barvy. Vytvoří asi 48 % celkové sluneční energie. Vlnová délka je v rozmezí od 380 nm do 780 nm. [1]

Infračervené záření (IR) je záření o vlnových délkách v rozsahu 780 nm až 2 400 nm. Tvoří kolem 45 % z toku sluneční energie. Podobně jako UV je toto spektrum neviditelné. Kvůli jeho fyzikální interpretaci se mu také říká záření tepelné. [1]

Sluneční záření dopadající na povrch Země po průchodu atmosférou se skládá z fotonů různých vlnových délek a i různých energií. (obr. 1.3) [6]



Obr. 1.3 Sluneční spektrum po průchodu vrstvou atmosféry (překresleno z [6])

2 Historie fotovoltaiky

Slovo fotovoltaika vzniklo složením z řeckých slov photo – světlo a voltaika – od jednotky elektrického napětí Volt. [7] Historie fotovoltaiky začala objevením fotoelektrického jevu. Tento jev prezentoval francouzský fyzik Alexander Edmond Becquerel (1820 – 1891) na francouzské Akademii věd, kde při experimentu v roce 1839 ponořil kovové elektrody do elektrolytu a vlivem osvětlení mezi elektrody se objevil malý procházející proud, který závisel na intenzitě osvětlení. [4, 8, 9] Jako objevitel někdy bývá uváděn jeho otec Antoine César Becquerel. Důvodem mohl být nízký věk jeho 19letého syna Alexandra. [4]

První náznak fotovoltaického článku (nešlo o elektrolyt) vznikl za pomoci polovodičového selenu a kovové platiny v roce 1876. [8] Knižní publikace uvádí rok 1877. [9] Tento jev vytvořili William Grylls Adams a jeho žák Richard Evans Day. Oproti experimentu s elektrolytem vzniklo elektrické napětí bez působení vnějšího elektrického

pole. Vzniklo pouze působením světla. Dalším vynálezcem, který se zabýval fotovoltaikou, byl Charles Fritts. V roce 1883 vyrobil fotovoltaický článek o velikosti 30 cm² pomocí selenu. Účinnost nepřesáhla 1 %. [8, 9]

Důležitým faktorem v rozvoji moderní fotovoltaiky byla příprava monokrystalů křemíku. Vývojářem se stal Jan Czochralsky. Výrobce fotovoltaických článků z křemíku byl Russell Shoemaker Ohl v roce 1940. Zjistil, že PN přechod na bázi křemíku při osvětlení vyrábí proud. Objev si nechal patentovat v roce 1946 v USA. První fotovoltaický článek vyrobili v Bellových laboratořích. Článek měl účinnost kolem 6 %. Tato účinnost se dala využít v praxi. Pořizovací cena byla příliš vysoká, protože křemík musel být velmi čistý. [8, 9]

Jako zdroj energie se začaly fotovoltaické články používat v roce 1958 (knižní publikace 1957 [9]) pro napájení kosmických družic. [8] Cena nehrála roli, protože to byla jediná cesta, jak napájet družice. Tento typ napájení se používá dodnes. Na naší planetě našly uplatnění fotovoltaické články až po ropné krizi v 70. letech 20. století, kdy cena klesla. Ze začátku se články používaly v omezeném množství. Zejména na napájení navigačních světel nebo na zabezpečovací zařízení v místech bez elektrické energie. Od této doby se rozvoj fotovoltaiky zvedl a začaly výzkumy nových technologií. Vzniklo vydatné rozšiřování křemíkových součástek, a proto docházelo k poklesu cen za čistý křemík. Rázem stoupla účinnost a životnost fotovoltaických článků a zároveň klesla energetická náročnost na výrobu panelu tak, že panel vyprodukuje mnohonásobně více energie za dobu provozu, než bylo spotřebováno na jeho výrobu. [8, 9]

Světový trh s fotovoltaikou vzrostl o 42 % od roku 2004 do roku 2005. Na růstu má největší podíl Japonsko a Německo. Množství prodaného křemíku v roce 2005 se vyšplhalo na 11 tisíc tun pro výrobu fotovoltaických článků. Vývoj fotovoltaiky se táhl desítky let, ale významné milníky zažívá v posledních 20 letech. [9]

Solární boom ve světě, ale i v ČR, se objevil hlavně na přelomu roku 2009 a 2010. Postupem let se náklady na výrobu solárních elektráren snižovaly, ale výkupní ceny zůstaly vysoké. Tím, že se více instalovaly FVE (ale i vodní a větrné elektrárny) došlo ke zdražování elektřiny. *„Největší problém v oblasti podpory fotovoltaiky – ale platí to pro obnovitelné zdroje obecně – byla dle mého názoru nevhodně nastavená legislativa,*

respektive nepružnost při provádění nezbytných úprav legislativy v letech 2008 a 2009.[10]“(analytik Václav Járka z poradenské společnosti ENA) Přehled cen a instalovaných výkonů v ČR jsou v následující tabulce. (tab. 2.1) Nejvyšší ceny odkupů byly v roce 2006 a 2007. [10]

Rok	Instalovaný výkon v ČR [MW]	Meze instalovaného výkonu [kW]	Výkupní cena za MWh [Kč]	Zelený bonus za MWh [Kč]
2005	Téměř nula	-	7 273	6 343
2006	0,2	-	15 260	14 330
2007	3,4	-	15 260	14 330
2008	39,5	-	14 882	13 952
2009	464,6	<30/30<	13 964/13 862	13 414/12 932
2010	1959,1	<30/30<	13 005/12 903	12 455/11 973
2011	1971	<30/30 -100/100<	7 803/6 141/5 723	7 253/5 211/4 793
2012	2086	<30	6 284	5 734
Do června 2013	2132,2 [11]	<5/5<30	3 410/2 830	2 860/2 280
Do prosince 2013		<5/5<30	2 990/2 430	2 440/1 880

Tab. 2.1 Přehled instalovaných výkonů a výkupních cen v ČR od roku 2005 (překresleno z [10])

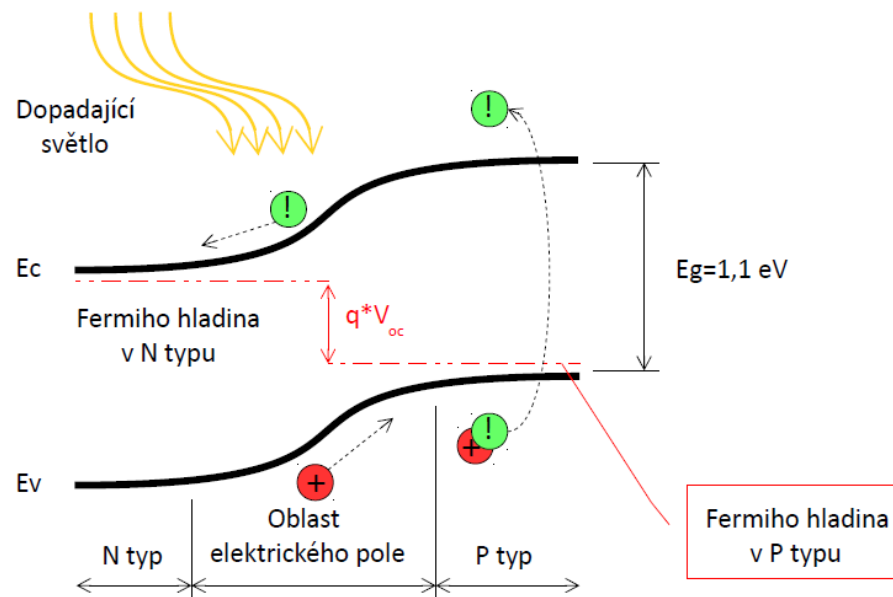
3 Fotovoltaický článek

3.1 Foton

Foton (světelné kvantum) je nejmenší energetické množství elektromagnetického záření. Důležitým požadavkem na FV článek je pohltit foton a co nejlépe využít jeho energii. Pokud dopadá na křemík foton o energii menší než 1,1 eV, tak projde křemíkem a není pohlcen (absorbován). Když je energie fotonu větší než 1,1 eV, pak je foton pohlcen a v polovodiči vzniknou volné nosiče náboje - záporný elektron a kladná díra. Musí být však splněna podmínka a to, že energie fotonu odpovídá šířce tzv. zakázaného pásma E_g a tedy pohlcující hraně křemíku (vyznačení absorpční hrany také na obr. 1.3). (obr. 3.1) Platí pro to rovnice (3.1),

$$E_g = E_c - E_v \quad (3.1)$$

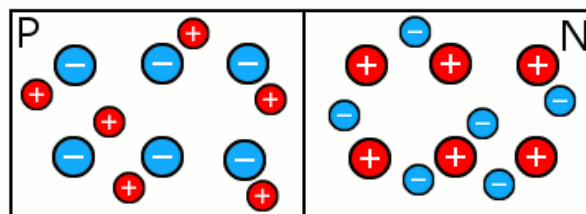
kde znamená E_g – zakázané pásmo, E_c – vodivostní pásmo a E_v – valenční pásmo. [12]



Obr. 3.1 PN přechod s dopadajícím světlem (překresleno z [6])

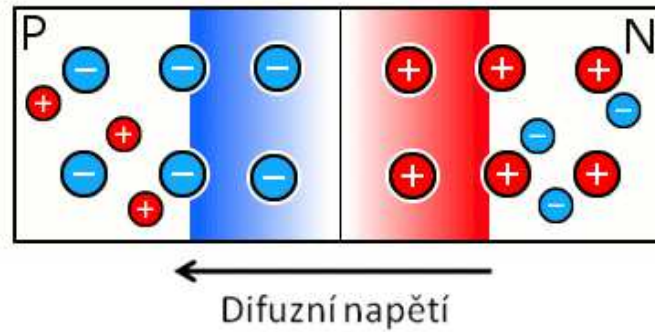
3.2 Princip FV článku

FV článek se skládá z polovodičového materiálu. Ve většině případů z křemíku. [4] Fotovoltaický článek se dá nazvat jako velkoplošná dioda alespoň s jedním PN přechodem. V článku sousedí dvě elektricky odlišně dotované polovodičové oblasti. Dotování zapříčiní odlišnou vodivost oblastí. Dotovaný prvek změní elektrickou vodivost křemíku a jeho vlastnosti. Křemík se cíleně „znečistí“. Kladně dotovaná oblast (P) přijímá volný elektron od záporné oblasti (N). Příměs v polovodiči typu P se nazývá akceptor (např. bor) a v polovodiči typu N se nazývá donor (např. fosfor). V oblasti typu P se vyskytují jako majoritní nosiče díry a minoritní nosiče elektrony, resp. u typu N je to naopak. Mezi kladně dotovanou (P) a záporně dotovanou (N) oblastí vznikne elektrické pole. (obr. 3.2) [13]



Obr. 3.2 PN přechod před difuzí (převzato z [13])

Je to způsobeno tím, že dochází k prolínání (difuze) nadbytečných elektronů z polovodiče typu N do polovodiče typu P na místě PN přechodu. Vznikne oblast s malým počtem volných nosičů náboje. Tato vrstva se nazývá vrstva prostorového náboje, neboli hradlová (vyprázdňená) vrstva. (obr. 3.3) [4, 13]

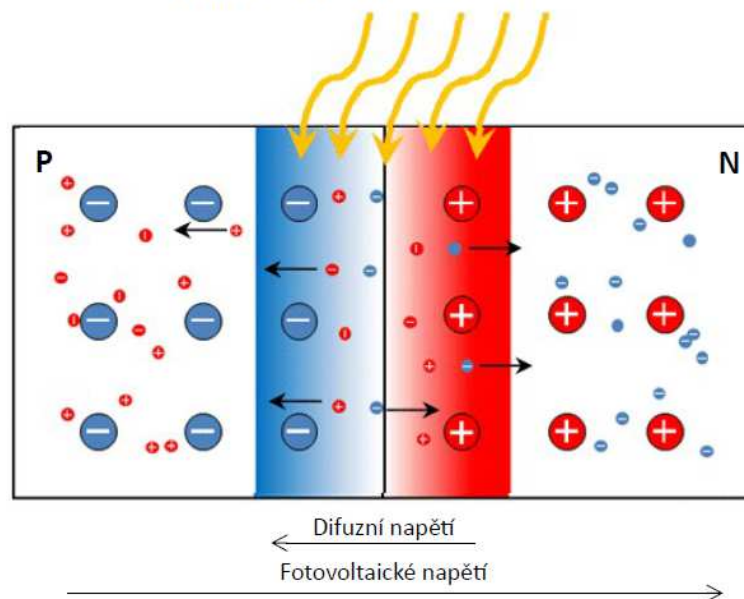


Obr. 3.3 PN přechod po difuzi (převzato z [13])

V oblasti typu N zůstávají prostorové náboje kladné polarity a v oblasti typu P náboje záporné polarity. Tím vzniká elektrické pole, které je orientováno proti směru pohybu nosičů náboje, takže prolínání (difuze) elektronů nemůže pokračovat donekonečna. [4, 13]

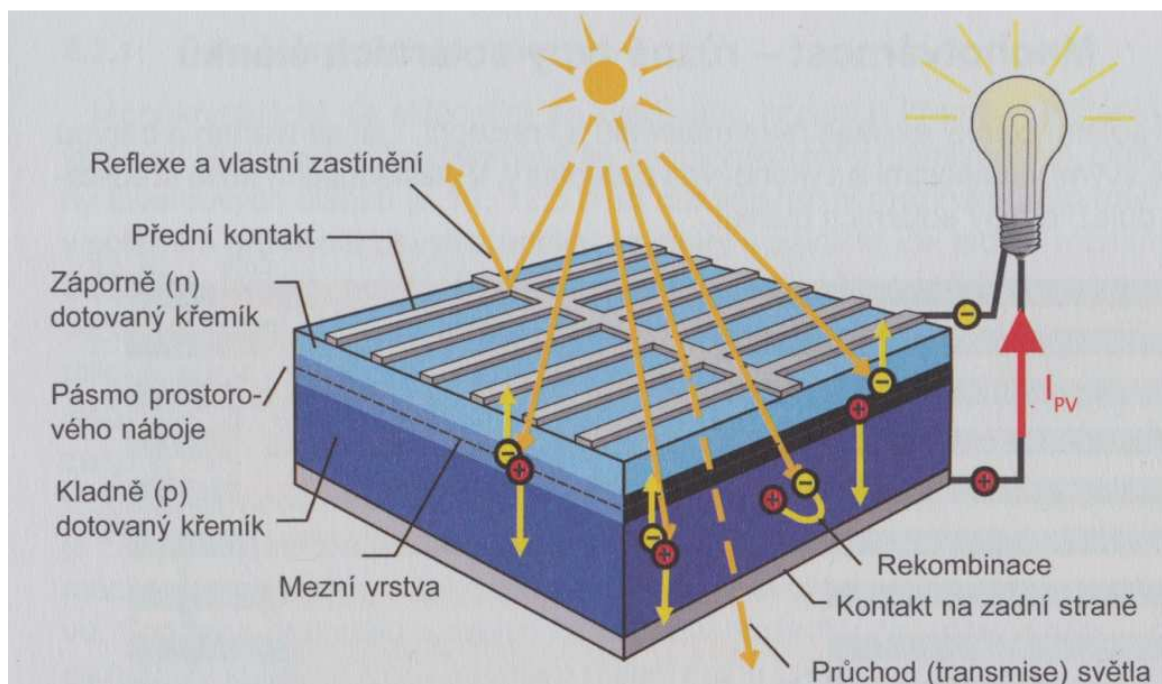
Při dopadu světla na FV článek, dokáže zářivá energie fotonů uvolnit elektrony v atomové mřížce. Fotony se při uvolnění elektronů pohltí (absorbují). Uvolněné záporně nabitě náboje, tzv. elektrony, se volně pohybují. [4] Zanechají po sobě kladné náboje, tzv. díry a oba náboje tvoří párovou dvojici. Elektrony a díry jsou odděleny (separovány) elektrickým polem PN přechodu. Rozdělení náboje má za následek napěťový rozdíl mezi předním (-) a zadním (+) kontaktem. [12] Vnitřní elektrické pole fotovoltaického článku způsobí, že jsou oba náboje přitahovány do opačných směrů. Záporné náboje putují k přední straně kontaktu a kladné náboje k zadní straně kontaktu. (obr. 3.4) [4, 12]

PN přechod s dopadajícím světlem



Obr. 3.4 PN přechod s dopadajícím světlem (překresleno z [14])

Důsledkem opačných polarit kontaktů vzniká mezi nimi rozdíl potenciálů. Potenciál lze naměřit jako elektrické napětí. Hodnota napětí naprázdno FV článků se pohybuje v rozmezí 0,5 V až 0,7 V. Pokud se uzavře elektrický obvod, teče přes spotřebič stejnosměrný elektrický proud. (obr. 3.5) [4] Proud je přímo úměrný ploše fotovoltaického článku a intenzitě dopadajícího světla. Některé elektrony mezi sebou rekombinují. Rekombinací se nazývá spojení volného elektronu s atomem, kterému chybí vnější elektron. [12] Elektrony, které rekombinují, se nepodílí na průchodu elektrického proudu. [4, 12]



Obr. 3.5 Konstrukce a přeměna energie v krystalickém křemíkovém FV článku (převzato z [4])


Napětí v rozmezí 0,5 V až 0,7 V je příliš nízká hodnota pro běžné využití. Proto se zapojuje více článků do sériového zapojení a tím získáme větší napětí pro různé typy FV systémů. [12] Při potřebě zisku většího proudu se preferuje spíše paralelní zapojení. Standardně se používají sestavy pro získání jmenovitého provozního napětí 12 V (24 V) kvůli dobíjení 12voltových baterií. Pro napájení ze sítě přes střídač je požadováno vyšší napětí. [15] Fotovoltaické články jsou velice citlivé a snadno se rozbijí. Vytvořené sestavy článků jsou hermeticky uzavřeny ve struktuře krycích materiálů výsledného FV panelu. [12, 15]

3.3 Struktura a vrstvy FV článku

Krystalické články dominují na trhu fotovoltaických článků s 86 %. Základem krystalických fotovoltaických článků jsou dvě rozdílně dotované křemíkové vrstvy. Strana směřující ke Slunci (přední) je záporně dotovaná fosforem. Druhá strana (zadní) je kladně dotovaná bórem. Na obou stranách se nachází kovové kontakty, aby se mohl z FV článku odebírat proud. Přední strana musí co nejlépe propouštět sluneční paprsky. Proto se kontakty skládají z tenké mřížky. Naopak druhá strana nemusí propouštět světlo, proto se nechává dělat celoplošně. Na této straně se umístí kontakt pomocí hliníkové nebo stříbrné pasty za pomoci sítotisku. Na povrchu článku se umísťuje titanová antireflexní vrstva, aby se co nejméně odrážely sluneční paprsky. Proto mají panely tmavomodrou až černou barvu. Většinou se jedná o tlustovrstvé články. I přesto se nějaké paprsky odrazí a zastaví o kontakty (3 %) nebo dojde k rekombinaci fotonu (8 %). Nejvíce energie se ztrácí u krátkovlnného (30,5 %) a dlouhovlnného (22 %) záření, které FV článek nepohlítí. Článek využije jen část světelného spektra. Ztráty nastávají i u spádu potenciálu v pásmu prostorového náboje (20 %). Další nežádoucí vlastností je přeměna energie na teplo (0,5 %). Využitelnost elektrické energie se pohybuje kolem 16 %. [4, 16]

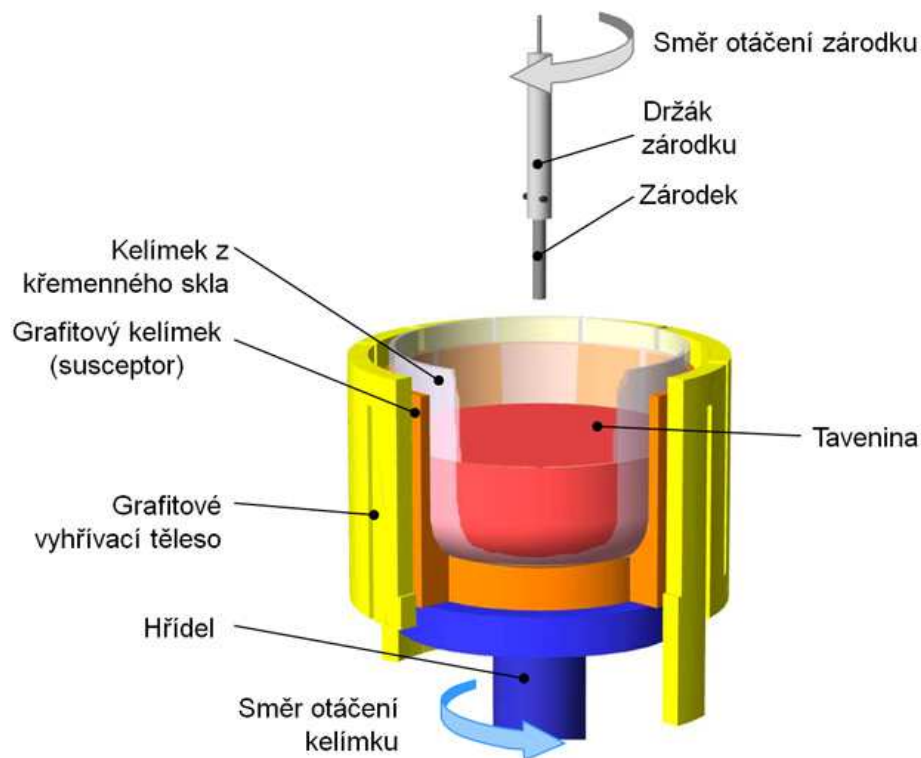
3.4 Křemík (Si)

Jako polovodičový materiál se používá převážně křemík. (obr. 3.6) Je to materiál, který je po kyslíku druhým nejrozšířenějším prvkem na Zemi. [4] V tabulce (tab. 3.1) jsou vypsány technické parametry a vlastnosti křemíku a na obrázku (obr. 3.7) je zobrazen jeho proces výroby.

	Technické parametry		Vlastnosti
		Chemická značka	Si
	Zařazení	Polovodič	Křehký
	Teplota tání	1 410 °C	Nejedovatý
	Teplota varu	3 265 °C	Vysoká afinita – redukování kovů
	Hustota	2,33 g/cm ³	
	Elektronegativita	1,8	
	Tepelná vodivost	149 W/m*K	
	Elektrická vodivost	4*10 ² S/m	

Obr. 3.6 Křemík (převzato z [17])

Tab. 3.1 Technické parametry a vlastnosti křemíku [18]



Obr. 3.7 Proces výroby křemíku (převzato z [19])

V elektronice je známým a vyzkoušeným materiálem. Taví se z křemičitého písku při vysokých teplotách. Po vyčištění chemickými procesy je nezbytné, aby křemík dosahoval téměř dokonalé čistoty alespoň 99,9999999 % [19]. Zpracovává se různými způsoby na monokrystalické a polykrystalické fotovoltaické články. [4]

Mezi další polovodičové materiály patří, např. galium, arsenid, sulfidy a telluridy kadmia, selenid mědi a india atd. [16]

3.5 Výroba nejčastějších typů křemíkových článků

3.5.1 Monokrystalické články

Monokrystalické články jsou nejstarší typy fotovoltaických článků. Jak už název vypovídá, je složen z jednoho krystalu. Rozměr krystalu ve tvaru čtverce je 10 cm, 12,5 cm a 15 cm. Při výrobě monokrystalického krystalu se používá proces tzv. Czochralského metoda. Nechají se roztavit kusy velmi čistého křemíku a do taveniny o teplotě cca 1 415 °C - 1 420 °C se ponoří zárodek krystalu. Pomalým tažením a otáčením podél podélné osy zárodku z taveniny vytahujeme monokrystalickou tyč o velikosti až

do průměru 30 cm a délky několika metrů. Tyč se nazývá ingot. Kulatý ingot se zařízne na čtvercový průřez a poté se řeže speciálními pilami na tenké plátky o tloušťce cca 0,25 mm – 0,35 mm. Lze vyrobit i 0,1 mm. Plátky se vyleští a odleptají se z nich nečistoty. Na plátky, které jsou již dotovány příměsí typu P, se napaří tenká vrstvička fosforu. Dále se přidá antireflexní vrstva, a tím jsou kontakty a vrstvy článku kompletní. Účinnost monokrystalického křemíku je kolem 20 %. Proces výroby je energeticky a technologicky nákladný. Další alternativou je tažení pásku rovnou z taveniny, díky čemuž se dá pásek snadněji rozřezat. Účinnost páskového článku je o něco nižší než u článku složeného z ingotů. [2, 4, 9, 20]

3.5.2 Polykrystalické články

Polykrystalické články se rozpoznají podle odlišně modře zbarvených krystalů. Tvar je opět čtverec. Rozměry čtverců s délkou hran jsou asi 10 cm, 12,5 cm, 15 cm, 15,6 cm a 21 cm. Výroba je jednodušší než u monokrystalických. Materiál se roztaví na teplotu 1 500 °C a nalije do formy. Chladnutí se nesmí uspěchat, aby vznikla co největší monokrystalická zrna. Hranice zrn tvoří pro elektrony potenciální bariéry, které se minimalizují. Kvůli bariérám má tento materiál horší elektrické vlastnosti. Bloky se nařezou na tyče a ty pak na plátky. Odpadu je méně než u předchozích článků. Zbylé vrstvy se dodávají stejně jako u monokrystalického článku. Účinnost se pohybuje v rozmezí 13 % až 16 %. [2, 4, 9, 20]

3.5.3 Amorfni křemíkové články

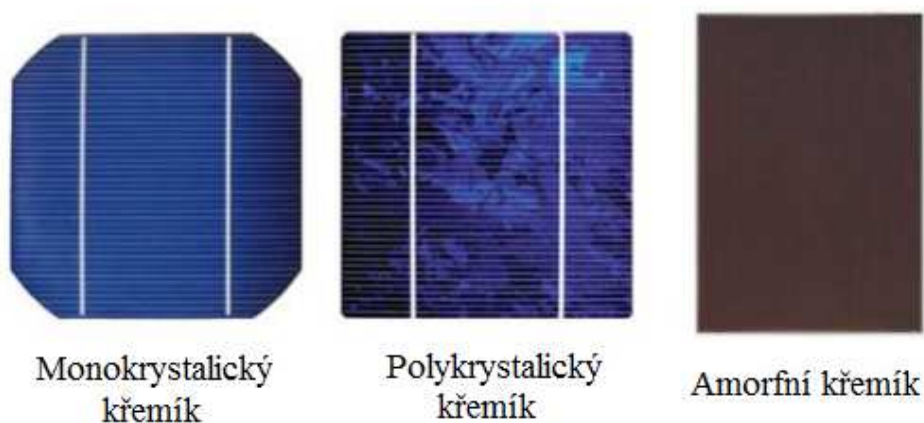
Největší výhodou amorfni článků je nízká spotřeba materiálu. Články jsou proto levnější ve velkosériové výrobě. Proces výroby je založen na chemickém odlučování při 200 °C. Jedná se o tenkovrstvou technologii. Vnitřní struktura je bez krystalové mřížky. Tyto články mají specifický PN přechod oproti předchozím typům. Přední vrstva s vodivostí P je velmi tenká a zachytí jen málo fotonů. Pod ní je další vrstvička, která není dotovaná a značí se I. Uvnitř dochází k pohlcení slunečního záření a PN přechod vytváří elektrické pole, které uvolněné nosiče náboje odděluje. Tato struktura se nazývá PIN. V 21. století se nejvíce používá v kapesních počítačích, hodinkách, kapesních svítilnách atd. Oproti krystalickému křemíku je náchylnější na poruchy z důvodu nepravidelné struktury. Amorfni články mají nízkou účinnost v důsledku stárnutí, které je vyvolané světlem a jeho spektrálními složkami – UV nebo IR. Účinnost se pohybuje kolem 7 %.

Větší účinnosti lze dosáhnout vícevrstvou strukturou. FV články lze vyrobit velmi tenké a ohebné. [4, 9, 20]

Shrnutí obvyklých účinností a hodnot naměřených v laboratořích jednotlivých typů křemíkových fotovoltaických článků je v tabulce. (tab. 3.2) Pro porovnání jsou zobrazeny na obrázku křemíkové fotovoltaické články. (obr. 3.8)

Typ křemíku	Obvyklá účinnost [%]	Max. účinnost dosažená v laboratoři [%]
Monokrystalický	14 až 17	25
Polykrystalický	13 až 16	20
Amorfní	5 až 7	12

Tab. 3.2 Účinnosti jednotlivých typů křemíkových článků (vlastní zdroj)



Obr. 3.8 Typy krystalických článků (upraveno z [21])

3.6 Další typy FV článků

3.6.1 Galium arsenid (arsenid galitý, GaAs)

Monokrystalické tenkovrstvé články, které lze vyrobit s odlišnými vlastnostmi. Dá se měnit poměr Ga/As a použít doplňující prvky (Al, P, Sb, In). Galium je málo se vyskytující kov a arsen je dosti jedovatý prvek. Účinnost je vyšší než u křemíkových struktur. [4]

3.6.2 Mikromorfní fotovoltaické články (μ -Si a A-Si)

Mikromorfní článek je kombinací monokrystalického a amorfního křemíku v tandemových člancích. Vrstvy se při výrobě strukturují. Vzniknou povrchové struktury pyramidového tvaru a dosáhne se lepších optických a elektrických vlastností než u hladké struktury. [4]

3.6.3 Diselenid mědi a india (CuInSe_2 , CIS)

Díky své vysoké absorptivitě slunečního záření mohou být velmi tenké. Dosahuje vysoké účinnosti (v laboratoři až 18 %). Existují i varianty s obsahem galia – diselenid mědi, india a galia (Cu(InGa)Se_2). Výroba není tolik nákladná. [4]

3.6.4 Telurid kadmia (CdTe)

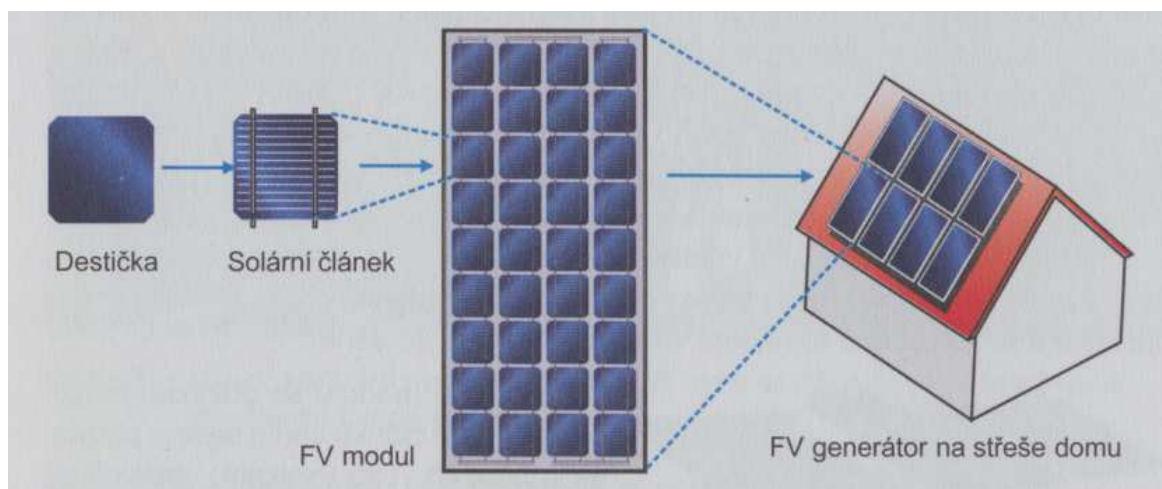
Za běžných podmínek není lepší než křemíkový článek. Podobně jako u CIS nejsou náklady na výrobu příliš vysoké. [4]

3.6.5 Články z organických látek

Vývoj je zaměřený u organických článků na nízké pořizovací náklady. Dále také na pružnost a ohebnost článků. V oboru fotovoltaiky jdou tyto články relativně málo využít. [4]

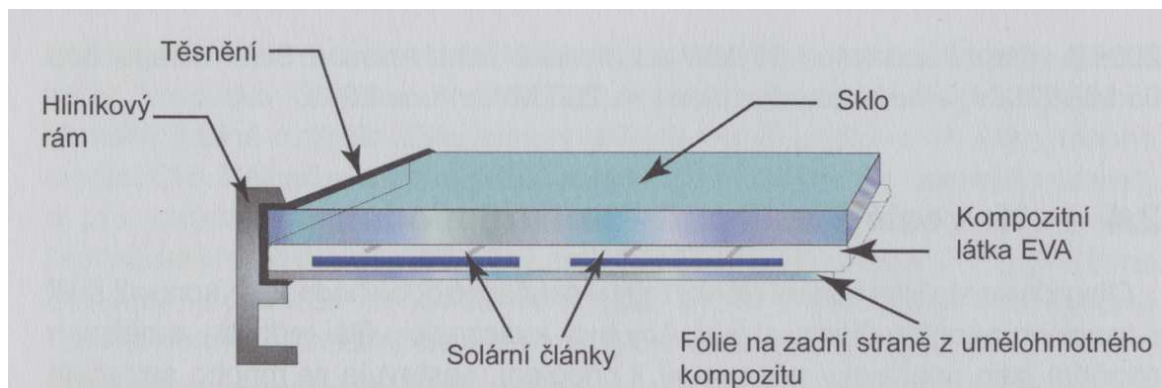
4 Fotovoltaický panel

Obvyklé krystalické FV články mají výkon okolo 4 W s napětím přibližně 0,5 V. Pro praktické využití se články spojují k sobě většinou sériovou kombinací. Zapojují se do jedné (za sebou) nebo do dvou větví. Přední kontakty (záporný pól) prvního článku se pájí se zadními kontakty (kladný pól) druhého článku. Tento proces se opakuje na další články. Moderní továrny využívají plně automatické pájení. Spojeným článkům se říká fotovoltaický panel (modul). (obr. 4.1) [4]



Obr. 4.1 Od křemíkové destičky až po FV generátor (převzato z [4])

Panel je složen z (36, 48, 54, 60 nebo 72) článků. Obvykle se vytvoří 4 až 8 řad článků, které se zapustí oboustranně do kompozitní látky EVA nebo silikonových zalévacích hmot. Celé se to zapouzdří mezi skleněnou destičku na přední straně a umělohmotnou fólií na zadní straně. Působením tepla (asi 100 °C) a tlaku se články se sklem a fólií spečou a tím se články chrání před povětrnostními vlivy, vlhkostí a zlomením. Panel by neměly narušit ani kroupy o velikosti 2,5 cm. Na kraje se přidělá těsnění (pryž, silikon) a hliníkový nebo nerezový rám, který se použije i k montáži. (obr. 4.2) [4, 15, 21, 22]



Obr. 4.2 Konstrukce standardního panelu (převzato z [4])

Místo předního skla je možné použít průhlednou fólii (fólie-fólie). Fotovoltaické články jsou umístěny mezi dvě fólie. Další způsob je vložení článku mezi akrylové nebo teflonové vrstvy. Z toho vzniknou ohebné panely. Na zadní straně se někdy používá i kov místo umělohmotné fólie (fólie-kov). [4]

Na zadní fólii se vytvoří otvor pro vývody větví článků. Na místě průchodu se přilepí připojovací svorkovnice. [4]

4.1 EVA

Jedná se o etylen-vinyl-acetát. Tato kompozitní fólie je průhledná a elektricky izoluje. Někdy se místo EVA používá zalévací pryskyřice nebo silikonová zalévací hmota, protože EVA nemusí dobře těsnit při laminaci a vyskytnou se malé oděrky. [4, 22]

4.2 Sklo

Přední sklo se používá tvrzené a kalené. Tento typ skla obsahuje malé množství oxidu železa, a proto je prostupné pro sluneční paprsky. Výška skla se pohybuje

mezi 2 mm až 4 mm. Používají se i barevná skla pro lepší barevné efekty. Někdy se používá i sklo na zadní straně. Potom se hovoří o dvojitých skleněných panelech (sklo-sklo). Pokud je fólie na zadní straně místo skla, získá se levnější a lehčí varianta. Tomuto typu se říká sklo-fólie. [4, 15]

4.3 Zadní umělohmotná fólie

Nejčastější materiál pro umělohmotnou fólii na zadní straně je Tedlar, Kynar nebo Halar [23]. Fólie je převážně neprůhledná. Z hlediska vzhledu se dají použít barvy jako je nejčastěji bílá, dále pak šedá a modrá. U průhledných fólií dochází k průniku slunečních paprsků mezičlánkovými prostory do prostoru za nimi. Pak je panel poloprůhledný. [4, 21]

4.4 Připojovací svorkovnice

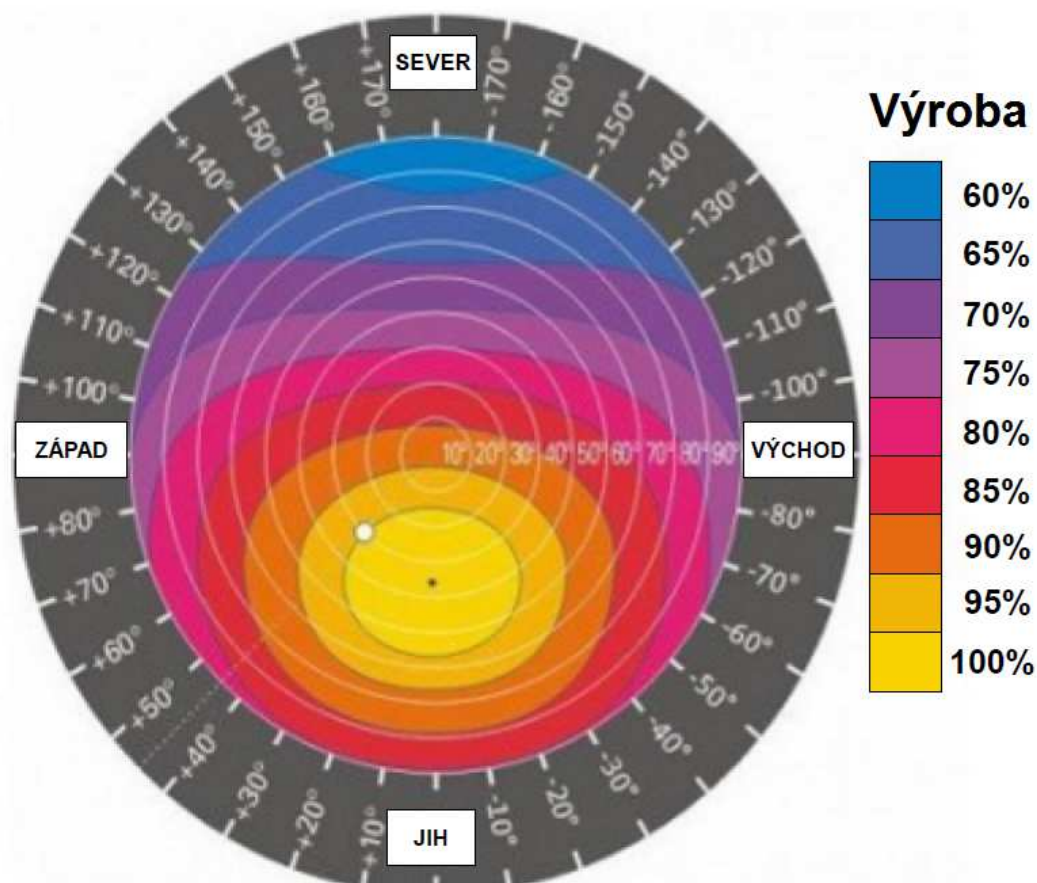
Svorkovnice tvoří pouzdro pro vývody a lze lépe propojovat více panelů. Je vyrobená z umělé hmoty, odolná proti UV záření a obsahuje obtokové diody, které zastíněné články odpojí v případě jejich zastínění. V případě poškození dokážou diody přemostit dotčené články, a tím zabránit vadám. Aby byla svorkovnice odolná povětrnostním podmínkám a vlhkosti, musí mít stupeň ochrany krytu nejméně IP 54. První číslo značí hodnotu stupně ochrany proti pevným částem a druhé číslo značí hodnotu stupně ochrany proti vlhkosti. Nejvyšší ochrana je IP 68. Dále svorkovnice musí být izolována podle třídy ochrany II. Tato třída určuje, že zařízení nemá ochrannou svorku a riziko úrazu elektrickým proudem je eliminováno dvojitou nebo zesílenou izolací. Panely se dodávají s připojovacím vedením a s konektory zabezpečenými proti přepólování a dotyku. Nemusí se kvůli tomu otvírat svorkovnice panelu. [4, 15, 22, 24]

4.5 Životnost panelu

Životnost FV panelů se pohybuje v rozmezí 25 let až 35 let. Během svého provozu klesá účinnost panelu ročně o přibližně 0,3 %. Výnosy to však výrazně neovlivní. Obvyklé hodnoty účinnosti panelu jsou na 90 % po 12 letech. Po 25 letech dosahuje účinnost nad 80 %. Panely jsou bezúdržbové, ale někdy by se ale měly panely zkontrolovat, jestli nejsou znečištěny (sněh, listí, prach anebo pyl). Panely se dají očistit proudem vody. Nikdy se však nesmějí čistit škrabkou, neboť by se mohla poškodit přední vrstva, a tím by mohl klesnout výkon celého systému. [21]

4.6 Umístění FVE

Nedílnou součástí je také správné umístění FV panelů. Optimálním umístěním systému se rozumí správný sklon a orientace, která zajistí maximální výkon. U nás v České republice se jedná o sklon 35° a orientace je na jižní světovou stranu. Odchyly směřující na západní stranu jsou výhodnější než na jihovýchodní. Je to dáno dopoledními hodinami, kdy je obvykle zataženo a energie slunečního záření není tak silná. Pokud jsou orientace a sklon jiné, není výnosnost ekonomicky nejvyšší. Následující diagram (obr. 4.3) vykresluje vliv na umístění FVE. Černý bod znázorňuje nejvyšší výrobu, tedy 100 %. Jednotlivé barvy zobrazují pokles výroby o 5 %. Bílé kruhy znázorňují sklon ve stupních a šedý pruh ukazuje světovou stranu také ve stupních. Pro modelový příklad je vyznačen v grafu bílý kroužek (30° sklon a 45° JZ = 95 % výroby). [21, 25]



Obr. 4.3 Diagram vlivu sklonu a orientace FVE (upraveno z [21])

Existují i systémy, které se naklání pro maximální dopad slunečního záření. Takovým systémům se říká trackery (směrovače kopírující pohyb Slunce – jednoosé zvýší výnos proudu o 20 % a dvouosé o 30 % oproti pevně usazeným panelům [26]). Na šikmé střechy

je nelze použít. Musí se dbát také na důležité faktory nechtěného zastínění FVE. Zastínění může být např. od antény, bleskosvodu, sloupy, stromy, dráty elektrického vedení atd. Tyto nedokonalosti mohou ve výsledku sebrat až několik desítek procent celkového výkonu. Zastíněný panel nebo i článek se začne chovat jako odpor a tok elektrické energie se sníží. [21, 25]

FVE se dělí dle velikosti a typu instalace. Prvním typem je malá střešní FVE s výkonem v řádech pár kW. Rozeznávají se dva typy instalace, a to integrovaná do střešní krytiny a instalace v rovině střechy na hliníkové nosné konstrukci. Druhým typem jsou velké střešní FVE, které dosahují výkonů od stovek kW až do řádů MW. Tyto systémy jsou nainstalované na průmyslových halách. Posledním typem jsou volně stojící FVE. Jejich výkonnost je podobná velkým střešním systémům. Instalují se pevně spojené k zemi na volném prostranství. [21]

5 Komponenty k FVE

5.1 Kabely a vodiče

Propojovací vedení mezi jednotlivými částmi FVE (vedení ke střídači atd.) musí být propojeno tak, aby nedocházelo ke zkratům. Převážně se odděluje kladné a záporné vedení s dvojitou izolací. Nejpraktičtějšími a nejbezpečnějšími jsou jednožilové kabely s dvojitou izolací. Ve venkovních prostorech se používají kabely odolné proti UV záření a povětrnostním vlivům. Teplotní rozsah se pohybuje např. mezi $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vedení by se nemělo připevňovat ke střeše, ale ke konstrukci FV panelu v zastíněných místech. Při spojování je důležité dbát na polaritu vedení. Často se používají konektorová spojení mezi jednotlivými bloky. [4]

Mezi připojovací skříní elektrárny a střídačem protéká stejnosměrný (SS) proud. Klasickými kabely jsou s označením CYKY (NYM) [27] nebo NYY s PVC izolací [28]. S ohledem na životní prostředí by se měly používat kabely bez halogenů (NHMH-J) [29]. [4]

Určitě by se měla minimalizovat délka vedení. Také průřezy vodiče (obvykle 4 mm^2) by měly být naddimenzované tak, aby při jmenovitém provozním výkonu nepřesáhly ztráty

ve SS vedení 1 %. U velkých nebo hodně vzdálených systémů pak 2 %. Nesmí se zapomenout na dodržení napěťové pevnosti a proudovou zatížitelnost. [4]

Ve vedení od střídače přes elektroměr do rozvodné sítě protéká střídavý (ST) proud. U nízkonapěťových sítí (230 V) se používá u jednofázových střídačů třížilové vedení. U třífázových sítí (400 V) pak pětižilové vedení. Používají se opět kabely typu CYKY (NYM), NYY nebo na víc NYCW [30]. [4]

5.2 Ochranné prvky

5.2.1 Ochrana před chybovými proudy

Hlavní vypínač stejnosměrného proudu by se měl vyskytovat mezi FV generátorem a střídačem. Použije se za účelem poruchy nebo údržby. Vypínač se umísťuje převážně vedle střídače. [4]

Ochranný spínač vedení střídavého proudu zajišťuje odpojení při zkratu nebo přetížení. Po rozpojení vedení lze nadproudové ochranné zařízení opět zapnout do klidové polohy. Častěji se používají pro tento účel pojistky. Musí se dbát na správné pólování a směr toku energie. [4]

Proudový chránič sleduje protékající proud v přívodní a zpětné větvi elektrického obvodu. Zareaguje na změnu protékajících proudů. Chyba se vyskytne, pokud proud přeskočí na zemní vodič. Musí se použít chránič na stejnosměrný i střídavý proud. [4]

5.2.2 Ochrana před bleskem

FVE nezvyšuje ohrožení budovy bleskem. U větších elektráren s výkonem nad 10 kW se ochrana před bleskem vyžaduje. Požadavky směřují od spolku pojišťoven proti škodám. Eliminace rizik se musí provést s třídou ochrany před bleskem III. Třídy ochrany před bleskem určují zónu, ve které je definováno elektromagnetické prostředí. Hranice zón nemusí být hmotné hranice, např. stěny, podlaha nebo strop. Třída ochrany před bleskem III je pro rodinné domy. Celkem jsou 4 třídy ochrany. [4, 31]

Bleskosvodné zařízení slouží hlavně jako ochrana osob před přímým zásahem bleskem. U plochých střech s vysokým ohrožením bleskem musí být FVE vybavena

bleskosvodným zařízením. Někdy je zapotřebí osadit i bleskosvodné tyče. Důležitým faktorem je vzdálenost bleskosvodného vedení. Bleskosvodné tyče se někdy montují nad bleskosvodné vedení a vzdálenost se nemusí dodržet. Pracovník, který tyč nainstaluje, přebírá zodpovědnost. Funkčnost zařízení provede měřením uzemňovacího odporu. Tyč by neměla vrhat stín na FV panely. Stejnoseměrné vedení je potřeba umístit co nejdál od bleskosvodu. [4]

Ochrana pře přepětím chrání proti úderům blesku ve větší vzdálenosti, které vytváří přepětí v elektrických vedeních. Tato ochrana slouží pro všechna elektronická zařízení v budově. Také slouží jako ochrana proti spínacím dějům v rozvodné síti. Čím více je movitějších zařízení na nebo v budově, tak se využívá rozsáhlejší opatření. U fotovoltaických panelů s kovovými rámy mají o polovinu menší indukci přepětí než bez rámu. Pro nízkou indukci přepětí se oba vodiče vedení (+ i -) pokládají blízko u sebe. Svodiče přepětí se často instalují v přípojovací skříni generátoru. Ve střídačích už menší ochrana proti přepětí je v podání varistoru. U malých FVE je tato ochrana varistorem dostačující a u FVE nad 10 kW by se měly použít samostatné přepěťové ochrany. [4]

U FVE ohrožené bleskem se používají bleskojistky před i za střídačem a v přípojovací skříni generátoru. Existují bleskojistky s indikací poruchy nebo s dálkovým hlášením. Indukce do SS vedení lze eliminovat stíněním vodičů, které lze nahradit bleskojistkou s vysokým výbojovým proudem. [4]

V neposlední řadě se nesmí zapomenout na uzemnění, aby byla účinnost přepěťových ochran vysoká. Pro ochranu před bleskem musí být montážní systém připojen na systém vyrovnání potenciálů budovy. Rámy konstrukce se dobře vodivě spojí zemnicím vodičem. [4]

5.3 Invertor

FV elektrárny pracují se stejnosměrným proudem. Aby se mohlo s proudem dále pracovat v rozvodné síti, musí se SS proud přeměnit na ST proud. K tomu poslouží zařízení, které se nazývá invertor. Také se mu říká lidově střídač. Dokáže přizpůsobit i frekvenci a velikost napětí. Hodnota frekvence v Evropě je 50 Hz a velikost efektivní hodnoty napětí 230 V/400 V. Invertory s moderní výkonovou elektronikou vykazují jen

malé ztráty. Starším typem jsou invertory s (nf nebo vf) transformátorem, kde se vyskytují větší ztráty než u předchozího typu. U FVE do 5 kW nebo do plochy panelů cca 50 m² postačí připojit jednofázově, tedy na nízkonapěťovou síť 230 V. Větší FVE už se zapojují na tři fáze sítě. Ve většině invertorů už jsou zabudovaná některá ochranná zařízení, která jsem popsal v předchozí kapitole. [2, 4, 9, 21]

5.3.1 Účinnost

Aby invertor dodával do sítě maximální výkon, musí pracovat v bodě maximálního výkonu (MPP) fotovoltaické elektrárny. Vlivem odlišného ozáření a teploty panelů se výkon FVE mění. Moderní přístroje zachycují provozní data do paměti pro připojení k PC, dohlížení na stav sítě a mají displej pro rychlou kontrolu. Účinnost těchto přístrojů se pohybuje kolem 96 % (jiná publikace 95 %) při maximální zátěži FVE. Při částečném zatížení poklesne účinnost přibližně o 3 %. [4, 15, 21, 32]

5.3.2 Výhody a nevýhody invertorů podle konstrukce

	S transformátorem	Bez transformátoru
Výhody	<ul style="list-style-type: none"> • Ochrana osob galvanickým oddělením • Možnost ochranného malého napětí • Snížení elektromagnetické rušení 	<ul style="list-style-type: none"> • Vyšší účinnost • Menší hmotnost • Menší rozměry
Nevýhody	<ul style="list-style-type: none"> • Ztráty transformátoru • Vyšší hmotnost • Větší rozměry • O něco vyšší emise hluku 	<ul style="list-style-type: none"> • Nutné dodatečné ochranné prvky (SS proudový chránič) • Stínění částí pod napětím • Instalace podle třídy ochrany II • O něco vyšší elektromagnetické rušení

Tab. 5.1 Výhody a nevýhody invertorů s transformátorem a bez transformátoru (překresleno z [4])

5.4 Elektroměr

FVE musí být nahlášena místnímu provozovateli rozvodné sítě. Provozovatel sítě je zodpovědný za bezpečnost ve veřejné síti a je zavázán zajišťovat hladké elektrické propojení. Elektroměry se dají půjčit nebo přímo zakoupit, ale musí být schváleny provozovatelem sítě, proto je dobré si nechat elektroměr doporučit. V elektroměrné skříni je odběrový elektroměr pro napájení sítě a další prvky určené provozovatelem sítě. Dále se vybere druhý elektroměr, který zaznamenává vyrobenou energii z FVE. Buď se vejde

do stejné skříně, nebo se postaví vedle další. Existují i obousměrné elektroměry, které samozřejmě šetří místo. Pro připojení do sítě rozlišujeme 4 způsoby a jeden z nich se musí vybrat ještě před montáží. [4, 21] Typy připojení jsou popsány v následujících podkapitolách.

5.4.1 Přímý výkup

První způsob je připojení do sítě a prodej provozovateli sítě. Veškerá elektrická energie je dodávána do distribuční sítě. Provozovatel sítě odkupuje energii za tzv. výkupní cenu. Majitel nedostane na koupi nové FVE žádné bonusy. U tohoto způsobu se vyskytují dva elektroměry. Jeden je pro výrobu energie z FVE a druhý pro spotřebu elektrické energie z veřejné sítě. [21]

5.4.2 Nepřímý výkup

Druhý způsob je připojení do sítě, ale elektrická energie se neprodá přímo provozovateli sítě. Prodává se obchodníkovi s elektrickou energií. Tento způsob není příliš obvyklý a pro majitele FVE legislativně složitý. Všechna energie je dodávána obchodníkovi s elektřinou, který ji vykupuje za předem sjednanou cenu. Majitel opět nedostane žádné bonusy. Elektroměry jsou zde dva, stejně jako u přímého výkupu. [21]

5.4.3 Zelený bonus

Třetí způsob je tzv. Zelený bonus. Jedná se o připojení do stávajících rozvodů elektrické energie v objektu. Toto můžeme jednoduše popsat tak, že si převážnou vyrobenou elektrickou energii objekt spotřebuje sám. Přebytek je prodáván provozovateli sítě. Výkupní cena vyrobené kilowatt hodiny je sice nižší, ale ušetří se na vlastní spotřebě, která je pokryta elektřinou z FVE. Zeleným bonusem se rozumí finanční částka, která navyšuje tržní výkupní cenu. Je to zohlednění proti poškozování životního prostředí využitím FVE. Cena je nižší než kdyby provozovatel FVE odkoupil od provozovatele sítě přímo elektrickou energii, protože se jedná o nestabilní výrobu energie. V momentu produkce získá výrobce od provozovatele sítě tzv. Zelený bonus. Regulační úřad stanoví jeho výši tak, aby výrobce dostal za jednotku vyrobené elektřiny o něco nižší částku než u způsobu přímého výkupu. Tento způsob je upřednostňován u rodinných domů do výkonu 10 kW. Nemusí se zřizovat nové odběrové místo a přípojky elektrické energie. Elektroměry jsou zde také dva. Jeden je opět pro výrobu z FVE, druhý se liší tím, že je

čtyřkvadrantní. To znamená z pohledu majitele FVE, že elektroměr zaznamenává prodanou činnou (přebytek vyrobené energie z FVE) a jalovou energii, nakoupenou činnou energii, induktivní a kapacitní jalovou energii. [21]

5.4.4 Ostrovní systém

Poslední způsob využívá akumulátory pro ukládání vyrobené elektrické energie z FVE. Vyskytuje se v oblastech, kde není distribuční síť a vyrobená elektrická energie slouží pouze pro vlastní spotřebu. Elektroměr zde být nemusí. [21]

5.5 Monitorování a zaznamenávání výroby

Pro monitorování a zapisování hodnot výroby elektrické energie existuje hodně systémů. Některé systémy ukládají hodnoty do webových portálů a některé do paměti uvnitř měřicího přístroje. Převážně existují kombinace obojího. V dnešní době se dá kontrolovat výroba i přes mobilní aplikace. Hlavním důvodem používání těchto systémů je možnost dlouhodobě zaznamenávat hodnoty vyrobené energie. Mohou se porovnat roční, měsíční, denní, hodinové, ale také i desetiminutové intervaly výroby elektrické energie. Záleží na typu zařízení – WattRouteru. Hodnoty se zprůměrují podle časového intervalu, který se zvolí. Zařízení se dají koupit pro zapisování hodnot jako doplněk FVE nebo stačí přizpůsobit tomuto požadavku elektroměr připojený k veřejné síti. Varianta s elektroměrem je mnohem levnější. Doplnkové WattRoutery stojí i několik desítek tisíc korun za nákup měřicího zařízení a k tomu navíc se platí i paušálně provoz webového portálu. Cena je ovlivněna i počtem funkcí. Pro srovnání jsou v tabulce (tab. 5.2) náhodně vybrané portály s porovnáním pořizovacích cen WattRouterů.

Název portálu/společnosti	Doplňkové WattRoutery	Cena (bez DPH)
Solar Monitor	Ano	6 700 Kč – 17 500 Kč
Monitoring	Ano	15 400 Kč – 250 000 Kč
Solar Controls	Ano	4 200 Kč – 8 100 Kč
Portál naměřených dat ČEZ	Ne	0 Kč

Tab. 5.2 Porovnání cen WattRouterů [33–37]

Bližší informace o aplikaci „Portál naměřených dat ČEZ“ jsou zmíněny v další části práce.

6 Domácí FVE v Plzni 10 – Lhota

6.1 Umístění FVE

Monitorování FVE probíhalo na rodinném domě Pod Dubovkou E202/65 v městské části Plzně 10 – Lhota. (obr. 6.1) Instalace FV elektrárny se konala v říjnu 2012. V domě je síť 3x230 V/400 V v TN-C-S s rozdělením v podružném rozvaděči.



Obr. 6.1 Domácí FV elektrárna ve Lhotě

6.2 Popis FVE

Kompletní instalaci FVE provedla společnost Solarion CZ s.r.o. Celkový výkon solárních panelů FV elektrárny je 6 kWp. Zdrojem stejnosměrného elektrického napětí je 25 ks solárních panelů Canadian Solar CS6P-240 o výkonu 240 Wp v 1 skupině. Propojení panelů a stejnosměrné přívody ke střídači jsou provedeny Cu ohebnými vodiči, které jsou také odolné UV záření. Vzájemné propojení panelů je provedeno konektory třídy ochrany II., IP 67. Přívody od této soustavy jsou uloženy v ochranné trubce z PVC. Od soustavy panelů vedou čtyři jednožilové LAM SOLAR-R [38] kabely. Dva s kladným a dva se záporným pólem. Všechny čtyři kabely končí v DC rozvodnici osazené v přízemí domu. V této rozvodnici je také osazena přepětová ochrana. Z obou DC svodičů vedou opět dva jednožilové kabely LAM SOLAR-R s kladným resp. se záporným pólem, které končí v invertoru. Pro přeměnu stejnosměrného napětí solárních panelů na střídavé síťové

napětí slouží třífázový solární střídač Kostal Piko 5. 5., který je umístěn také v přízemí domů. Měření vyrobené elektrické energie dodávané do vnitřního domovního rozvodu je umístěno pod invertorem. Pro měření je použit třífázový úředně ocejchovaný elektroměr NERIS DVH5161-M pro dodávku elektrické energie. Vývod do domovního rozvodu z třífázového elektroměru je jištěn jističem 3x16 A v podružném rozvaděči elektroměru. Jistič zde vykonává funkci hlavního vypínače. Odtud je vyveden kabel CYKY 5x4 mm² do vhodného přípojného místa v domovním rozvodu. Domovní rozvod je proveden kabelem CYKY-J 5x2,5 mm² [39]. FVE se automaticky připojí k distribuční síti. Pokud dojde k výpadku napětí v distribuční síti, ihned dojde k automatickému odpojení FVE. Po odstranění poruchy v distribuční síti dojde po 20 minutách k automatickému připojení FVE za předpokladu bezporuchového chodu sítě po dobu 20 minut v toleranci nastavených hodnot ochrany invertoru. V elektroměrovém rozvaděči mimo pozemek je osazen čtyřkvadrantní elektroměr ITRON SL7000 pro měření energie, která přes něj jakýmkoli směrem projde. Elektroměr je vybaven GSM modemem. Blokované schéma elektrárny je v příloze D.

6.3 Budoucí recyklace

Tato FVE je zaregistrovaná ve sdružení REMA Systém, která se zabývá ekologickou likvidací elektroodpadu. Služby od této akciové společnosti jsou placené. V případě nefunkčnosti panelu nebo jiných komponentů firma přijede a ekologicky zlikviduje poškozenou část FVE. Za svého provozu elektrárna nevytváří žádné emise, tudíž provoz nenarušuje životní prostředí. Po skončení životnosti FVE se dají materiály prakticky beze zbytku recyklovat.

- hliníkové rámy, sklo
- solární články – křemík se při recyklaci zoxiduje na kysličník křemičitý, tedy na základní složku skla
- silové kabely, ochranné trubky, skříně a drobný montážní materiál – pro okolí chemicky a fyzicky neutrální a snadno se recyklují

6.4 Společnost Solarion CZ s.r.o.

Společnost Solarion CZ s.r.o. (obr. 6.2) se na trhu pohybuje od 21. září 2009. Jednatel společnosti je pan Petr Krauz. Společnost sídlí na adrese

Na Kovářské stráni 895/8, 326 00 Plzeň – Černice. Firmu tvoří 2 zaměstnanci. Nejsou dceřinou firmou společnosti Solarion DE GmbH. Tato firma nejvíce budovala FVE od roku 2009 do roku 2012, kdy byla instalace podporována státními dotacemi, a byly garantovány vysoké ceny odkupu energie. Celkem doposud nainstalovali 252 střešních FVE o výkonu od 3 kWp až do 30 kWp. Instalacemi na volném prostranství se nezabývají, protože se neztotožňují s těmito stavbami na volné ploše. Pro instalaci FVE používají převážně polykrystalické panely Canadian Solar a panely REC. Dále využívají invertory Power One od ABB nebo invertory Kostal Piko, v současné době rakouský Fronius.



Obr. 6.2 Logo společnosti Solarion CZ (upraveno z [40])


Mohou se pyšnit zhotovenými FVE na budovách OD Centrum Plzeň, Mrazírny Nekton – Jesenice u Prahy, Sportovní hala v Rokycanech, SOMAX PLUS – Litice, Bílovská zemědělská, ZD Březí – Meclovská zemědělská atd. Po úpadku zájmu o FVE firma neskončila a dále se zabývá také klimatizačními jednotkami a instalací tepelných čerpadel Daikin.

6.5 FV panely Canadian Solar CS6P-240

Kanadské solární polykrystalické mřížkové panely Canadian Solar CS6P-240 (obr. 6.3) jsou nainstalované na střeše domu. Jeden panel dosahuje výkonu 240 Wp a je složen z 60 solárních článků. Navržení a výrobní technologie panelu zajišťují vysokou a dlouhodobou výtěžnost. Garantují záruku výstupního výkonu po dobu 25 let. Za materiál panelů a jejich zpracování se zaručují po dobu 6 let. Tolerance výkonu jednotlivých panelů je ± 5 W (± 2 %). Panely byly testovány na mechanickou zátěž o hodnotě tlaku 5 400 Pa, aby vydržely v zimním období zatížení sněhem. Dále byly testované proti korozi. [41] Rámy všech FV panelů jsou vodivě spojeny s nosnou konstrukcí. Konstrukce je spojena s hromosvodovou soustavou. Veškerá informační data o panelech jsou vypsána v tabulce. (tab. 6.1)

Výkonnostní záruka FV panelů je 90 % jmenovitého výkonu po dobu 10 let. Poté jmenovitý výkon klesá na 80 %. FV panely neodebírají 100 % svého celkového

jmenovitého výkonu. Musely by se naklánět za sluncem a pohltit všechno sluneční záření a to stále nezaručuje 100 % výkon.

 <p>Obr. 6.3 Polykrystalické panely Canadian Solar CS6P-240</p>	Technické parametry panelů CS6P-240	
	Jmenovitý maximální výkon	240 W
	Provozní napětí při max. výkonu	30,4 V
	Provozní proud při max. výkonu	7,91 A
	Napětí naprázdno	37 V
	Zkratový proud	8,61 A
	Provozní teplota	-40 °C až +85 °C
	Stupeň ochrany krytu	IP 67
	Třída ochrany	II
	Maximální napětí	1 000 V (IEC) 600 V (UL)
	Maximální hodnota pojistky	15 A
	Tolerance výkonu	±5 W
	Mechanické parametry panelů CS6P-240	
	Počet článků v panelu	60 ks
	Sestavení článků v panelu	6 x 10
Rozměry (v x š x h) [mm]	1638 x 982 x 40	
Hmotnost	18,5 kg	
Materiál čelní strany	Tvrzené sklo	
Materiál rámu	Slitina hliníku	

Tab. 6.1 Technické a mechanické parametry solárních panelů Canadian Solar CS6P-240 [41]

Test technických parametrů byl prováděn při toku záření $1\,000\text{ W/m}^2$ a při teplotě 25 °C . [41]

6.6 Invertor Kostal Piko 5. 5

Solární invertor Kostal Piko 5. 5 (obr. 6.4) je třífázový měnič. Díky širokému rozpětí vstupů DC jsou uvnitř měniče nezávislé sledovače MPP, které zajišťují sledování maximálního bodu výkonu [32]. Na každý vstup DC je jeden sledovač MPP. Přeměna energie je bez použití transformátoru. Obsahuje integrovaný elektronický odpojovač DC, integrovaný spínací kontakt pro řízení vlastní spotřeby a další různá přípojovací rozhraní jako je např. ethernet, RS485 atd. Uvnitř je zabudovaná ústředna pro monitorování FVE na webovém portále. [42] Výbornou funkcí je také brzké sepnutí střídače při relativně nízké hodnotě výkonu panelů. Na přední straně je displej (obr. 6.5) pro zobrazení aktuálních hodnot a aktivní tlačítko pro přepínání hodnot v menu. Záruka invertoru je 5 let. Parametry invertoru jsou vypsány v tabulkách. (tab. 6.2 a tab. 6.3)

Technické parametry invertoru Kostal Piko 5. 5			
Vstupní část (DC)		Výstupní část (AC)	
Maximální výkon DC	5 800 W	Počet napájecích fází	3
Jmenovitý výkon DC	5 250 W	Síťové napětí	230 V / 400 V
Počet vstupů DC/MPP sledovač	3/3	Horní mez odpojení napětí	264,5 V (CZ)
Maximální vstupní napětí (naprázdno)	950 V	Dolní mez odpojení napětí	195,5 V (CZ)
Minimální vstupní napětí	180 V	Maximální výstupní proud	8 A
Vstupní jmenovité napětí	680 V	Jmenovitý výkon AC	5 000 W
Maximální napětí MPP při jmenovitém výkonu DC	850 V	Maximální výkon AC	5 500 W
Min. napětí MPP při jmenovitém výkonu DC se dvěma MPP	360 V	Maximální stupeň účinnosti	95,3 %
Min. napětí MPP při jmenovitém výkonu DC s jedním MPP	660 V	Evropský stupeň účinnosti	94,2 %
Maximální vstupní proud	9 A	Jmenovitá frekvence	50 Hz
Ochrana proti přepólování	Zkratové diody	Minimální síťová frekvence	49,5 Hz
		Maximální síťová frekvence	50,5 Hz
		Ztrátový výkon v noci	< 1 W
		Galvanická izolace	Bez transformátoru
		Třída ochrany	I
		Stupeň ochrany krytu	IP 55
		Maximální hlučnost	<33 dBA

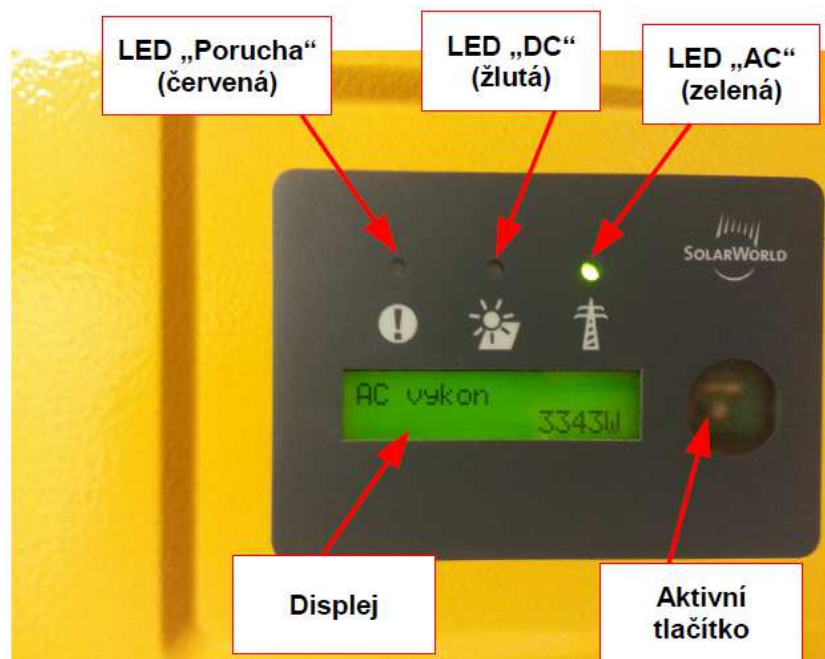
Tab. 6.2 Vstupní a výstupní technické parametry invertoru Kostal Piko 5. 5 [42]

Mechanické parametry invertoru Kostal Piko 5. 5	
Rozměry (v x š x h) [mm]	350 x 420 x 211
Hmotnost	21,1 kg
Okolní teplota	-20 °C až +60 °C
Maximální okolní teplota při jmenovitém výkonu	40 °C
Princip chlazení	Regulovaný ventilátor
Vlhkost vzduchu	0 % až 95 %

Tab. 6.3 Mechanické parametry invertoru Kostal Piko 5.5 [42]



Obr. 6.4 Solární inverter Kostal Piko 5.5

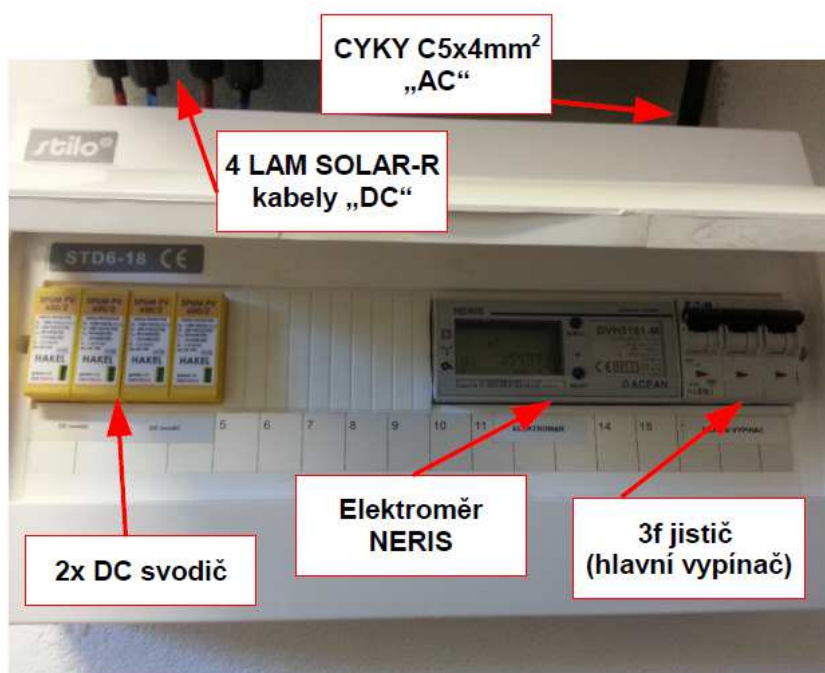


Obr. 6.5 Přední strana invertoru Kostal Piko 5.5

6.7 Elektroměry

6.7.1 Vnitřní elektroměr NERIS DVH5161-M

Elektroměr NERIS je úředně ocejchovaný. Nachází se v přízemí domu v 18 modulovém rozvaděči Stilo STD6-18 (obr. 6.6) se dvěma DC svodiči a třífázovým jističem (hlavním vypínačem).



Obr. 6.6 Rozvaděč Stilo STD6-18 s komponenty

Každý elektroměr má své výrobní číslo. Třífázový elektroměr NERIS DVH5161-M má výrobní číslo 12402124. (obr. 6.7) Na čelní straně je multifunkční LCD displej. Jedná se o dvoukvadrantní elektroměr, který měří činnou a jalovou odebranou energii v jednom směru. Je určen pro síť s napětím 3x230 V/400 V a pro přímé zapojení do 100 A s třídou přesností 1 % [43]. Elektroměr je také vybaven pasivním přijímačem impulzů typu S0, díky kterému lze získat informace o odběru energie. Rozhraní S0 je nejběžnější způsob jak připojit elektroměr k záznamovému zařízení [43, 44]. V rozvaděči elektroměr zabere místo 6 modulů. Základní parametry elektroměru jsou v následné tabulce. (tab. 6.4)

Technické a mechanické parametry elektroměru NERIS DVH5161-M			
Proudový rozsah	10 (100) A	Rozměry (š x v x h) [mm]	105,5 x 96,20 x 65,86
Nominální napětí	3x230 V/400 V	Stupeň ochrany krytu	IP 51
Vlastní spotřeba	<2 W/<5 VA	Provozní teplota	-25 °C až +55 °C
Frekvence	50 Hz/60 Hz	Skladovací teplota	-40 °C až +70 °C
Náběhový proud	40 mA	Maximální vlhkost	75 %

Tab. 6.4 Technické a mechanické parametry elektroměru NERIS DVH5161-M [43]




Obr. 6.7 Elektroměr NERIS DVH5161-M

Dále jsou v rozvodnici Stilo 2 DC svodiče a třífázový jistič. Jejich funkce a nejdůležitější parametry jsou shrnuty v pár větách v následujících odstavcích.

- **DC svodič Hakei SPUM 600/2 DC**

V rozvodnici jsou umístěny 2 páry Hakei SPUM 600/2 DC. (obr. 6.8) Slouží jako přepět'ová ochrana, která zajišťuje vyrovnaní potenciálů kladných a záporných pólů FVE a ničí přepětí vznikající při vývojech nebo spínacích procesech [45]. Uvnitř svodiče je varistor, který je opatřen odpojovačem, který se aktivuje při poruše (přehřátí) [45]. Jeden svodič zabere místo 2 modulů. Technické údaje jsou v tabulce. (tab. 6.5)


	Technické parametry svodiče Hakei SPUM 600/2 DC	
	Maximální pracovní napětí DC	600 V
	Provozní teplota	-40 °C až +80 °C
	Stupeň ochrany krytu	IP 20
	Třída ochrany	II
	Použití	Vnitřní

Obr. 6.8 DC svodič Hakei SPUM 600/2 DC

Tab. 6.5 Technické parametry svodiče Hakei SPUM 600/2 DC [45]

- **Jistič Moeller PL6-B16/3**

Tento třífázový jistič (obr. 6.9) zde plní funkci hlavního vypínače FVE. Na přední straně je signalizace zapnuto/vypnuto. Často se používá pro jištění světelných a zásuvkových obvodů s nízkými proudovými rázy [46]. Podstatou činnosti jističe je ochrana tepelným a elektromagnetickým vypínáním. U tepelného vypínání se rozepe kontakt vlivem průchodu zvýšeného proudu, při kterém se jistič ohřeje nad dovolenou teplotu. U elektromagnetického vypínání se rozepe kontakt vlivem náhlého zvýšení proudu. Technické parametry o jističi Moeller PL6-B16/3 jsou v tabulce. (tab. 6.6)

 <p>Obr. 6.9 Jistič Moeller PL6-B16/3</p>	Technické parametry jističe Moeller PL6-B16/3	
	Jmenovité napětí AC	230 V/400 V
	Jmenovité napětí DC	48 V
	Počet pólů	3
	Jmenovitý proud	16 A
	Stupeň ochrany krytu	IP 20
	Průřez vodiče	1 až 25 mm²
	Charakteristika	B

Tab. 6.6 Technické parametry jističe Moeller PL6-B16/3 [46]

6.7.2 Venkovní elektroměr ITRON SL7000

Třífázový multifunkční elektroměr ITRON SL7000 (obr. 6.10) byl dodán společností ČEZ Distribuční služby, s.r.o. Tento elektroměr je také vybaven GSM modulem a SIM kartou. Technické parametry jsou vypsány v tabulce. (tab. 6.8) Jedná se o čtyřkvadrantní elektroměr. Tento elektroměr byl dodán i kvůli nákupu elektrické energie v režimu nízkého a vysokého tarifu. Zvýhodněný nízký tarif je poskytnut na základě tepelného čerpadla. Ceny a časy tarifů pro rok 2015 jsou v tabulce. (tab. 6.7)

Program ČEZ	Platby	Nízký tarif	Vysoký tarif
DISTRIBUČNÍ SAZBA D 56d	Dodávka elektřiny	36,94 Kč/MWh	249,98 Kč/MWh
PRODUKT D Tepelné čerpadlo COMFORT	Silová elektřiny	1263 Kč/MWh	1313 Kč/MWh
	Časy tarifů (PO-NE)	10:00 – 12:00 13:00 – 9:00	9:00 – 10:00 12:00 – 13:00

Tab. 6.7 Pásma a programy tarifů ČEZ

Oba tarify jsou vyjednány s distributorem sítě. Dále elektroměr zaznamenává hodnoty přebytečné vyrobené energie z FVE, nakoupenou činnou energii, induktivní a kapacitní jalovou energii. Distributor musí odkoupit přebytečnou energii, kterou si domácnost sama nespotřebuje. Cílem je spotřebovat největší podíl vyrobené energie a minimum energie poslat do veřejné sítě. Pro připojení do sítě je využit tzv. Zelený bonus. Elektroměr zaznamenává data na Portál naměřených dat ČEZ, která byla využita pro měření a monitorování FVE. ČEZ poskytuje portál zdarma.

Technické parametry elektroměru ITRON SL7000		
	Rozsahy napětí	3x58 V/100 V až 3x240 V/415 V
Přímé připojení	Rozsahy proudu	5 A až 120 A
	Druh sítě	4 vodiče, funkční i třívodičové zapojení (bez středního vodiče)
Převodové připojení	Rozsahy proudu	1 A až 10 A
	Druh sítě	Tři a čtyřvodičové plně nastavitelné zapojení
	Počet fází	3
	Frekvence	50 Hz/60 Hz
	Rozměry (v x š x h) [mm]	358 x 180 x 85
	Provozní teplota	-40 °C až +70 °C

Tab. 6.8 Technické parametry elektroměru ITRON SL7000 [47]



Obr. 6.10 Elektroměr ITRON SL7000

6.8 Kabely

Pro připojení byly použity různé typy kabelů. K instalaci DC části byly využity čtyři silové LAM SORAR-R kabely. Parametry vodiče jsou v tabulce. (tab. 6.9) Pro AC část byly využity kabely CYKY. Tyto kabely jsou pěti žilové s průřezem 4 mm².

Technické parametry silového kabelu LAM SOLAR-R	
Provozní napětí	1,1 kV/1,8 kV DC, 0,6 kV/1 kV AC
Průřez vodiče	4 mm ²
Průměr vodiče	6,5 mm
Materiál vodiče	CuSn
Izolace	Zesíťená směs s vysokou termochemickou odolností
Barva pláště	Černá
Zkušební napětí	4 kV
Dovolená teplota na jádře	+90 °C
Rozsah teplot	-50 °C až +105 °C (max. 120 °C)
Vlastnosti	Odolnost proti UV záření a šíření plamene, samozhášivost atd.

Tab. 6.9 Silové kabely LAM SOLAR-R [38]

6.9 CS OTE a Portál naměřených dat ČEZ

CS OTE je portál, který se zabývá podnikáním s činností operátora trhu s elektřinou a plynem. Pokud se provozuje FVE, je povinností provozovatele se na portál zaregistrovat a měsíčně zapisovat hodnoty vyrobené energie. V tomto případě je to z elektroměru NARIS DVH5161-M. Pro přihlášení a komunikaci s portálem je potřeba mít elektronický podpis tzv. zabezpečený certifikát – Postsignum komerční certifikát, který se musí zakoupit každý rok. Vyřízení certifikátu zprostředkovává Česká pošta. Certifikát je vystaven na IČO provozovatele FVE a obnovuje se každý rok. Hodnoty nelze na portál zapisovat z počítače, který uvnitř sebe nemá uložený certifikát. Pomocí certifikátu se přihlašuje do informačního systému CS OTE, kde se doplní osobní údaje a zapisují se hodnoty z objemu výroby. Vyúčtování pro elektrárny menší jak 10 kW je jednou za tři měsíce. Zapisování hodnot vyrobené energie na portál je každý měsíc.

Zapisuje se pouze hodnota Svorková výroba elektřiny (GCR_2) a zbylé hodnoty se dopočítají automaticky. Prostředí portálu CS OTE je zobrazeno na následujícím obrázku. (obr. 6.11)

Kód údaje	Název položky	Jednotka	Za vykazované období
GCR_1	Instalovaný elektrický výkon	MW	0,006
GCR_2	Svorková výroba elektřiny*	MWh	0,671
GCR_3	Technologická vlastní spotřeba elektřiny*	MWh	0
GCR_4	Celková konečná spotřeba za předávacím místem výroby elektřiny	MWh	0,985 <input type="button" value="Dopočítat"/>
GCR_5	Z toho lokální spotřeba elektřiny	MWh	0,194 <input type="button" value="Dopočítat"/>
GCR_6	Dodávka elektřiny do lokální nebo regionální distribuční soustavy nebo do přenosové soustavy	MWh	0,477
GCR_7	Odběr z přenosové nebo distribuční soustavy (v předávacím místě)	MWh	0,791
GCR_13D	- z toho odběr elektřiny z distribuční soustavy na hladině NN pro technologickou vlastní spotřebu*	MWh	0
GCR_15D	Rezervovaný příkon v předávacím místě pro odběr z distribuční soustavy na hladině NN	A	75
GCR_8A	Výsledek kontroly nároku na podporu za výrobu z obnovitelného zdroje (POZE)		Kontrola OK
Množství elektřiny, na které je nárokována podpora			
Druh podporovaného/obnovitelného zdroje			
RES_8	Zvolená forma podpory		Zelený bonus - roční
RES_18	Fotovoltaická elektrárna*	MWh	0,671 x

Obr. 6.11 Prostředí portálu CS OTE

Pro monitorování a měření FVE byl využit Portál naměřených dat ČEZ. Aby mohl být používán, bylo nutné zaregistrovat se do ČEZ on-line. Po registraci je možné vstoupit na profil, kde se dají zjistit veškeré informace o účtu, odběrném místě, vyúčtování, fakturách, ale zejména zde nalezneme Portál naměřených dat ČEZ.

Elektroměr ITRON SL7000 zaznamenává všechnu energii, která přes něj projde. Vzhledem k tomu, že je využito připojení do sítě tzv. Zelený bonus, část vyrobené energie se spotřebuje v domácnosti a část se pošle do veřejné sítě. To znamená, že spotřebovaná energie není zaznamenávána. Pokud není dokoupen wattrouter nebo zaktivovaný webový portál střídače, daly by se hodnoty zaznamenat pouze denním zapisováním celkové vyrobené energie z elektroměru NERIS DVH5161-M a musela by se tato hodnota odečíst z předchozího dne. Tak by se zjistila denní vyrobená energie. Ta by se pak dala s hodnotou přebytkové energie zaznamenanou elektroměrem ITRON SL7000 odečíst a byla by vypočítána hodnota denní spotřeby z vyrobené energie v domácnosti. Jak je vidno, nebyl by to jednoduchý proces. Vzhledem k tomu, že se každý měsíc musí zapisovat hodnoty na CS OTE, byly využity tyto údaje pro měření a monitorování společně s hodnotami na Portále naměřených dat ČEZ (obr. 6.12).

Na portále se nastaví údaje v záložce Konfigurace, které nás zajímají (např. jaký byl odběr nebo kolik se poslalo přebytkové energie do ČEZ, atd.). Uvnitř konfigurace se nastaví interval měřené veličiny. Totéž i na záložce Naměřená data. V prvním zobrazovacím okně je možné vybrat typ grafu (histogram, spojnicový atd.), který zobrazí vybrané hodnoty. Dá se i vytvořit graf s více veličinami (kombinovaný graf). Ve druhém okně se dá vytvořit tabulka se základními parametry (min. a max. hodnota, průměr,

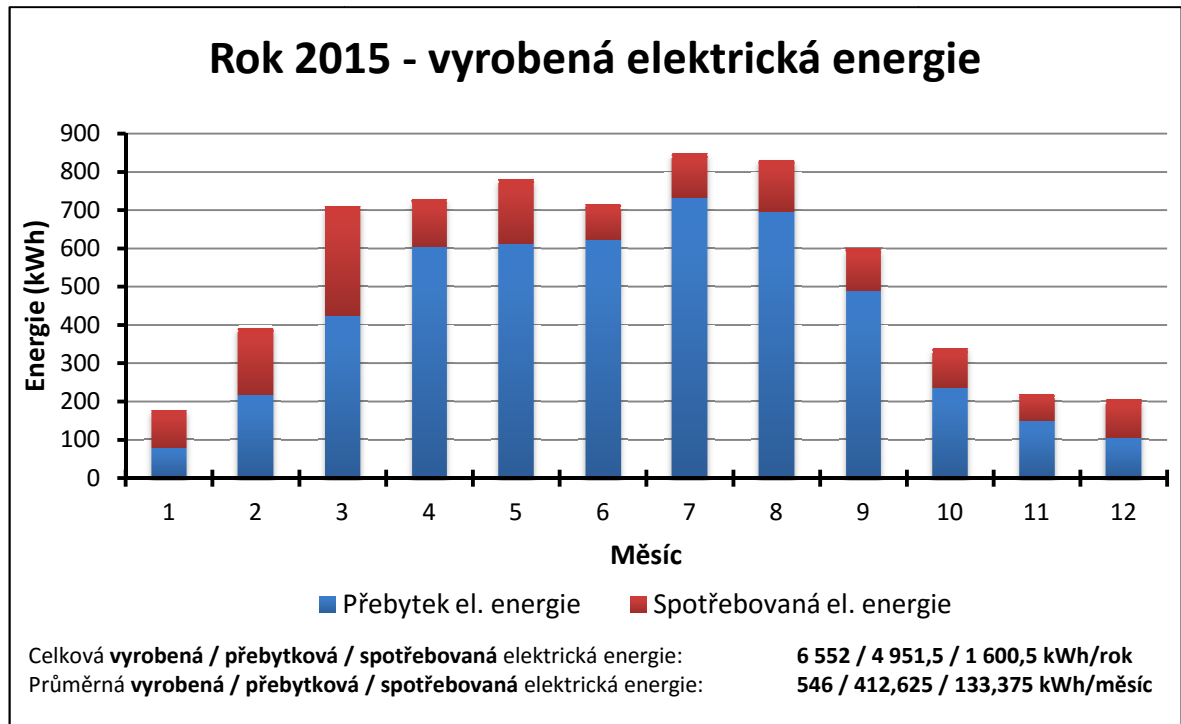
celkovou energii atd.) za celý zvolený interval. Lze využít i jednoduchou nápovědu. Grafy se dají exportovat do Excelu.



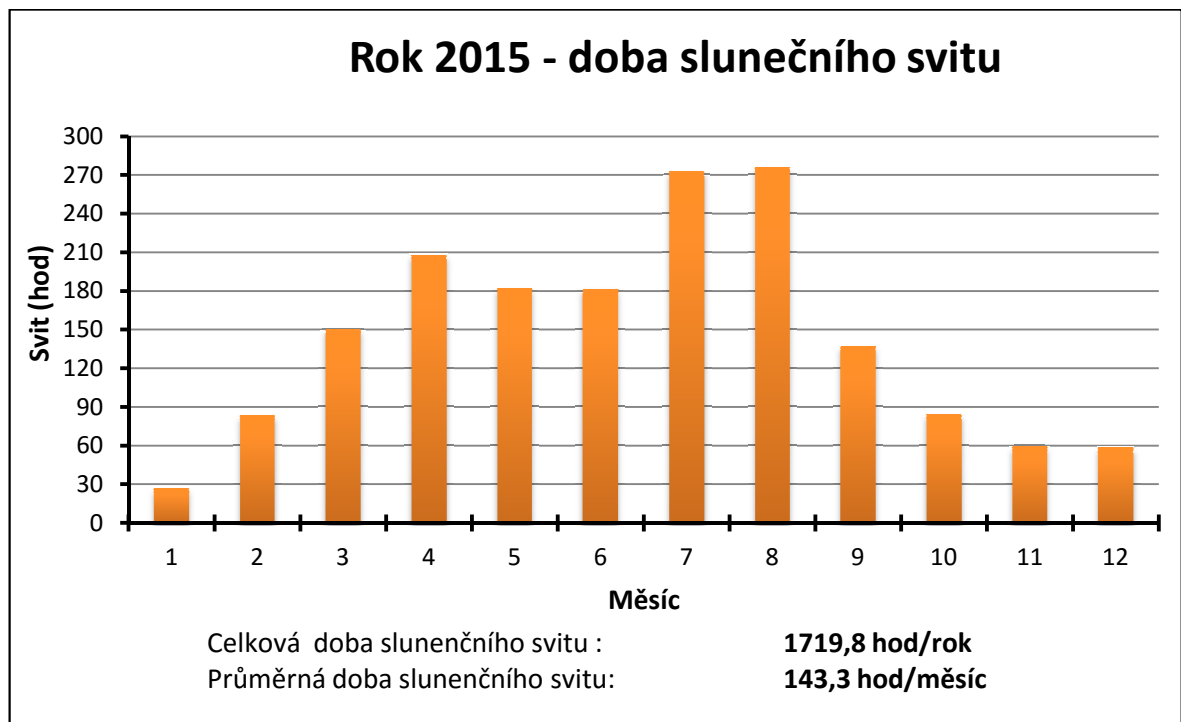
Obr. 6.12 Prostředí Portál naměřených dat ČEZ

7 Rozvahové měření

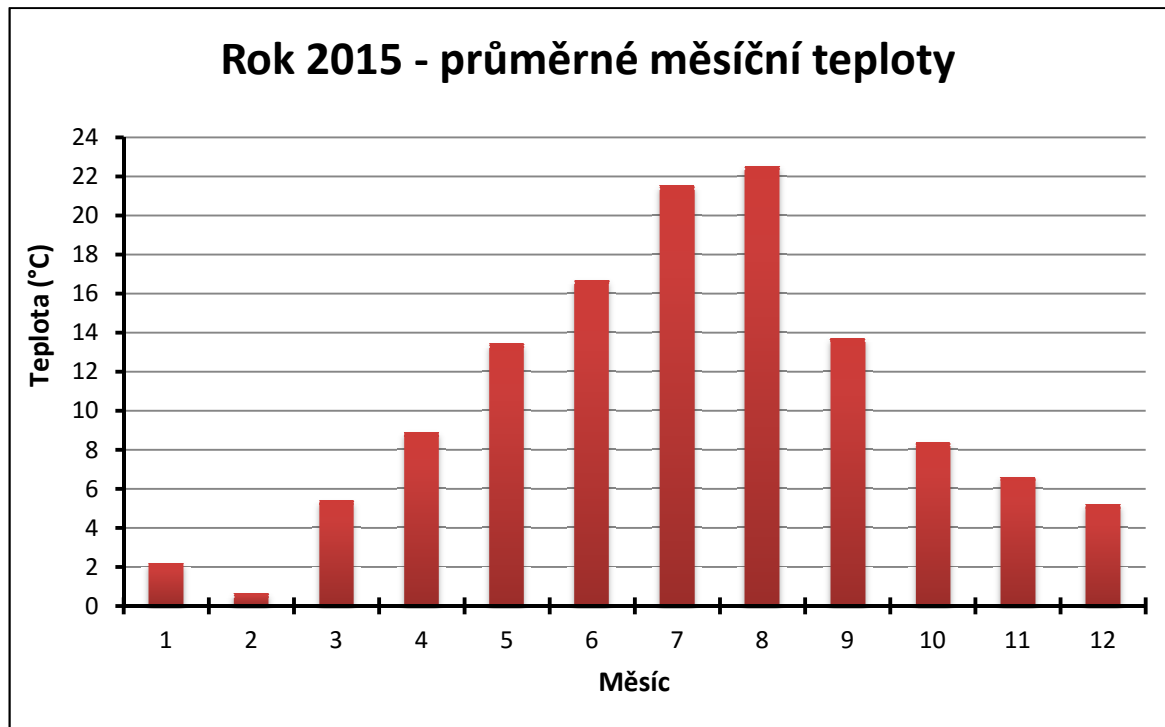
Měření domácí FVE se nachází na jihu Plzně. Sběr dat probíhal v období od 1. 1. 2015 do 31. 12. 2015. Do měření jsou zahrnuty meteorologické i klimatické podmínky. FV elektrárna se nachází v oblasti se střední intenzitou slunečního záření v ČR. Pro určení vlivu počasí na výrobu elektrické energie z FVE jsou obstarána data z ČHMÚ. Meteorologická stanice se nachází v Plzni na Mikulce. Ta je od Plzně 10 – Lhota vzdálena cca 12 km, což je relativně velká vzdálenost, nicméně pro měření nebylo možné získat polohově bližší data. Diferenciace počasí je však minimální. Požadovány byly informace ohledně denní hodnoty slunečního svitu, průměrné denní teploty a množství srážek. Na vyžádání byla rovněž poskytnuta data z 20. 3. 2015, kdy proběhlo částečné zatmění Slunce. Získání licencovaných údajů od ČHMÚ provázelo, oproti minulým letům, komplikovanější domlouvání, kdy se nově musela data zaplatit a poté bylo nutné vyčkat na právní vyřízení. Je tomu tak kvůli dřívějšímu zneužívání a černému prodeji mezi studenty. Celý proces získání dat trval týdny, než byla předána a mohla se začlenit do této práce. Na následujících grafech jsou znázorněny měsíční úhrny vyrobené elektrické energie (graf 7.1), doby slunečního svitu (graf 7.2), průměrných měsíčních teplot (graf 7.3) a množství srážek (graf 7.4) za rok 2015.



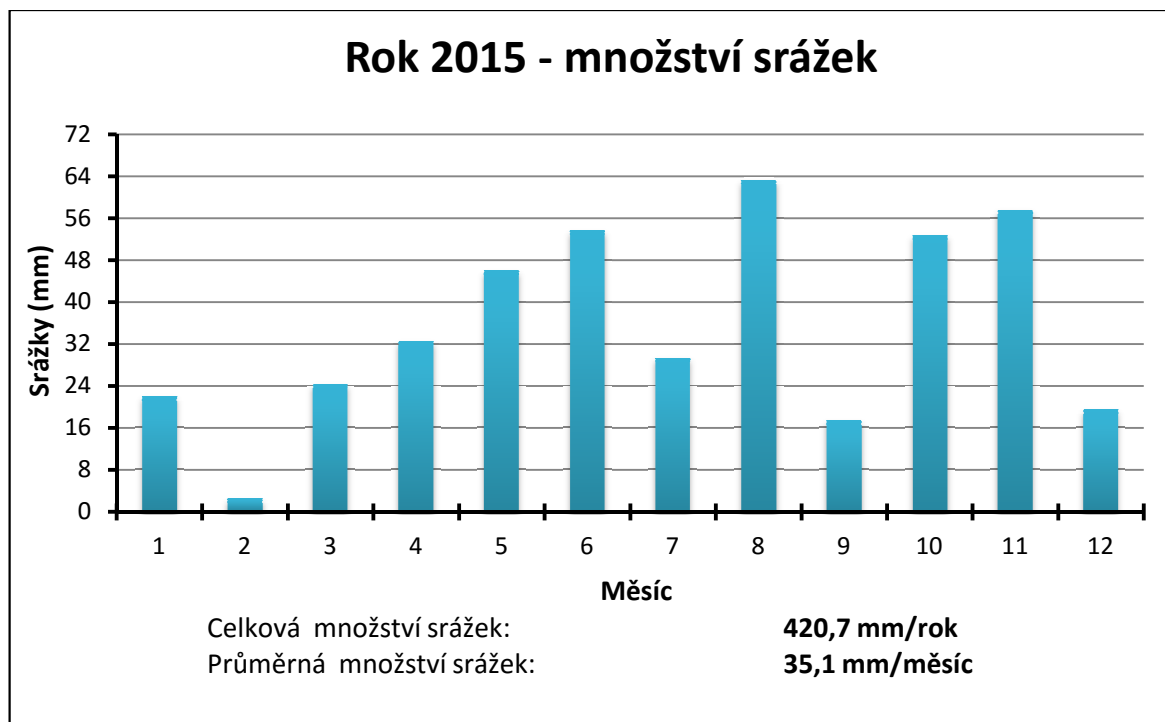
Graf 7.1 Vyrobená elektrická energie FVE v roce 2015



Graf 7.2 Doba slunečního svitu v roce 2015



Graf 7.3 Průměrné měsíční teploty za rok 2015



Graf 7.4 Množství srážek za rok 2015

V grafech 7.1 a 7.2 lze vidět podobnost průběhů. V měsíci květnu a červnu jsou vidět větší odchylky. Způsobeno to může být vzdáleností meteorologické stanice od fotovoltaické elektrárny. Další dva grafy jsou zde pro přehled, jaké průměrné teploty a množství srážek byly v Plzni v roce 2015.

V tabulce (tab. 7.1) jsou popsány grafy, které jsou v příloze A i B. Jedná se o souhrn dat elektrické energie a klimatických podmínek. Hodnoty denních teplot jsou průměrné, získány byly ze čtyř hodnot a to v 7:00, 14:00 a dvakrát se použila hodnota ve 21:00 hodin.

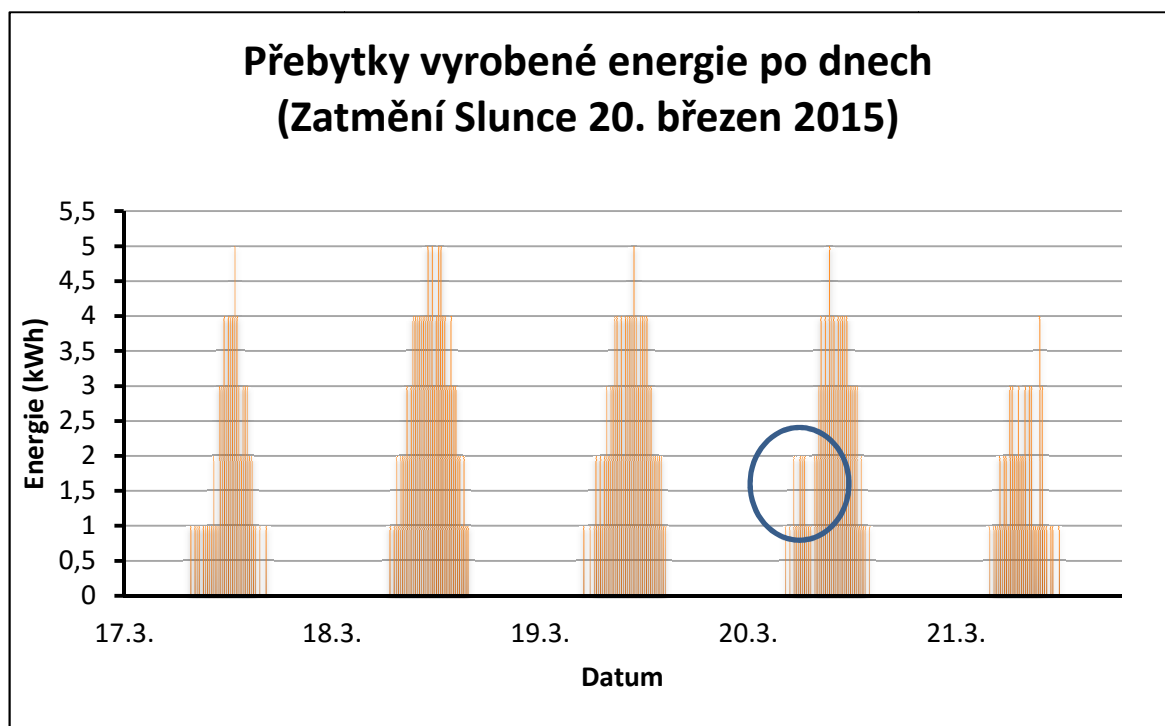
Měsíc	Výroba [kWh]	Spotřeba [kWh]	Přebytek [kWh]	Výnos [Kč]	Odběr [kWh]	Svit [hod]	Srážky [mm]	Min/max. teplota [°C]
Leden	177	100,50	76,50	1 044,50	1 701,25	26,7	22,0	-0,4/12
Únor	392	176,50	215,50	2 314,61	1 567,25	83,1	2,5	-3,3/3,9
Březen	711	288,75	422,25	4 199,08	1 105,00	150,5	24,3	2,5/10,4
Duben	728	125,25	602,75	4 304,62	762,25	207,8	32,5	1,6/16,9
Květen	782	170,00	612,00	4 622,85	406,25	182,1	46,0	8,6/19,6
Červen	716	94,50	621,50	4 234,54	231,50	181,1	53,7	10,8/24,4
Červenec	849	118,50	730,50	5 020,93	170,75	273,1	29,3	14,5/28,3
Srpen	831	136,75	694,25	4 913,83	187,25	276,1	63,2	15,1/29,0
Září	600	112,25	487,75	3 547,50	312,00	137,1	17,5	9,3/22,9
Říjen	340	104,50	235,50	2 009,03	783,25	84,5	52,7	1,6/13,9
Listopad	220	71,75	148,25	1 299,82	1 061,75	59,2	57,5	-0,9/13,9
Prosinec	206	101,25	104,75	1 216,09	1 240,5	58,2	19,5	-2,8/9,5

Tab. 7.1 Souhrnná měsíční data elektrické energie a klimatických podmínek v roce 2015

Dle předpokladů se ukázalo, že nejvíce energie se vyrobí v létě a nejméně v zimě. Také se dalo očekávat, že se nejméně energie odebralo z veřejné sítě v letním období a nejvíce naopak v zimním, kdy se ve větším množství využívá tepelné čerpadlo pro ohřev vody. Rovněž se dá říci, že vyrobená energie je potřeba nejméně, když je jí vyprodukováno nejvíce. Celkem bylo potřeba odebrat od distributora veřejné sítě 9 529 kWh/rok elektrické energie.

V měsíci březnu proběhlo částečné zatmění Slunce, které vznikne tehdy, když ho Měsíc zakryje. Slunce má 400 x větší průměr než Měsíc a současně je 400 x dál od Země než Měsíc. Díky stejnému úhlovému průměru dokáže Měsíc hvězdu zakrýt, když se umístí mezi naši planetu a Slunce. Bylo tomu tak 20. 3. 2015. Tento jev nastane jednou za mnoho let. Proto byla provedena podrobnější analýza, zda tento jev měl vliv na výrobu elektrické energie. Zatmění nastalo kolem 11. hodiny. Podle grafu 7.5 lze poznat, že v místě vyznačeném kroužkem je mezera oproti ostatním dnům. Z toho lze vypočítat, že v tuto dobu se nic nedodalo do veřejné sítě a tedy zatmění Slunce na výrobu energie vliv mělo. Další grafy jsou v příloze B.

Hodnoty pro dobu slunečního svitu v tento den jsou dodané po 10 minutách. Kolem 11. hodiny byl zaznamenán sluneční svit po celou dobu měřených deseti minut, proto není vykreslen graf slunečního svitu.



Graf 7.5 Porovnání vyrobené přebytkové energie po dnech kolem 20. 3. 2015

Pro názornou ukázkou denní spotřebované energie z vyrobené energie bylo provedeno čtrnácti denní měření v roce 2016 od 13. 4. do 26. 4. Hodnoty veškeré vyprodukované energie od uvedení FVE do provozu byly zapisovány z elektroměru NERIS DVH5161-M každý večer po skončení výroby elektrické energie a denní energie byla dopočítána. Denní přebytková energie byla zjištěna z Portálu naměřených dat ČEZ a denní spotřebovaná energie byla dopočítána. Příklady výpočtů jsou v následujících rovnicích (7.1 a 7.2).

$$\begin{aligned} \text{Denní energie} &= \text{Celková hodnota NERIS}_{n+1} - \text{Celková hodnota NERIS}_n = \\ &= 19\,394,4 - 19\,376,7 = 17,7 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (7.1)$$

kde n značí datum.

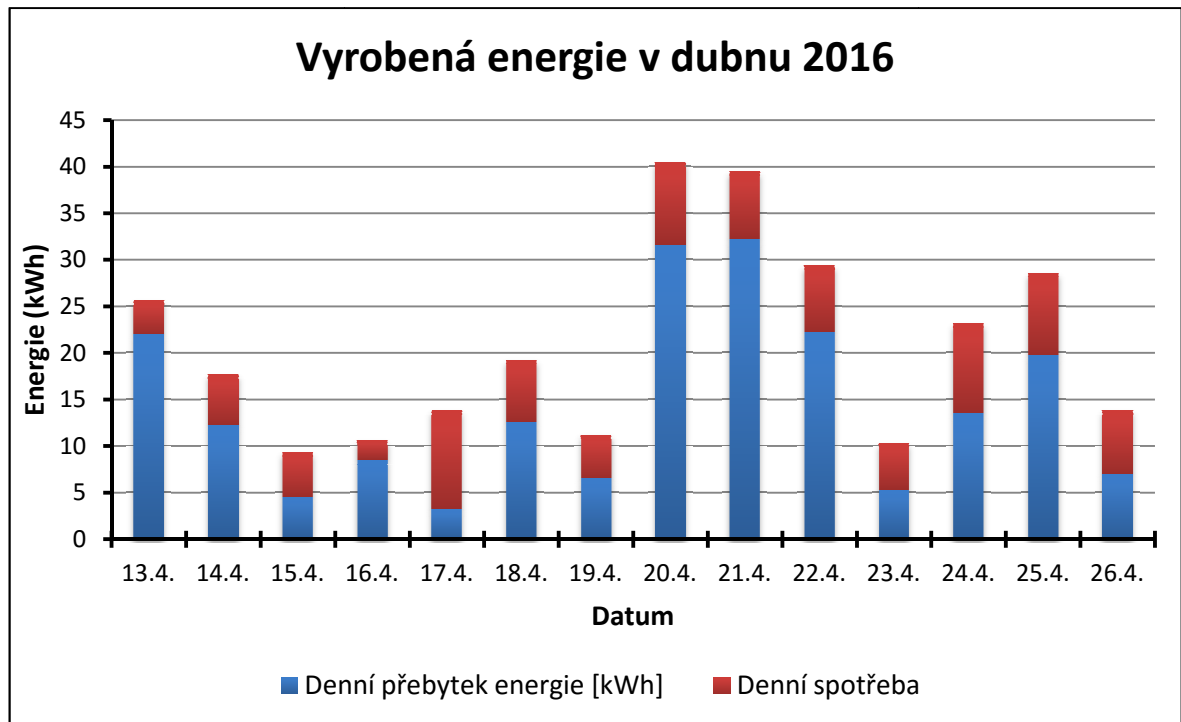
$$\text{Spotřebovaná} = \text{Denní energie [kWh]} - \text{Přebytková [kWh]} = 25,6 - 22 = 3,6 \text{ kWh} \quad (7.2)$$

Veškerá data jsou vypsána v tabulce. (tab. 7.2)

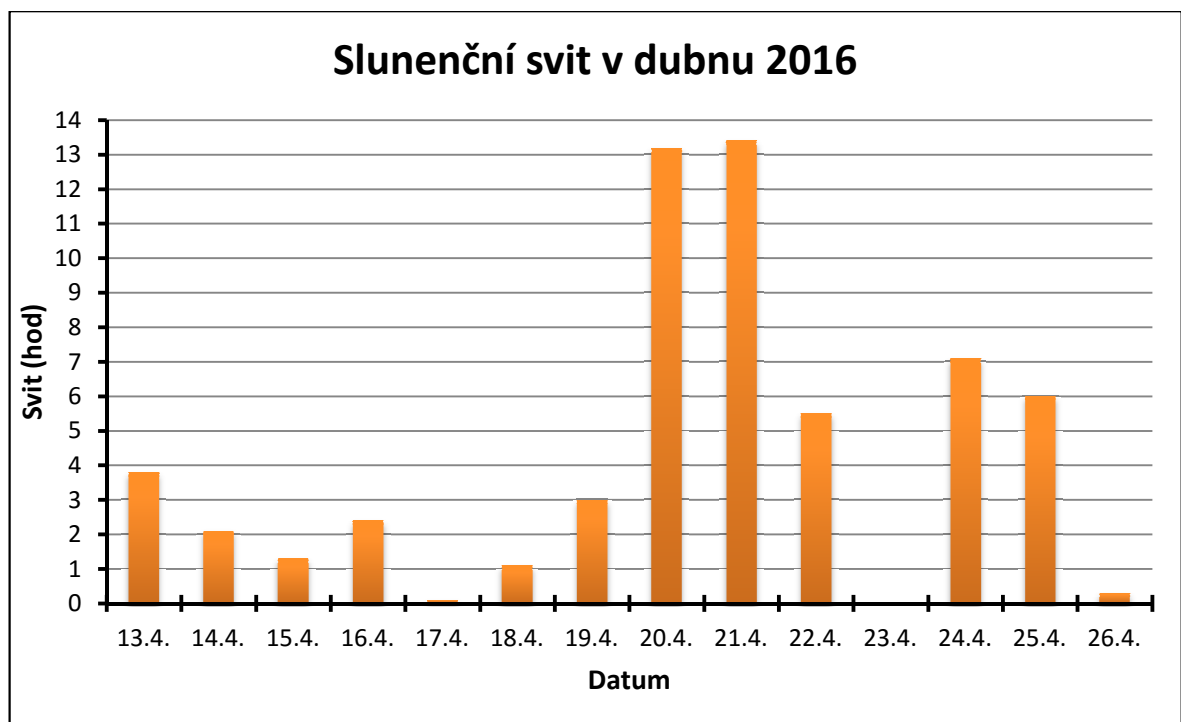
Datum	Celková hodnota elektroměru NERIS [kWh]	Denní energie [kWh]	Spotřebovaná [kWh]	Přebytková [kWh]	Svit [hod]
13. 4.	19 376,7	25,6	3,60	22,00	2,8
14. 4.	19 394,4	17,7	5,45	12,25	2,1
15. 4.	19 403,7	9,3	4,80	4,50	1,3
16. 4.	19 414,3	10,6	2,10	8,50	2,4
17. 4.	19 428,1	13,8	10,55	3,25	0,1
18. 4.	19 447,3	19,2	6,70	12,50	1,1
19. 4.	19 458,5	11,2	4,70	6,50	3,0
20. 4.	19 499,0	40,5	9,00	31,50	13,2
21. 4.	19 538,5	39,5	7,25	32,25	13,4
22. 4.	19 567,9	29,4	7,15	22,25	5,5
23. 4.	19 578,2	10,3	5,05	5,25	0,0
24. 4.	19 601,4	23,2	9,70	13,50	7,1
25. 4.	19 630,0	28,6	8,85	19,75	6,0
26. 4.	19 643,8	13,8	6,80	7,00	0,3

Tab. 7.2 Naměřená data pro denní spotřebovanou energii

Na následující stránce jsou zobrazeny grafy z hodnot v tabulce. První graf (graf 7.6) popisuje vyrobenou energii za den, která je rozdělena na spotřebovanou a přebytkovou. Druhý graf (graf 7.7) znázorňuje počet hodin slunečního svitu za den. Údaje o slunečním svitu pro toto období byly zjištěny z archivu webového portálu In-počasí [48].



Graf 7.6 Vyrobená energie v dubnu 2016 – od 13. 4. do 26. 4.



Graf 7.7 Sluneční svit v dubnu 2016 – od 13. 4. do 26. 4.

7.1 Náklady

Na začátku musela být počáteční investice do FVE. Před uvedením do provozu se musely uskutečnit úřední náležitosti. V první řadě se musel udělat výpis z katastru nemovitosti a projektová dokumentace. Na to navázal materiál pro provoz elektrárny. Vše zařídila firma Solarion s.r.o. Postsignum – certifikát si vyřizuje sám uživatel. Pro snadnější ekologickou likvidaci je elektrárna zaregistrována ve sdružení REMA Systém. Během provozu se platí každý měsíc poplatky za vyrobenou energii, která se spotřebuje v domácnosti. Pokud je měsíční vyúčtování pod 100 Kč, přičte se k následujícímu měsíci. Jedná se o poplatky za (ceny jsou bez 21 % sazby DPH):

- systémové služby	105,27	Kč/MWh
- vyúčtování z portálu CS OTE	6,94	Kč/MWh
- úhradu nákladů spojených s podporou elektřiny	495	Kč/MWh
- nevyžádaná dodávka jalové energie	0	Kč/MWh
Celkové náklady související s dodávkou energie	607,21	Kč/MWh

Hodnoty poplatků se mění každý rok. Pro přehlednost je zde následující tabulka. (tab. 7.3) Ceny jsou bez DPH.

Hodnoty poplatků od roku 2012			
Název poplatku	2012	2013	2014
Systémové služby	144 Kč/MWh	132,19 Kč/MWh	119,25 Kč/MWh
Vyúčtování z portálu CS OTE	6,75 Kč/MWh	7,56 Kč/MWh	7,55 Kč/MWh
Úhrada nákladů spojených s podporou elektřiny	419,22 Kč/MWh	583 Kč/MWh	495 Kč/MWh
Celkové náklady související s dodávkou energie	569,97 Kč/MWh	722,75 Kč/MWh	621,80 Kč/MWh

Tab. 7.3 Hodnoty poplatků od roku 2012 do 2014

Přehled všech nákladů na instalaci FVE je v následující tabulce. (tab. 7.4)

Pevné náklady				
Kusy	Název	Cena bez DPH	Sazba DPH	Cena s DPH
1	Kompletní instalace FVE*	252 000 Kč	14%	287 280 Kč
1	REMA - likvidace	3 538 Kč	21%	4 281 Kč
3**	Postsignum – certifikát	862,77 Kč	21%	1 044 Kč
1	Výpis z katastru nemovitostí***	150 Kč	0%	150 Kč
1	Projektová dokumentace stavby	1 000 Kč	0%	1 000 Kč
Celkové pevné náklady		257 550, 77 Kč	-	293 755 Kč
Variabilní náklady v roce 2015				
Měsíc	Vyrobená energie, která se spotřebovala [MWh]	Cena bez DPH	Sazba DPH	Cena s DPH
Leden	0,100	60,72 Kč	21%	73 Kč
Únor	0,176	106,87 Kč	21%	129 Kč
Březen	0,289	175,48 Kč	21%	212 Kč
Duben	0,125	75,90 Kč	21%	92 Kč
Květen	0,170	103,23 Kč	21%	125 Kč
Červen	0,094	57,08 Kč	21%	69 Kč
Červenec	0,118	71,65 Kč	21%	87 Kč
Srpen	0,137	83,19 Kč	21%	101 Kč
Září	0,112	68,01 Kč	21%	82 Kč
Říjen	0,104	63,15 Kč	21%	76 Kč
Listopad	0,072	43,72 Kč	21%	53 Kč
Prosinec	0,101	61,33 Kč	21%	74 Kč
Rok	1,598	970,32 Kč	21%	1 174 Kč
Celkové pevné a variabilní náklady		258 521,22 Kč		294 929 Kč

Tab. 7.4 Náklady vynaložené na provoz FVE

* FV panely, materiál pro ukotvení panelů na střechu, střídač, DC rozvaděč, montáž FVE, připojení do elektroinstalace rodinného domu, revize, podklady pro získání licence, uzavření smlouvy s distributorem

** Postsignum – certifikát: obnovuje se každý rok za stejnou cenu (2013,2014,2015)

*** Katastrální úřad není plátcem DPH – jedná se o poplatek

7.2 Výnosy

V období měření byla elektrárna v provozu více jak 2 roky. Přesné uvedení FVE do provozu bylo 4. 12. 2012. Instalace do konce tohoto roku byla výhodná kvůli cenám odkupu, pak už ceny Zelených bonusů rapidně klesly. V roce 2015 byla stanovena cena za měsíc 5 888 Kč/MWh v programu Zelený bonus. Výkupní cena přebytečné vyrobené energie (bonus za decentralizaci), která se pošle do veřejné sítě, byla stanovena na 30,12 Kč/MWh. Ceny se každý rok lehce liší. (tab. 7.5)

Hodnoty bonusů pro rok 2013 a 2014		
Název bonusu	2013	2014
Zelený bonus	5 734 Kč/MWh	5 810 Kč/MWh
Bonus za decentralizaci	28 Kč/MWh	27 Kč/MWh

Tab. 7.5 Hodnoty bonusů pro rok 2013 a 2014

Elektrárny, které byly nainstalovány po roce 2012, už nemají tak výhodné ceny Zelených bonusů jako u předešlých let. Ceny klesly více než o polovinu (oproti roku 2012) a to na 2 304 Kč/MWh pro FVE do 30 kW [49]. Pro rok 2014 byla stanovena hodnota 1 880 Kč/MWh [49].

Z naměřených hodnot (tab. 7.6) bylo zjištěno, že nejlepší měsíc v roce 2015 byl červenec. Vyrobilo se 0,849 MWh a díky tomu byl výnos 5 020,93 Kč. Naopak nejhorší měsíc byl leden, kdy se vyrobilo 0,177 MWh. Výnos činil pouze 1 044,5 Kč. Celkem rok 2015 vynesl domácnosti 38 727 Kč. Dále je poznat, že jarní měsíce jsou produktivnější než podzimní. Všechny jarní měsíce vyrobily přes 0,7 MWh. Naopak podzimní měsíce, krom září, se nedostaly s výrobou nad 0,35 MWh.

Výnosy v roce 2015					
Zelený bonus 5 888 Kč/MWh		Bonus za decentralizaci 30,12 Kč/MWh			Celkem za měsíc
Měsíc	Vyrobená energie [MWh]	Přebytková energie [MWh]	Zelený bonus	Bonus za decentralizaci	
Leden	0,177	0,077	1 042,18 Kč	2,32 Kč	1 044,50 Kč
Únor	0,392	0,216	2 308,10 Kč	6,51 Kč	2 314,61 Kč
Březen	0,711	0,422	4 186,37 Kč	12,71 Kč	4 199,08 Kč
Duben	0,728	0,603	4 286,46 Kč	18,16 Kč	4 304,62 Kč
Květen	0,782	0,612	4 604,42 Kč	18,43 Kč	4 622,85 Kč
Červen	0,716	0,622	4 215,81 Kč	18,73 Kč	4 234,54 Kč
Červenec	0,849	0,731	4 998,91 Kč	22,02 Kč	5 020,93 Kč
Srpen	0,831	0,694	4 892,93 Kč	20,90 Kč	4 913,83 Kč
Září	0,600	0,488	3 532,80 Kč	14,70 Kč	3 547,50 Kč
Říjen	0,340	0,236	2 001,92 Kč	7,11 Kč	2 009,03 Kč
Listopad	0,220	0,148	1 295,36 Kč	4,46 Kč	1 299,82 Kč
Prosinec	0,206	0,105	1 212,93 Kč	3,16 Kč	1 216,09 Kč
Rok	6,552	4,954	38 578,18 Kč	149,21 Kč	38 727,40 Kč
Celkem pevné a variabilní náklady				38 727 Kč	

Tab. 7.6 Výnosy z FVE v roce 2015

Pro následující rok, tedy pro rok 2016, je stanovena hodnota Zeleného bonusu 5 969 Kč/MWh. Bonus za decentralizaci už je zrušen.

7.3 Návratnost

Návratnost investice FVE se vypočítá pomocí rovnice (7.3),

$$\text{Návratnost} = \frac{\text{Celkové náklady [Kč]}}{\text{Celkové výnosy za rok [Kč]}} = \frac{294\,929}{38\,727} = 7,62 \text{ let} \quad (7.3)$$

Z výsledku je patrné, že k rentabilitě investice a její návratnosti dojde cca po 7,5 letech. Výpočet je pouze teoretický, jelikož by musely být stejné hodnoty výroby elektrické energie a bonusů i v dalších letech. Do budoucna se musí počítat s poklesem účinnosti panelů vlivem opotřebení. Účinnost panelů, podle teoretických předpokladů, klesne po 10 letech na 80 %.

7.4 Monitorování infrakamerou

Pro monitorování FVE byla zapůjčena infrakamera Fluke Ti27 společností Hotset ČR s.r.o. Monitorování infrakamerou bylo aplikováno pro zjištění správné funkčnosti jednotlivých panelů a komponentů elektrárny (příloha C). Elektrárna byla focena infrakamerou (obr. 7.1) 30. 4. 2016 v 13:45 hod ze sousední střechy. V momentě focení byl výkon elektrárny 5 030 W při venkovní teplotě 17,4 °C. Pro přesnost monitorování bylo důležité, že okolní teplota byla rapidně odlišná, než teplota panelů. Na základě fotek bylo zjištěno, že panely nejsou infikovány. Porušený bod panelu by byl vykreslen odlišným odstínem z barevné palety.



Obr. 7.1 Fotka vyfocená pomocí infrakamery Fluke Ti27

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat malou střešní fotovoltaickou elektrárnu. V první části byla zpracována problematika o základních rysech slunečního záření, křemíku, výrobě solárních článků a panelů, komponentech k FVE a monitorovacích zařízeních. Druhá část je zaměřena na konkrétní malou střešní elektrárnu o instalovaném výkonu 6 kWp v Plzni 10 – Lhota, Pod Dubovkou E202/65. Byla provedena analýza výkonových parametrů v celém roce 2015 za pomoci elektroměru ITRON a Portálu naměřených dat ČEZ. Pro přihlédnutí k meteorologickým a klimatickým podmínkám byla poskytnuta licence s údaji o slunečním záření, teplotě a srážek z ČHMÚ v blízkosti lokality elektrárny. Celková vyrobená energie v roce 2015 byla 6,552 MWh. Nejvíce energie se vyrobilo v červenci a to 0,849 kWh, naopak nejméně v lednu 0,177 kWh. Bylo provedeno monitorování infракamerou, kterou se zjistilo, že panely nejsou infikovány a neklesá tedy výroba v důsledku porušených míst na panelech nebo na komponentech elektrárny.

Dále byla provedena finanční analýza. Celkové náklady do roku 2015 činily 294 929 Kč. Náklady počáteční investice FV elektrárny se vyšplhaly na hodnotu 293 755 Kč. Variabilní náklady za rok 2015 sice činily pouze 1 174 Kč, ale jsou za spotřebovanou energii, což je zarážející. Předpokládalo se, že jsou tyto náklady za dopravu elektrické energie do veřejné sítě. Celkový výnos se dostal na hodnotu 38 727 Kč. Návratnost investice bude za 7,62 let v případě stejných výnosů, variabilních nákladů a účinnosti panelů a dalších zařízení pro provoz FVE.

Nevýhodou FVE je, že v letním období se vyrobí více elektrické energie, než je v daný moment potřeba. Naopak v zimním období vyrobí elektrárna méně energie, a proto se musí domácnost spolehnout rovněž na odběr z veřejné sítě. Vzhledem ke klesajícím odkupním cenám se do budoucna vyplatí fotovoltaické elektrárny s akumulací články. Domácnosti by byly závislé na distributorovi veřejné sítě pouze v malé míře, převážně pak v letních měsících.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Elektromagnetické vlnění. *Madico CZ* [online]. 2015 [vid. 22. listopad 2015]. Dostupné z: <http://madico.cz/aktuality/skodi-okenni-folie-rostlinam/>
- [2] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. In: . 1. vyd. Praha: Ilsa, 2009, s. 160. ISBN 978-80-904311-0-2.
- [3] Solární konstanta. *Treking* [online]. 2014 [vid. 9. únor 2016]. Dostupné z: <http://www.treking.cz/astroonomie/solarni-konstanta.htm>
- [4] HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. In: . 1. vyd. Ostrava: HEL, 2011, s. 176. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [5] Fotovoltaika v podmínkách České republiky. *Isofen energy* [online]. 2009 [vid. 22. listopad 2015]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [6] Přeměna sluneční energie v energii elektrickou. *Fyzikální ústav AV ČR* [online]. 2008 [vid. 1. únor 2016]. Dostupné z: <http://www.fzu.cz/popularizace/premena-slunecni-energie-v-energii-elektrickou>
- [7] Alexander Edmond Becquerel. *Wikipedia* [online]. 2015 [vid. 1. únor 2016]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Alexandre_Edmond_Becquerel
- [8] Stručná historie fotovoltaiky. *TBZ-info* [online]. 2014 [vid. 1. únor 2016]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>
- [9] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. Fotovoltaika, elektřina ze slunce. In: . 1. vyd. Brno: ERA, 2007, s. 81. ISBN 978-80-7366-100-7.
- [10] DIVIŠOVÁ, Michaela. Jak to bylo a je s fotovoltaikou v Česku. *Peníze.cz* [online]. 2013 [vid. 30. duben 2016]. Dostupné z: <http://www.penize.cz/nakupy/275131-jak-to-bylo-a-je-s-fotovoltaikou-v-cesku>
- [11] MGR. SKLENÁŘ, Oldřich. Fotovoltaika v České republice v roce 2014. *TBZ-info* [online]. 2014 [vid. 30. duben 2016]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/12162-fotovoltaika-v-ceske-republice-v-roce-2014>
- [12] Fotovoltaika pro každého. *Czech RE Agency* [online]. 2003 [vid. 1. únor 2016]. Dostupné z: http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika#fv_cr
- [13] Polovodiče. *SPŠE Mohelnice* [online]. 2016 [vid. 1. únor 2016]. Dostupné z: <http://www.spsemoh.cz/vyuka/zel/pn.htm>
- [14] Polovodiče. *SPŠE Mohelnice* [online]. 2016 [vid. 1. únor 2016]. Dostupné z: <http://www.spsemoh.cz/vyuka/zel/diody.htm>
- [15] QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energie. In: . 1. vyd. Praha: Grada, 2010, s. 296. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [16] Složení fotovoltaických panelů. *Rady kutilům* [online]. [vid. 1. únor 2016]. Dostupné z: <http://www.rady-kutilum.com/99-99>
- [17] Křemík - obrázek. *Dixo* [online]. [vid. 30. duben 2016]. Dostupné z: <http://www.dixo.cz/dbvd/ucinna-slozka/35-kremik/>
- [18] Křemík - parametry. *Periodická tabulka* [online]. 2009 [vid. 30. duben 2016]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/14.html#fotovoltaika>
- [19] ŠULC, Tomáš. Proces výroby křemíku. *Od písku k procesoru — výroba křemíkového waferu* [online]. 2012 [vid. 30. duben 2016]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/24350-od-pisku-k-procesoru-vyroba-kremikoveho-waferu?start=4>

- [20] Složení fotovoltaických panelů. *Rady kutilům* [online]. [vid. 1. únor 2016]. Dostupné z: <http://www.rady-kutilum.com/httpwwwrady-kutilumcomfotokyskuteceamo1jpg-100>
- [21] Fotovoltaické systémy pro výrobu elektriny. *Czech nature energy* [online]. 2016 [vid. 1. únor 2016]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [22] Fotovoltaické panely. *ACC Silicones* [online]. 2016 [vid. 1. únor 2016]. Dostupné z: <http://www.acc-silicones.cz/applications1/solarpanels.ashx>
- [23] ABUŠINOV, Alexandr. Halar, Tedlar a Kynar. *MMSpektrum.com - Plasty se podílejí na solárním boomu* [online]. 2016 [vid. 20. květen 2016]. Dostupné z: <http://m.mmspektrum.com/clanek/plasty-se-podileji-na-solarnim-boomu>
- [24] Třídy ochran. *Profi elektřika* [online]. 1998 [vid. 8. únor 2016]. Dostupné z: <http://elektřika.cz/terminolog/zarizeni-tridy-ochrany-II>
- [25] Vliv sklonu a orientace. *EkoWATT* [online]. 2008 [vid. 3. únor 2016]. Dostupné z: <http://fotovoltaika.ekowatt.cz/vliv-sklonu-orientace.php>
- [26] Co je to tracker? *Solar Liglass* [online]. 2009 [vid. 20. květen 2016]. Dostupné z: <http://www.solar-liglass.cz/fotovoltaicke-dotazy-a-odpovedi/92-tracker-fotovoltaika-fotovoltaicky-panel.html>
- [27] Instalační kabel NYM s PVC pláštěm. *Kabely - vodiče, DDA a.s.* [online]. 2006 [vid. 8. únor 2016]. Dostupné z: http://www.kabelyvodice.cz/kabely-vodice/09_nym.php
- [28] Silový kabel 0,6/1 kV NYY. *Kabely - vodiče, DDA a.s.* [online]. 2006 [vid. 8. únor 2016]. Dostupné z: http://www.kabelyvodice.cz/kabely-vodice/09_nyy.php
- [29] Silový kabel NHMH. *Kapisgroup* [online]. [vid. 18. duben 2016]. Dostupné z: http://www.kapis-cables.com/en/catalogue/building_wires/664/detail.html
- [30] Silový kabel 0,6/1 kV NYCW s Cu koncentrickým vodičem. *Kabely - vodiče, DDA a.s.* [online]. 2006 [vid. 8. únor 2016]. Dostupné z: http://www.kabelyvodice.cz/kabely-vodice/09_nycwy.php
- [31] ING. KOUDELKA, Ctirad. Ochrana před bleskem [online]. Přednáška, Vysoká škola báňská - TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra obecné elektrotechniky, 2007, s. 33 [vid. 8. únor 2016]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/prednasky/pred_ZEP/Ochrana_pred_bleskem-CSN.pdf
- [32] Fotovoltaický systém pracující do odporové zátěže. *vyvoj.hw.cz - profesionální elektronika* [online]. 1997 [vid. 26. duben 2016]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/fotovoltaicky-system-pracujici-do-odporove-zateze.html>
- [33] ING. TRETINÍKOVÁ, Dana (šéfredaktorka časopisu). SolarTechnika. In: 2. vyd. Žilina: Techpark, o.z., 2011, s. 14–15. ISSN 1338-0524. Dostupné z: www.solartechnika.sk
- [34] Monitoring FVE. *SolarMonitor Shop* [online]. 2013 [vid. 19. únor 2016]. Dostupné z: <http://shop.solarmonitor.cz/cs/12-monitoring-fve?orderby=price&orderway=asc>
- [35] ING. TRETINÍKOVÁ, Dana (šéfredaktorka časopisu). SolarTechnika. In: 1. vyd. Žilina: Techpark, o.z., 2012, s. 32–33. ISSN 1338-0524. Dostupné z: www.solartechnika.sk
- [36] Ceník monitoringu. *SunTanzer s.r.o.* [online]. 2016 [vid. 19. únor 2016]. Dostupné z: <http://www.monitoring4energy.cz/dokumenty/reporty/faktury/pridoli/cenik.pdf>
- [37] Regulátory WATTrouter a příslušenství. *SolarControls s.r.o.* [online]. 2010 [vid. 19. únor 2016]. Dostupné z: http://www.solarcontrols.cz/cz/shop_wattrouter.html
- [38] Silový kabel LAM SOLAR pro fotovoltaické systémy. *Lamela Electric, a.s.* [online]. 2006 [vid. 20. duben 2016]. Dostupné z: <http://www.lamelaelectric.com/products/katalogove.listy/lam-solar-r-lam-solar-h-88.pdf>

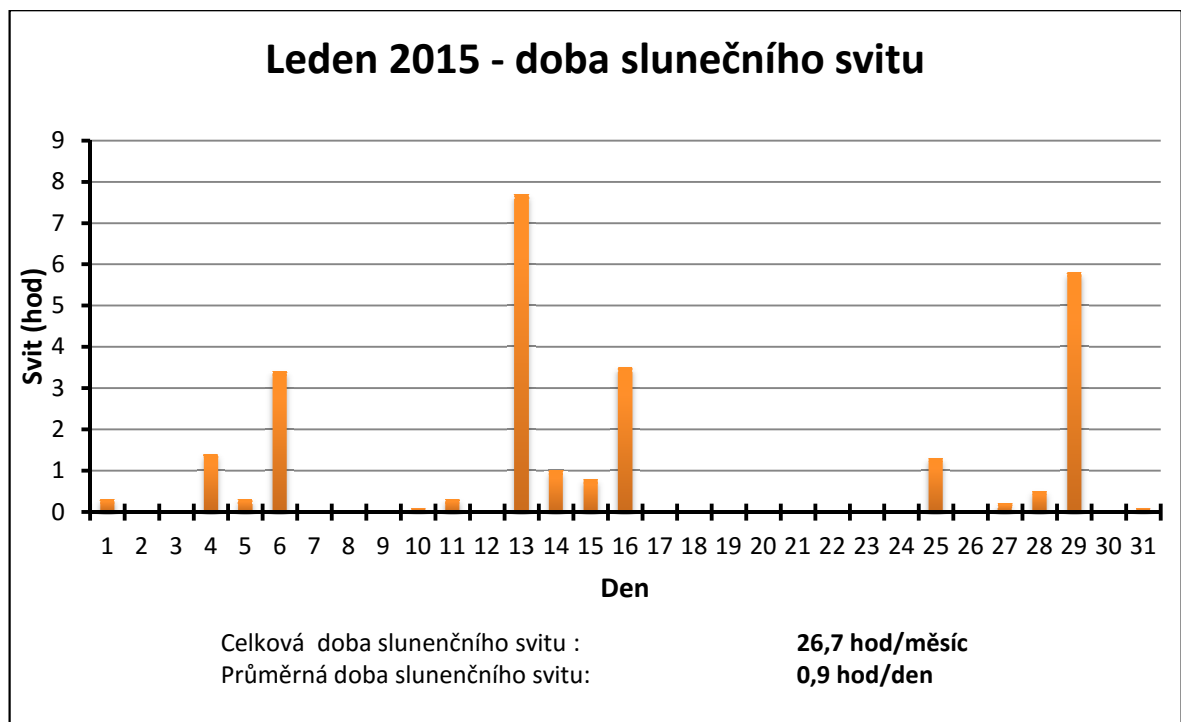
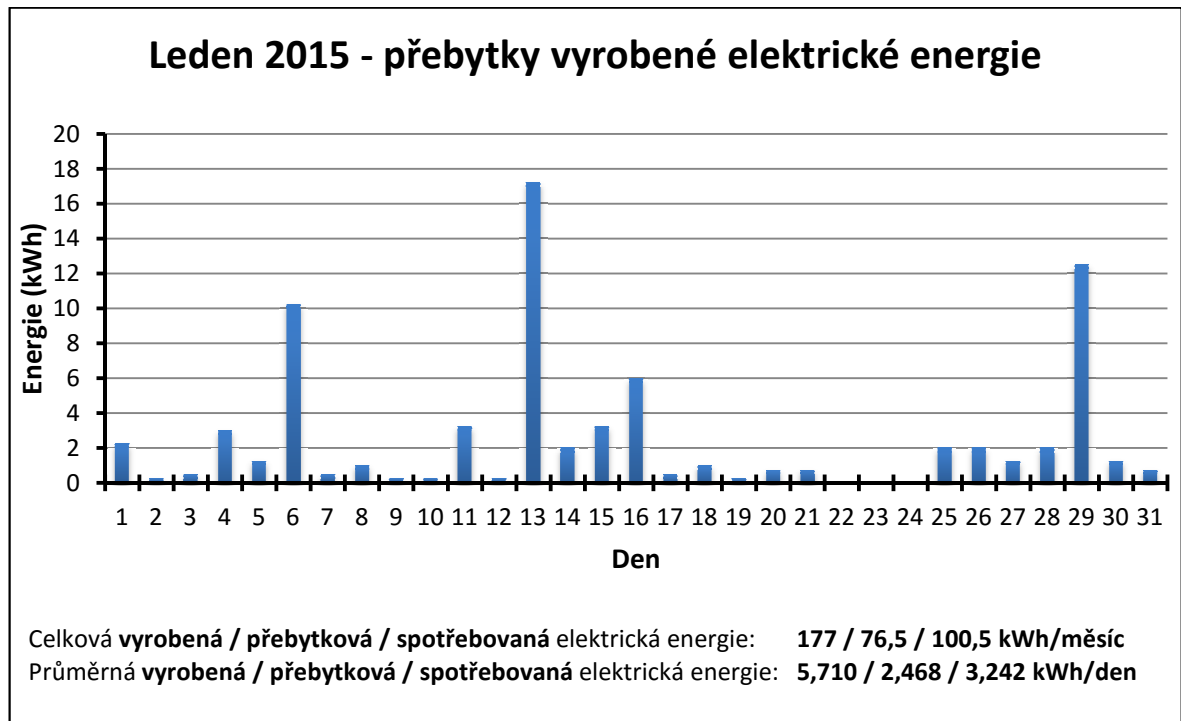
- [39] Kabel CYKY-J 5x2,5. *ielektra.cz* [online]. 1995 [vid. 20. duben 2016]. Dostupné z: <http://www.ielektra.cz/kabel-cyky-j-5x2-5>
- [40] Logo společnosti Solarion CZ. *Sluzbomat.cz* [online]. [vid. 21. duben 2016]. Dostupné z: <http://sluzbomat.cz/solarion-cz-sro>
- [41] Canadian Solar CS6P-240. *Solar Electric Supply, Inc.* [online]. 2001 [vid. 26. duben 2016]. Dostupné z: http://205.214.164.215/Solar_Panels/Canadian-Solar/CS6P-240P.html
- [42] Kostal Piko 5. 5. *Nemakej.cz - fotovoltaické elektrárny* [online]. [vid. 26. duben 2016]. Dostupné z: http://www.nemakej.cz/pdf/kostal_piko_5.5.pdf
- [43] Elektroměr NERIS DVH5161-M. *Elektroměry s.r.o.* [online]. 2016 [vid. 26. duben 2016]. Dostupné z: http://www.elektromery.com/files/prod_files/dvh5161_cz.pdf
- [44] S0 měření. *Wiki měření energie* [online]. 2013 [vid. 26. duben 2016]. Dostupné z: http://wiki.merenienegie.cz/index.php/S0_mereni#Co_to_je_S0
- [45] Svodič Hakel SPUM 600/2 DC. *Shopelektro.cz* [online]. 2009 [vid. 27. duben 2016]. Dostupné z: <http://www.shopelektro.cz/svodice-a-prepetove-ochrany/hakel/svodice-pro-pve/svodice-prepeti-typ-2/hakel-24290-spum-pv-600-2-ds>
- [46] Jistič Moeller PL6-B16/3. *Emat.cz* [online]. 1999 [vid. 27. duben 2016]. Dostupné z: <http://www.emat.cz/moeller-eaton-pl6-b16-3-trojfazovy-instalacni-jistic-16a-286589>
- [47] Elektroměr ITRON SL700. *Elektroměry s.r.o.* [online]. [vid. 27. duben 2016]. Dostupné z: http://www.elektromery.com/files/prod_files/sl7000tech..pdf
- [48] Archiv počasí, klima České republiky. *In-pocasi.cz* [online]. 2015 [vid. 12. květen 2016]. Dostupné z: http://www.in-pocasi.cz/archiv/?mesic=4&den=13&stanice=plzen_line&typ=teplota
- [49] Zelný bonus. *Helion.cz* [online]. 2014 [vid. 29. duben 2016]. Dostupné z: <http://helion.cz/novinky/legislativa/podpora-oze-na-rok-2016/>

Seznam obrázků, tabulek a grafů

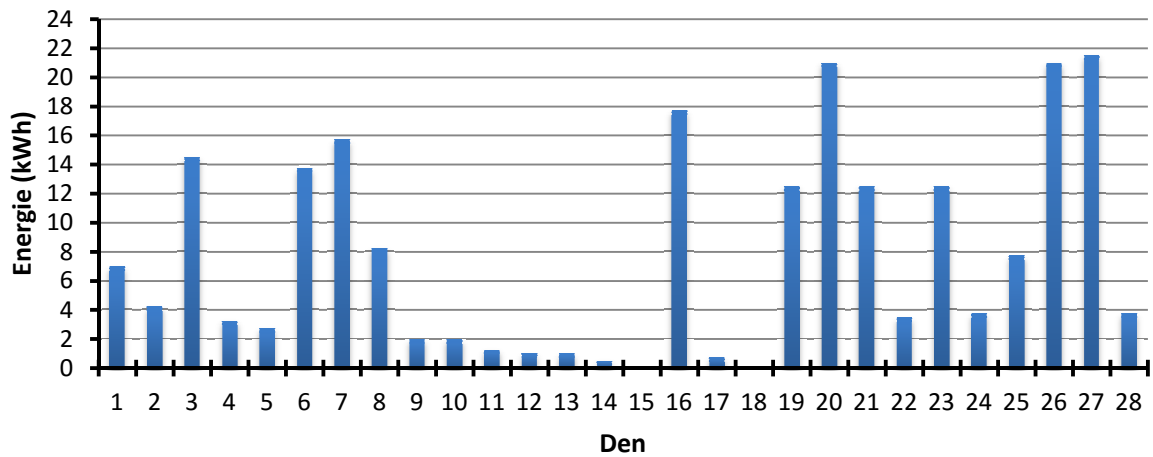
Obr. 1.1	Roční celková sluneční energie na území ČR [W/m^2] (převzato z [5]).....	13
Obr. 1.2	Spektrum slunečního záření	13
Obr. 1.3	Sluneční spektrum po průchodu vrstvou atmosféry (překresleno z [6]).....	14
Obr. 3.1	PN přechod s dopadajícím světlem (překresleno z [6]).....	17
Obr. 3.2	PN přechod před difúzí (převzato z [13]).....	17
Obr. 3.3	PN přechod po difúzi (převzato z [13]).....	18
Obr. 3.4	PN přechod s dopadajícím světlem (překresleno z [14]).....	18
Obr. 3.5	Konstrukce a přeměna energie v krystalickém křemíkovém FV článku (převzato z [4])	19
Obr. 3.6	Křemík (převzato z [17]).....	20
Obr. 3.7	Proces výroby křemíku (převzato z [19]).....	21
Obr. 3.8	Typy krystalických článků (upraveno z [21]).....	23
Obr. 4.1	Od křemíkové destičky až po FV generátor (převzato z [4])	24
Obr. 4.2	Konstrukce standardního panelu (převzato z [4]).....	25
Obr. 4.3	Diagram vlivu sklonu a orientace FVE (upraveno z [21])	27
Obr. 6.1	Domácí FV elektrárna ve Lhotě	34
Obr. 6.2	Logo společnosti Solarion CZ (upraveno z [40])	36
Obr. 6.3	Polykrystalické panely Canadian Solar CS6P-240.....	37
Obr. 6.4	Solární inverter Kostal Piko 5.5	39
Obr. 6.5	Přední strana invertoru Kostal Piko 5.5.....	39
Obr. 6.6	Rozvaděč Stilo STD6-18 s komponenty	40
Obr. 6.7	Elektroměr NERIS DVH5161-M.....	41
Obr. 6.8	DC svodič Hakel SPUM 600/2 DC	41
Obr. 6.9	Jistič Moeller PL6-B16/3	42
Obr. 6.10	Elektroměr ITRON SL7000	43
Obr. 6.11	Prostředí portálu CS OTE.....	45
Obr. 6.12	Prostředí Portál naměřených dat ČEZ.....	46
Obr. 7.1	Fotka vyfocená pomocí infrakamery Fluke Ti27	56
Tab. 2.1	Přehled instalovaných výkonů a výkupních cen v ČR od roku 2005 (překresleno z [10]).....	16
Tab. 3.1	Technické parametry a vlastnosti křemíku [18]	20
Tab. 3.2	Účinnosti jednotlivých typů křemíkových článků (vlastní zdroj).....	23
Tab. 5.1	Výhody a nevýhody invertorů s transformátorem a bez transformátoru (překresleno z [4]).....	31
Tab. 5.2	Porovnání cen WattRouterů [33–37].....	33
Tab. 6.1	Technické a mechanické parametry solárních panelů Canadian Solar CS6P-240 [41].....	37
Tab. 6.2	Vstupní a výstupní technické parametry invertoru Kostal Piko 5. 5 [42].....	38
Tab. 6.3	Mechanické parametry invertoru Kostal Piko 5.5 [42].....	38
Tab. 6.4	Technické a mechanické parametry elektroměru NERIS DVH5161-M [43].....	40
Tab. 6.5	Technické parametry svodiče Hakel SPUM 600/2 DC [45].....	41
Tab. 6.6	Technické parametry jističe Moeller PL6-B16/3 [46].....	42
Tab. 6.7	Pásma a programy tarifů ČEZ.....	42
Tab. 6.8	Technické parametry elektroměru ITRON SL7000 [47].....	43
Tab. 6.9	Silové kabely LAM SOLAR-R [38].....	44
Tab. 7.1	Souhrnná měsíční data elektrické energie a klimatických podmínek v roce 2015	49
Tab. 7.2	Naměřená data pro denní spotřebovanou energii	51
Tab. 7.3	Hodnoty poplatků od roku 2012 do 2014.....	53
Tab. 7.4	Náklady vynaložené na provoz FVE.....	54
Tab. 7.5	Hodnoty bonusů pro rok 2013 a 2014	55
Tab. 7.6	Výnosy z FVE v roce 2015	55
Graf 7.1	Vyrobená elektrická energie FVE v roce 2015	47
Graf 7.2	Doba slunečního svitu v roce 2015	47
Graf 7.3	Průměrné měsíční teploty za rok 2015	48
Graf 7.4	Množství srážek za rok 2015.....	48
Graf 7.5	Porovnání vyrobené přebytečné energie po dnech kolem 20. 3. 2015.....	50
Graf 7.6	Vyrobená energie v dubnu 2016 – od 13. 4. do 26. 4.....	52
Graf 7.7	Sluneční svit v dubnu 2016 – od 13. 4. do 26. 4.	52

Přílohy

Příloha A – Přebytky vyrobené elektrické energie a doba slunečního svitu

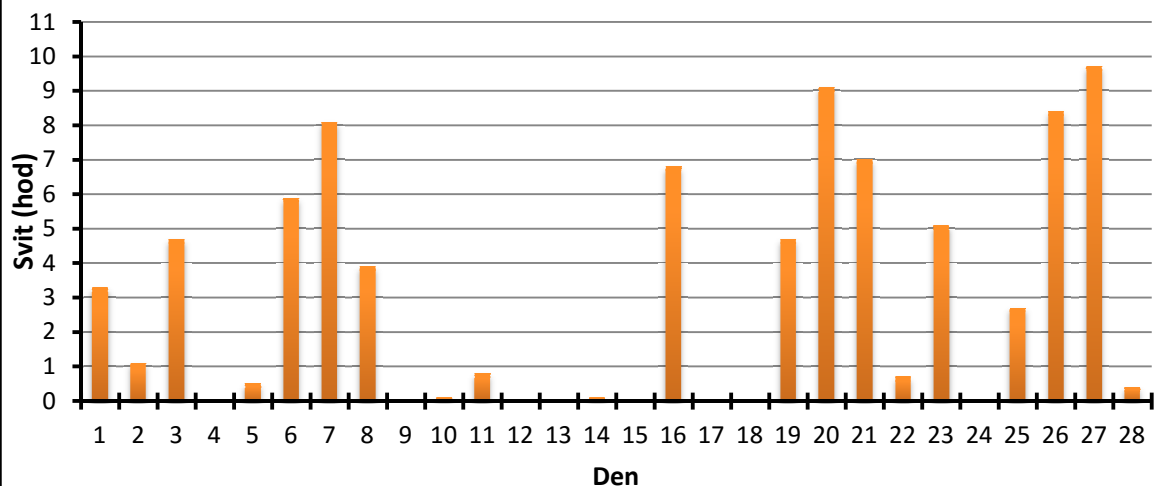


Únor 2015 - přebytky vyrobené elektrické energie



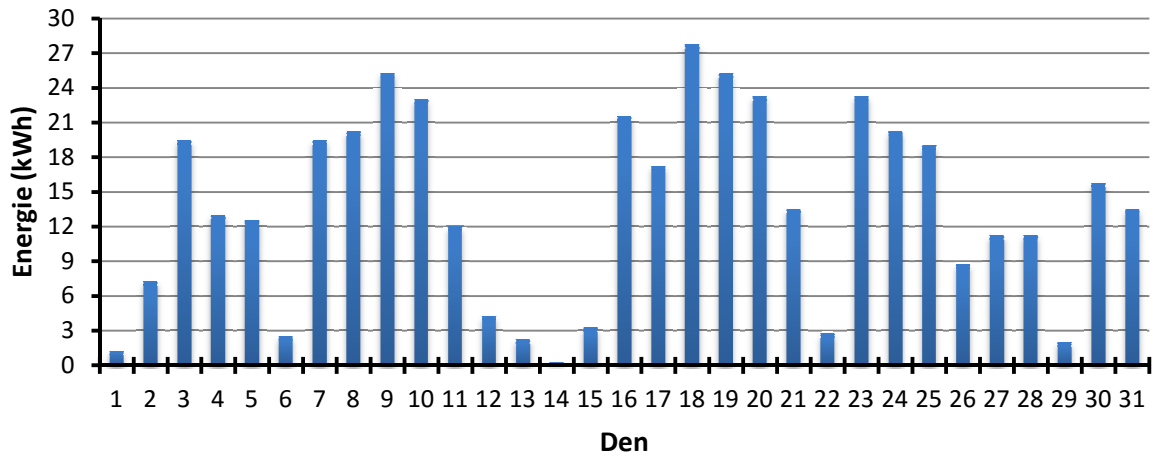
Celková vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: **392 / 215,5 / 176,5 kWh/měsíc**
 Průměrná vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: **14 / 7,696 / 6,304 kWh/den**

Únor 2015 - doba slunečního svitu



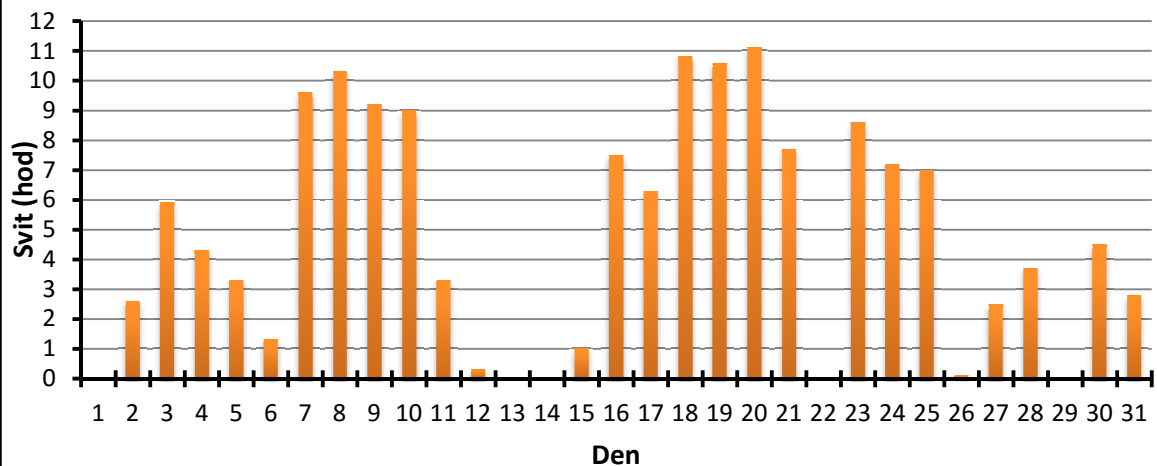
Celková doba slunečního svitu: **83,1 hod/měsíc**
 Průměrná doba slunečního svitu: **3 hod/den**

Březen 2015 - přebytky vyrobené elektrické energie



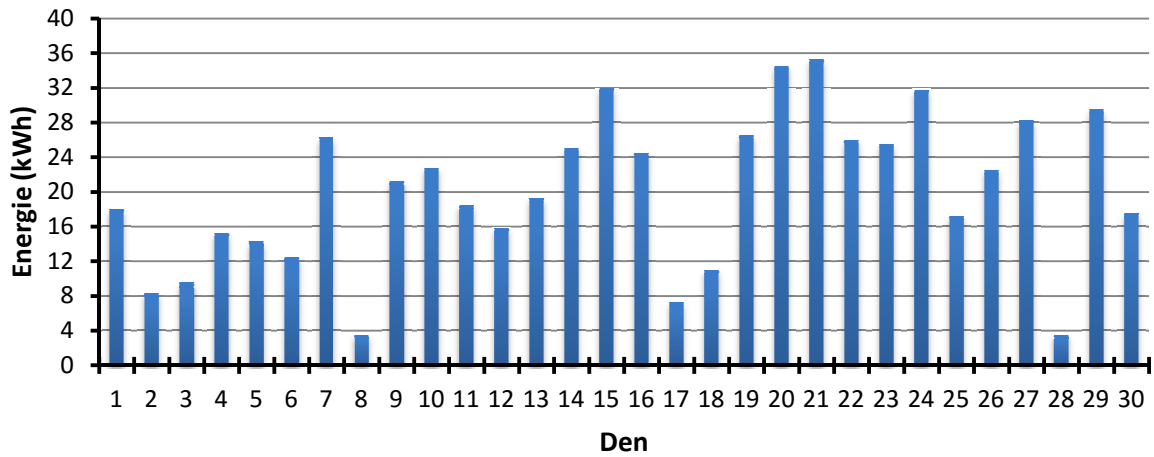
Celková vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: **711 / 422,25 / 288,75 kWh/měsíc**
 Průměrná vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: **22,935 / 13,621 / 9,315 kWh/den**

Březen 2015 - doba slunečního svitu



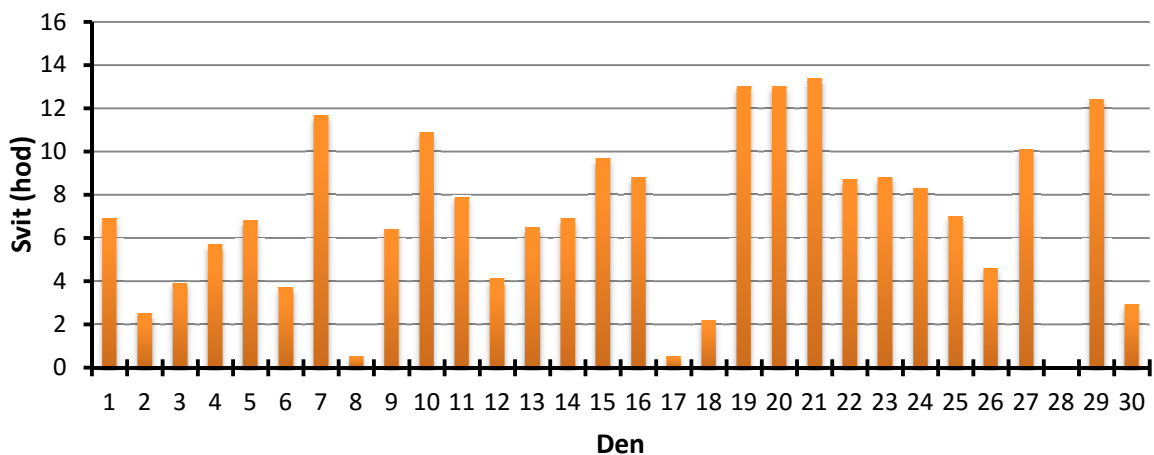
Celková doba slunečního svitu: **150,5 hod/měsíc**
 Průměrná doba slunečního svitu: **4,9 hod/den**

Duben 2015 - přebytky vyrobené elektrické energie



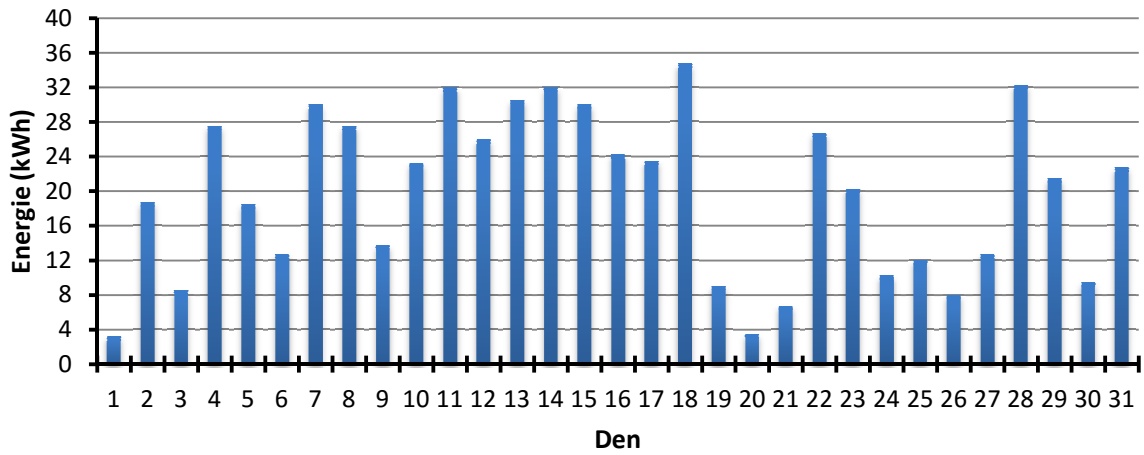
Celková vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: 728 / 602,75 / 125,25 kWh/měsíc
 Průměrná vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: 24,267 / 20,092 / 4,175 kWh/den

Duben 2015 - doba slunečního svitu



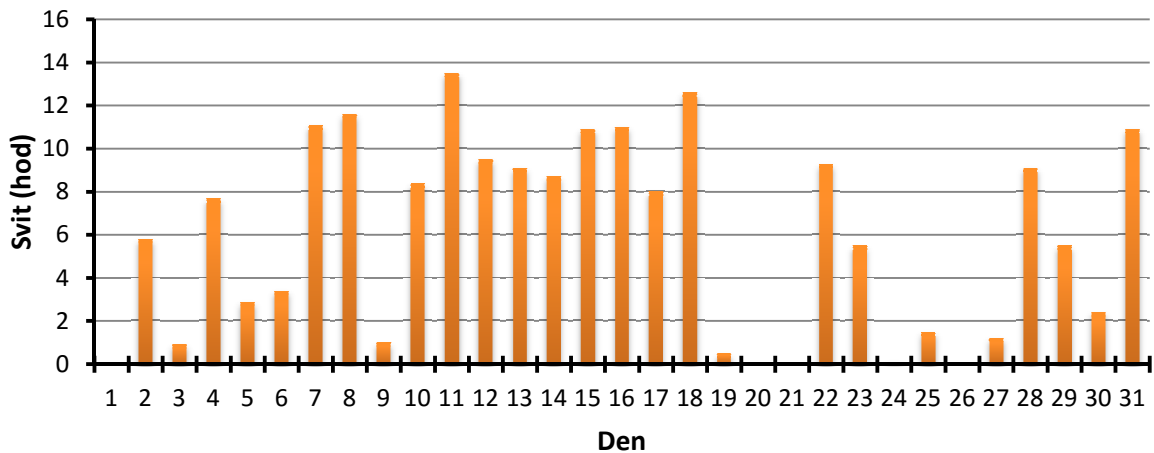
Celková doba slunečního svitu: 207,8 hod/měsíc
 Průměrná doba slunečního svitu: 6,9 hod/den

Květen 2015 - přebytky vyrobené elektrické energie



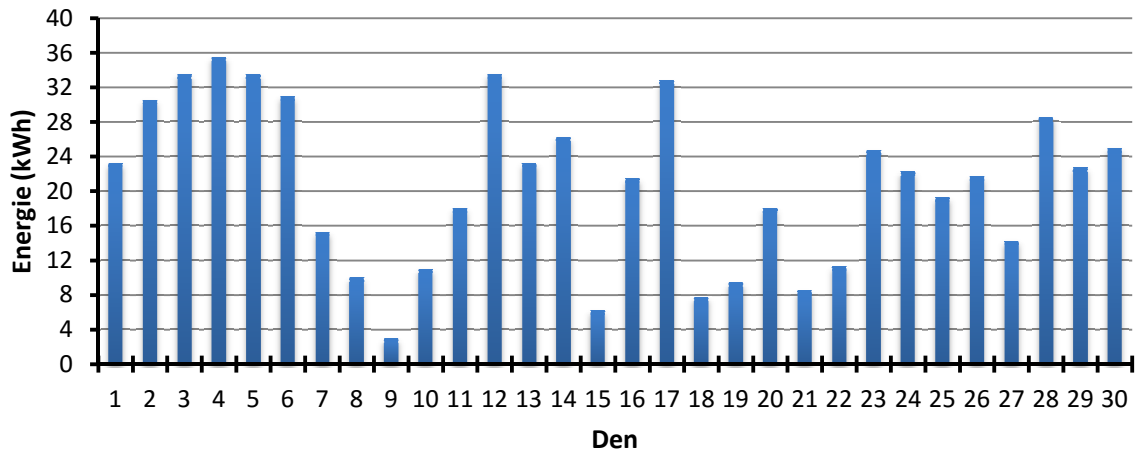
Celková vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: 782 / 612 / 170 kWh/měsíc
 Průměrná vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: 25,226 / 19,742 / 5,484 kWh/den

Květen 2015 - doba slunečního svitu



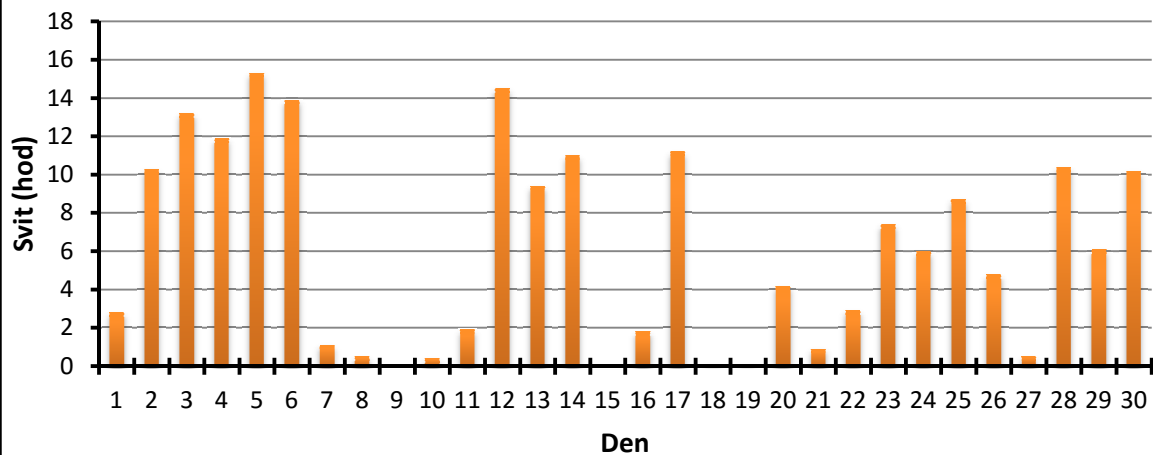
Celková doba slunečního svitu: 182,1 hod/měsíc
 Průměrná doba slunečního svitu: 5,9 hod/den

Červen 2015 - přebytky vyrobené elektrické energie



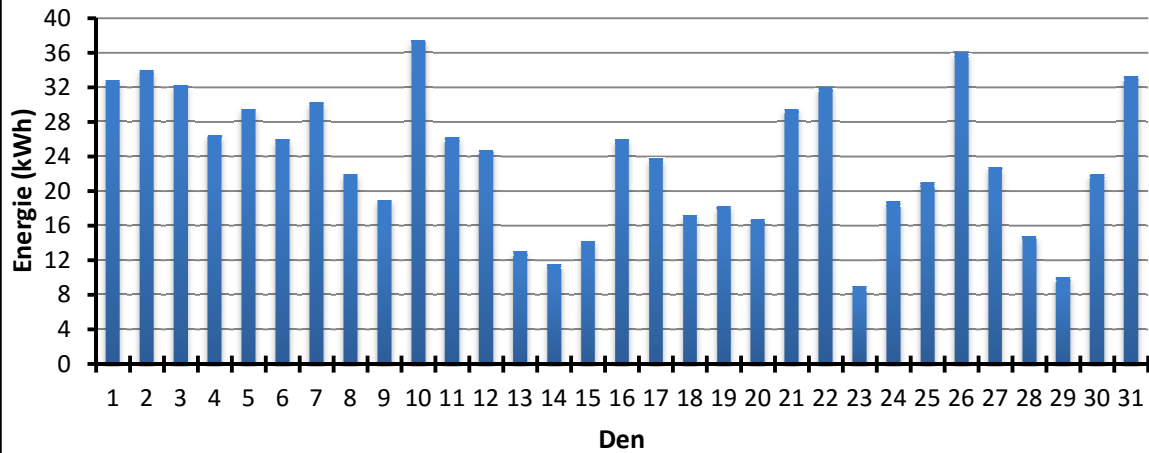
Celková vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: **716 / 621,5 / 94,5 kWh/měsíc**
 Průměrná vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: **23,867 / 20,717 / 3,15 kWh/den**

Červen 2015 - doba slunečního svitu



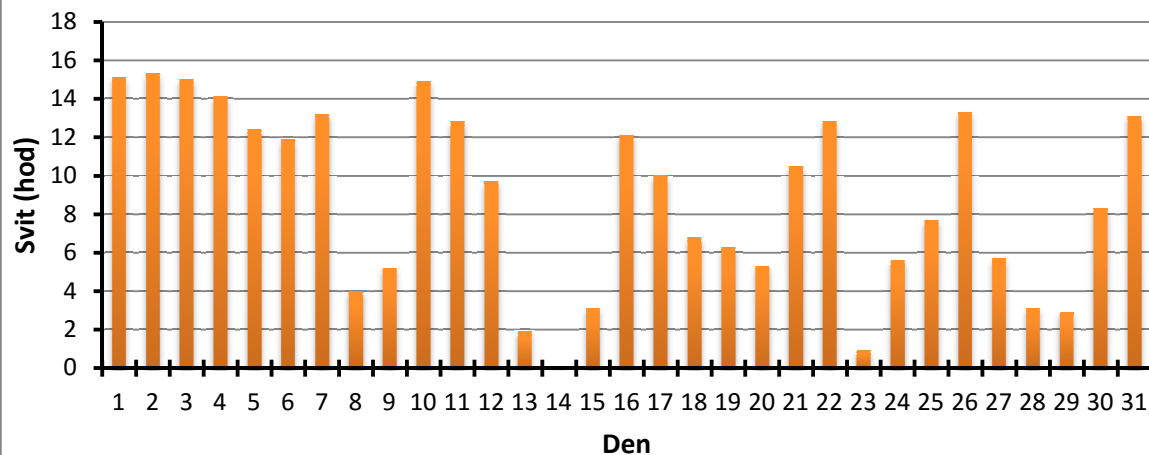
Celková doba slunečního svitu: **181,1 hod/měsíc**
 Průměrná doba slunečního svitu: **6,1 hod/den**

Červenec 2015 - přebytky vyrobené elektrické energie



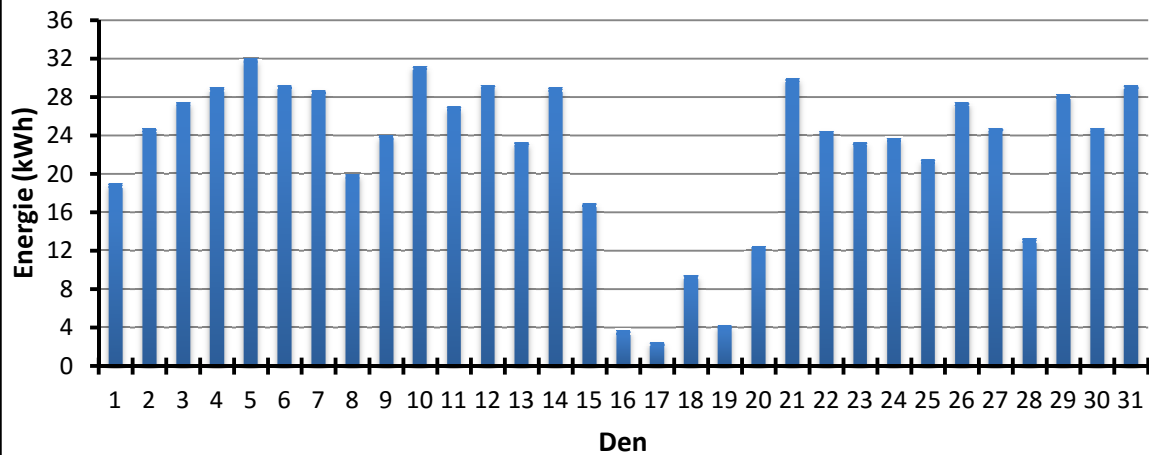
Celková vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: 849 / 730,5 / 118,5 kWh/měsíc
 Průměrná vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: 27,384 / 23,565 / 3,823 kWh/den

Červenec 2015 - doba slunečního svitu



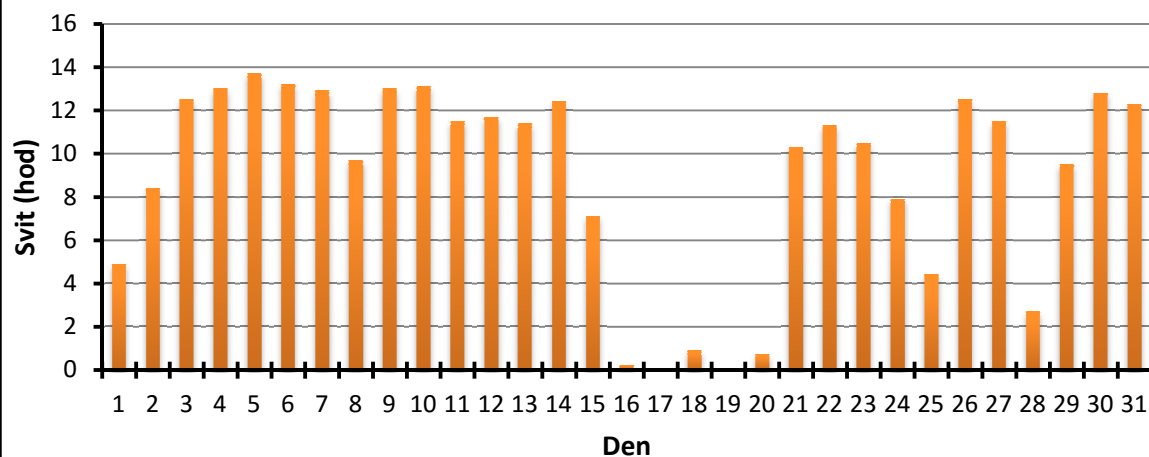
Celková doba slunečního svitu: 273,1 hod/měsíc
 Průměrná doba slunečního svitu: 8,8 hod/den

Srpen 2015 - přebytky vyrobené elektrické energie



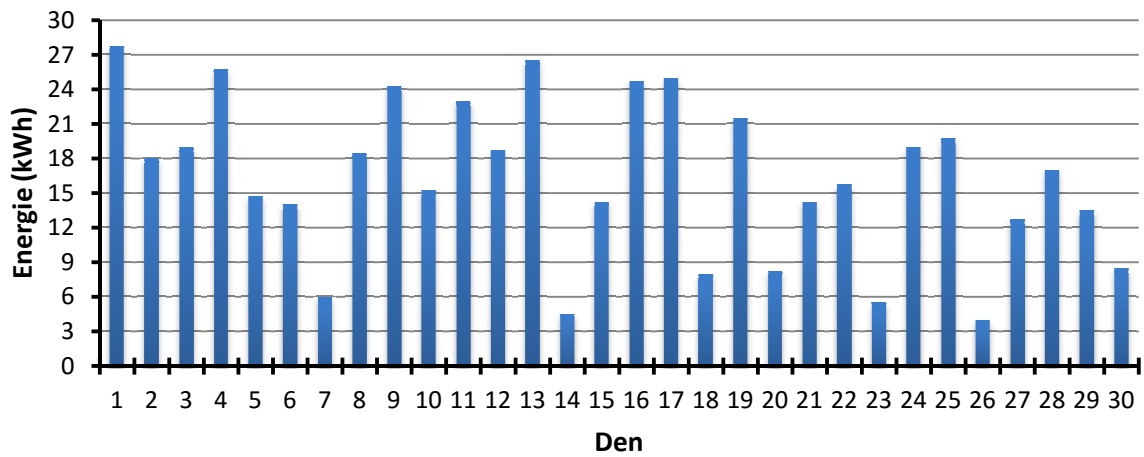
Celková vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: 831 / 694,25 / 136,75 kWh/měsíc
 Průměrná vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: 26,806 / 22,395 / 4,411 kWh/den

Srpen 2015 - doba slunečního svitu



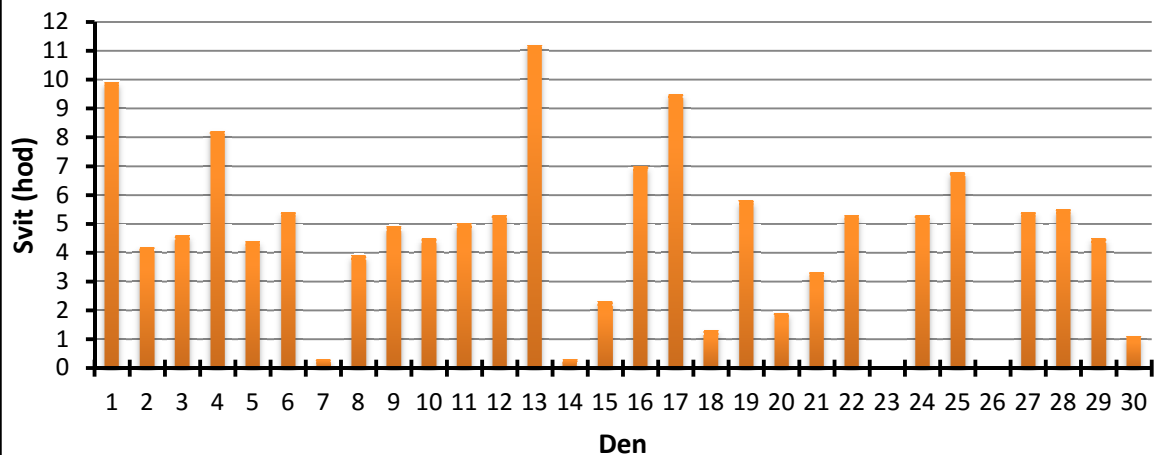
Celková doba slunečního svitu: 276 hod/měsíc
 Průměrná doba slunečního svitu: 8,9 hod/den

Září 2015 - přebytky vyrobené elektrické energie



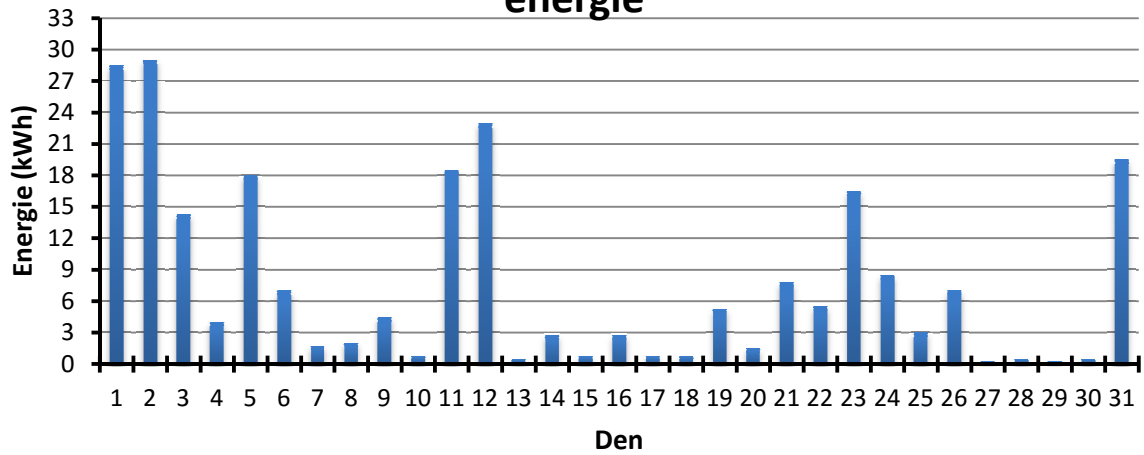
Celková vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: 600 / 487,75 / 112,25 kWh/měsíc
 Průměrná vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: 20 / 16,258 / 3,742 kWh/den

Září 2015 - doba slunečního svitu



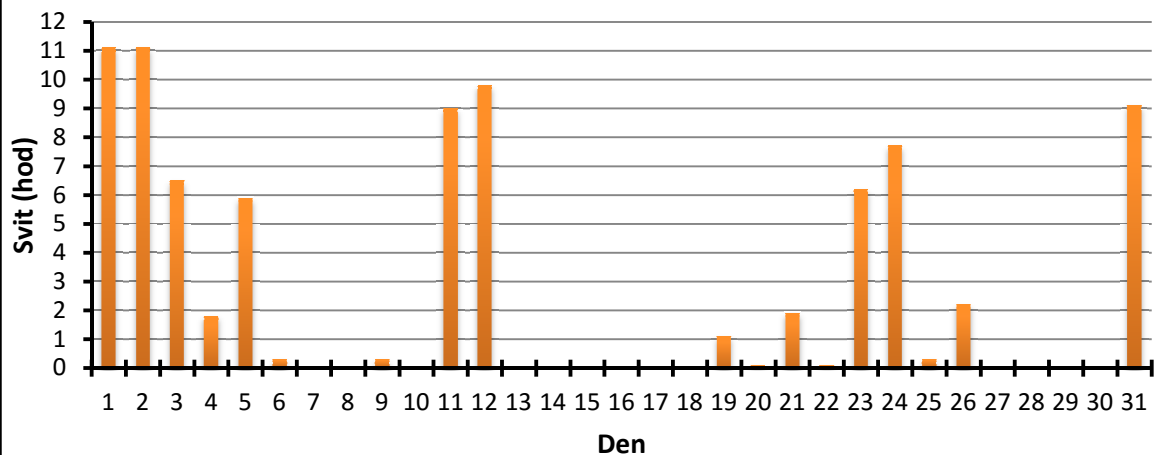
Celková doba slunečního svitu: 137,1 hod/měsíc
 Průměrná doba slunečního svitu: 4,6 hod/den

Říjen 2015 - přebytky vyrobené elektrické energie



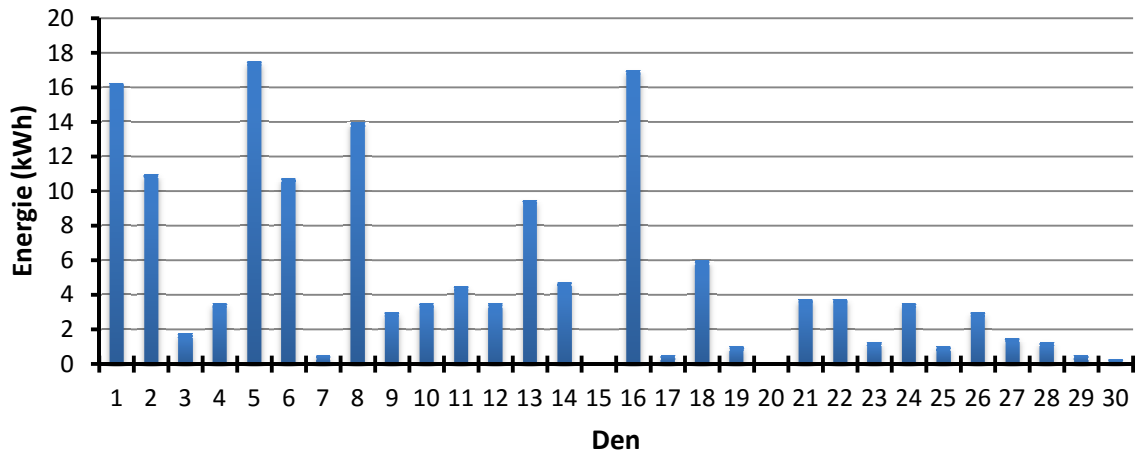
Celková vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: **340 / 235,5 / 104,5 kWh/měsíc**
 Průměrná vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: **10,968 / 7,597 / 3,371 kWh/den**

Říjen 2015 - doba slunečního svitu



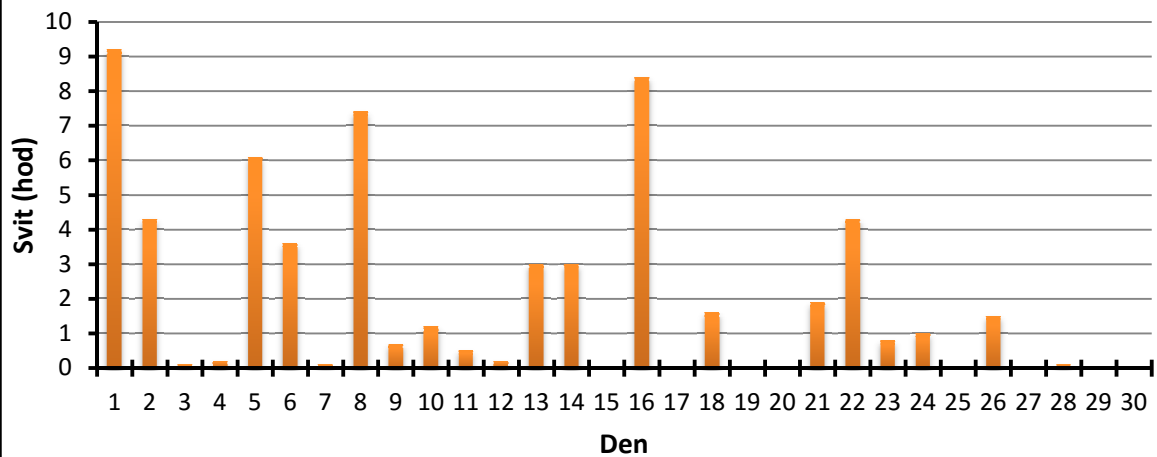
Celková doba slunečního svitu: **84,5 hod/měsíc**
 Průměrná doba slunečního svitu: **2,7 hod/den**

Listopad 2015 - přebytky vyrobené elektrické energie



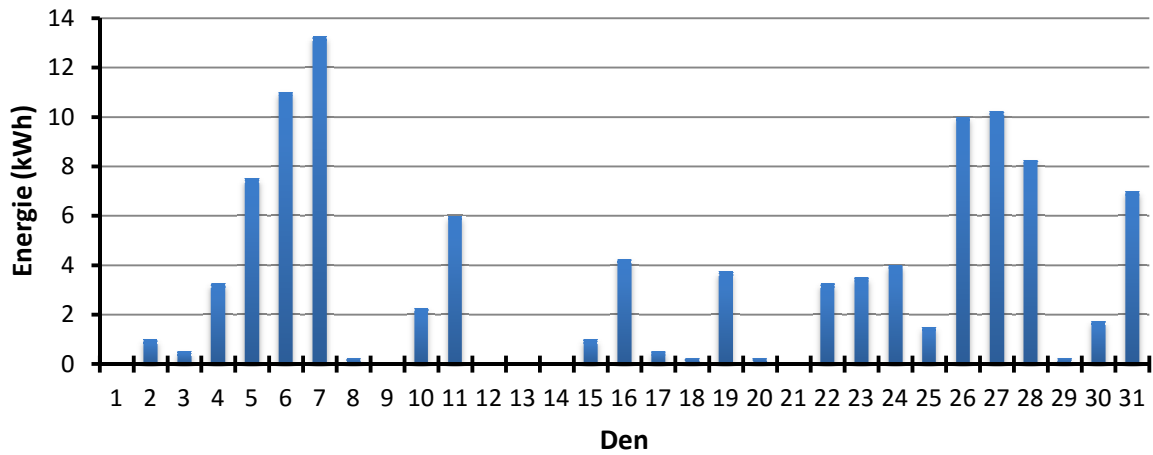
Celková vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: 220 / 148,25 / 71,75 kWh/měsíc
 Průměrná vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: 7,333 / 4,942 / 2,392 kWh/den

Listopad 2015 - doba slunečního svitu



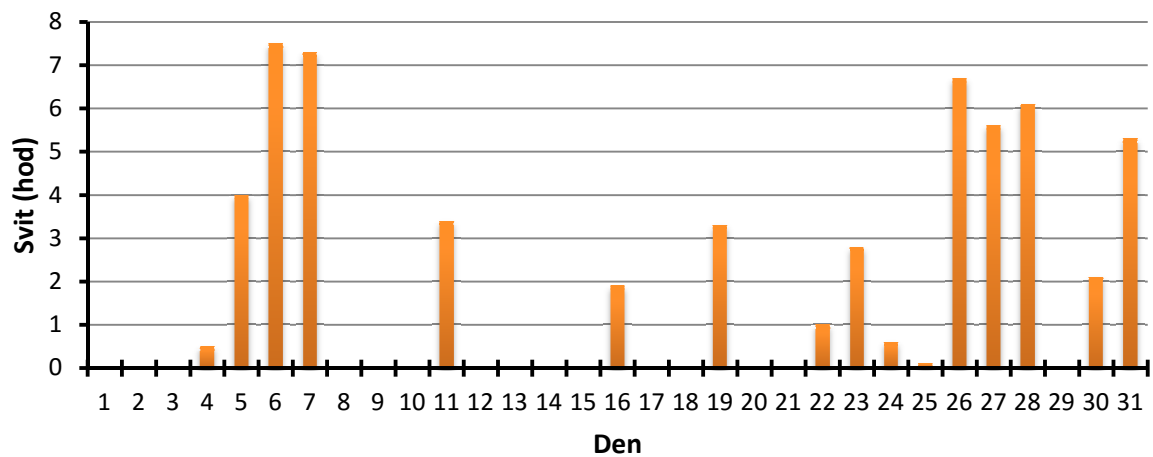
Celková doba slunečního svitu: 59,2 hod/měsíc
 Průměrná doba slunečního svitu: 2 hod/den

Prosinec 2015 - přebytky vyrobené elektrické energie



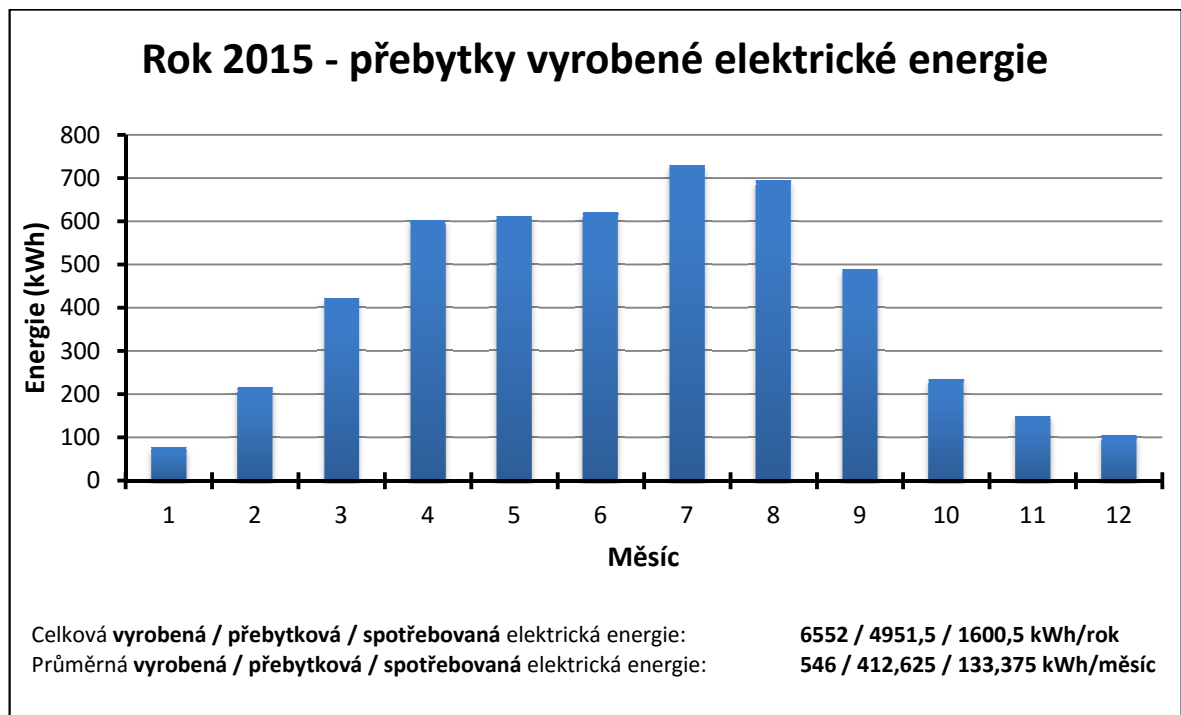
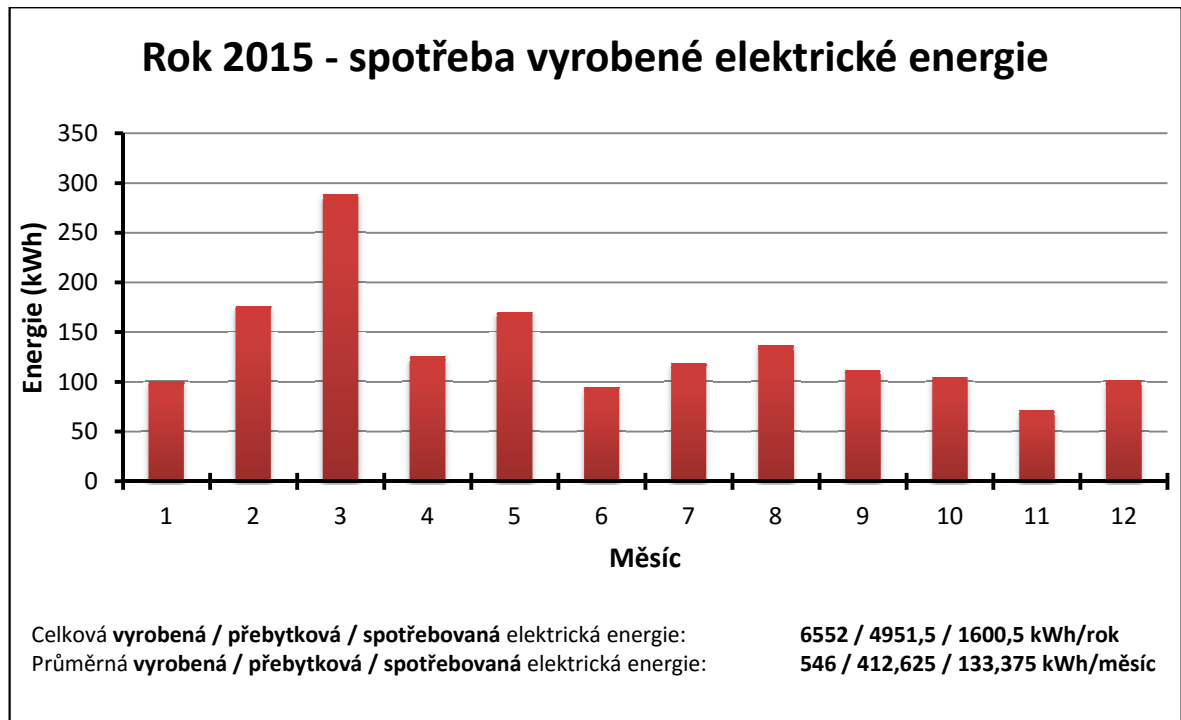
Celková vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: 206 / 104,75 / 101,25 kWh/měsíc
 Průměrná vyrobená / přebytková / spotřebovaná elektrická energie: 6,645 / 3,379 / 3,266 kWh/den

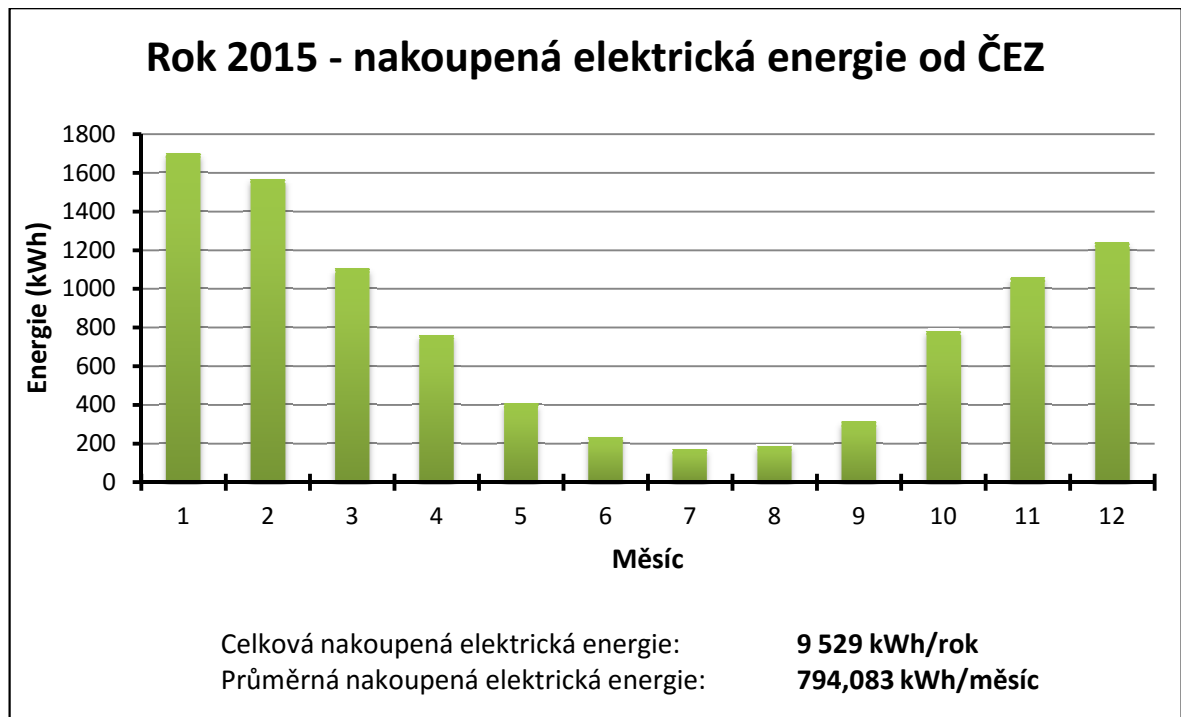
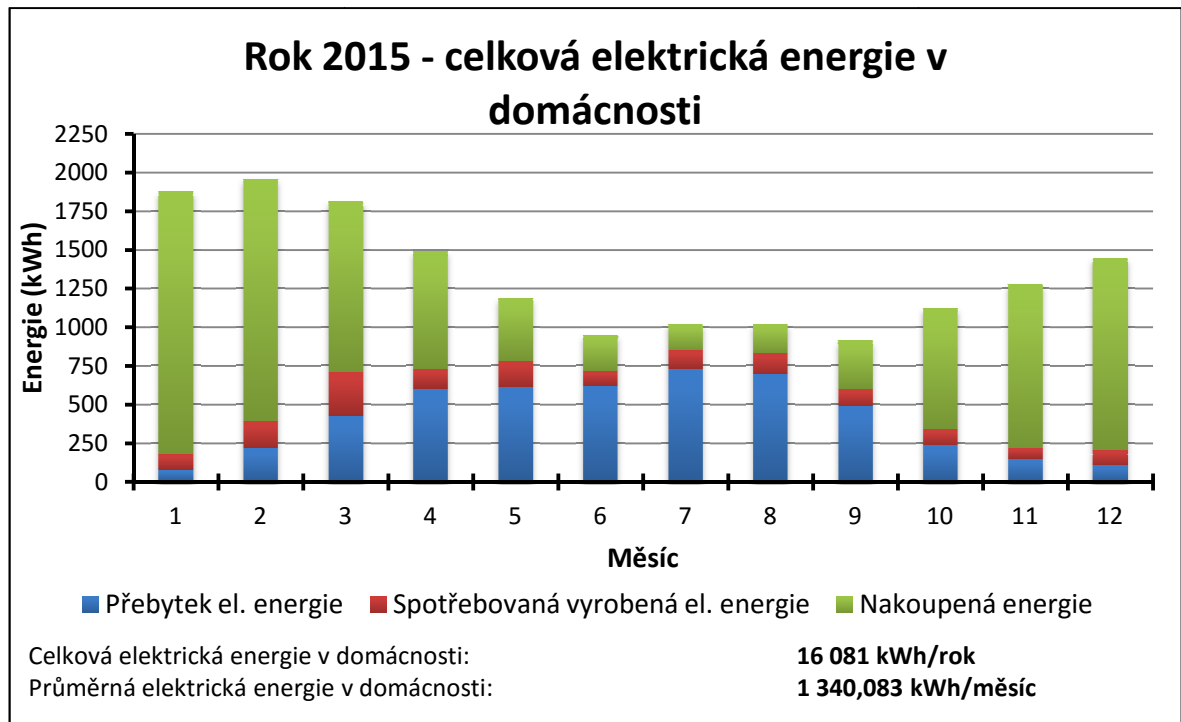
Prosinec 2015 - doba slunečního svitu

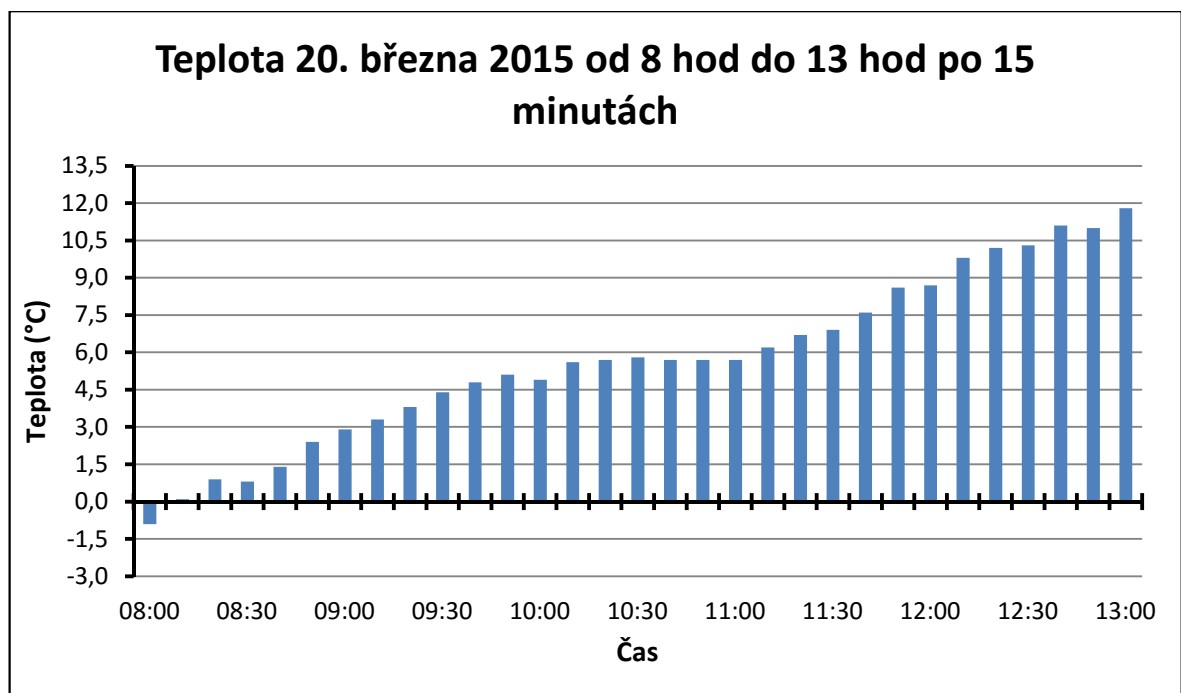
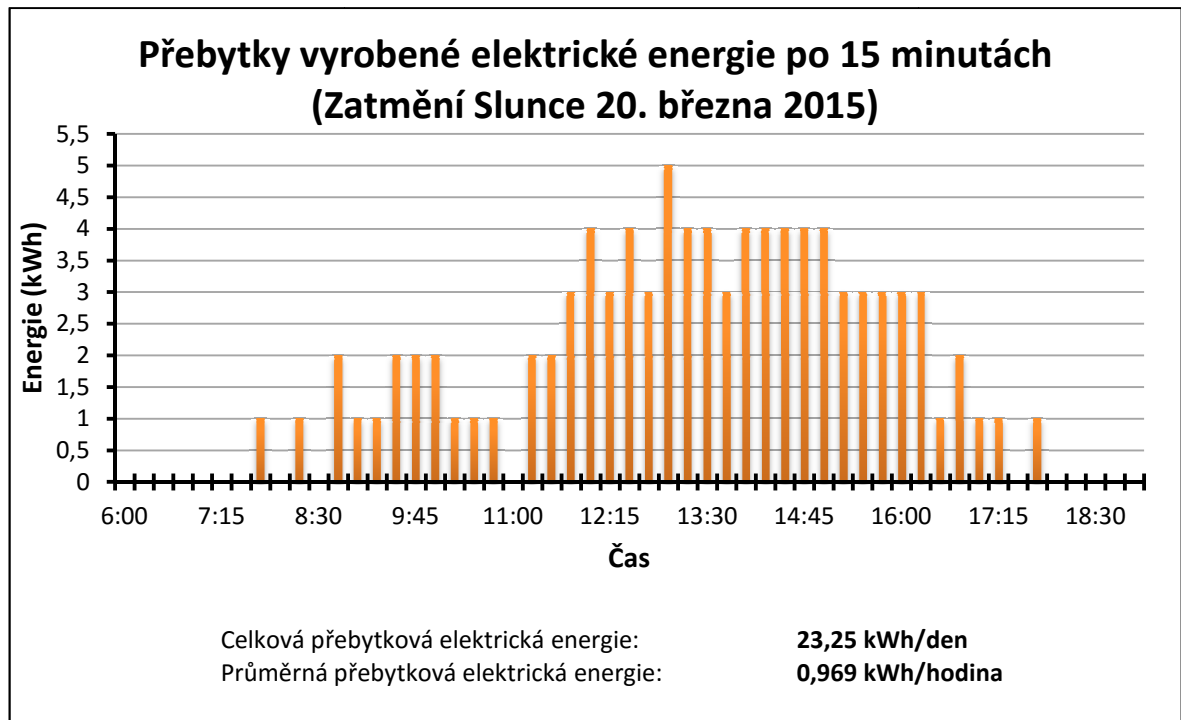


Celková doba slunečního svitu: 58,2 hod/měsíc
 Průměrná doba slunečního svitu: 1,9 hod/den

Příloha B – Grafy pro přehled naměřených hodnot

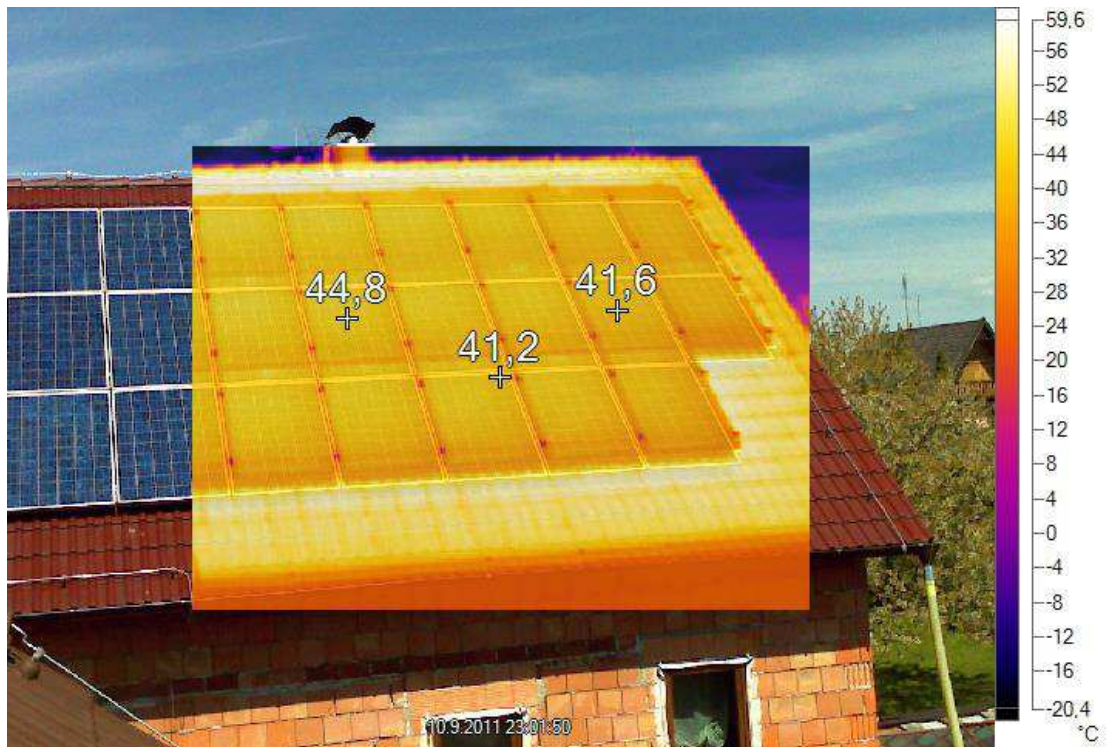
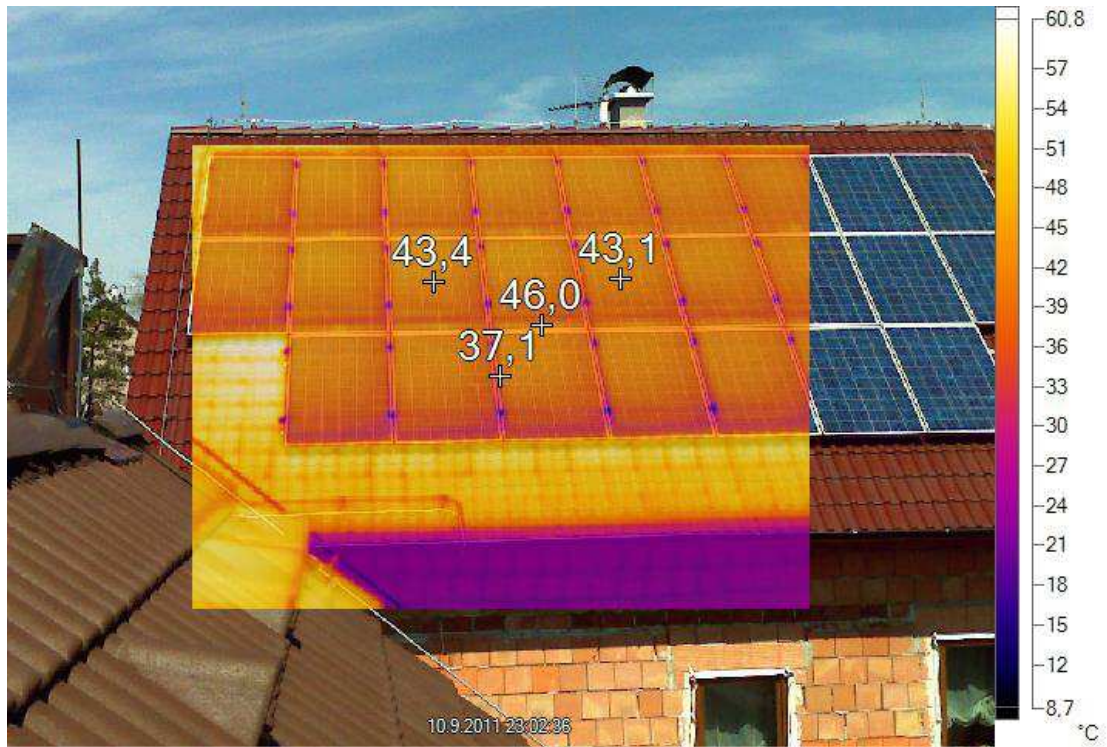


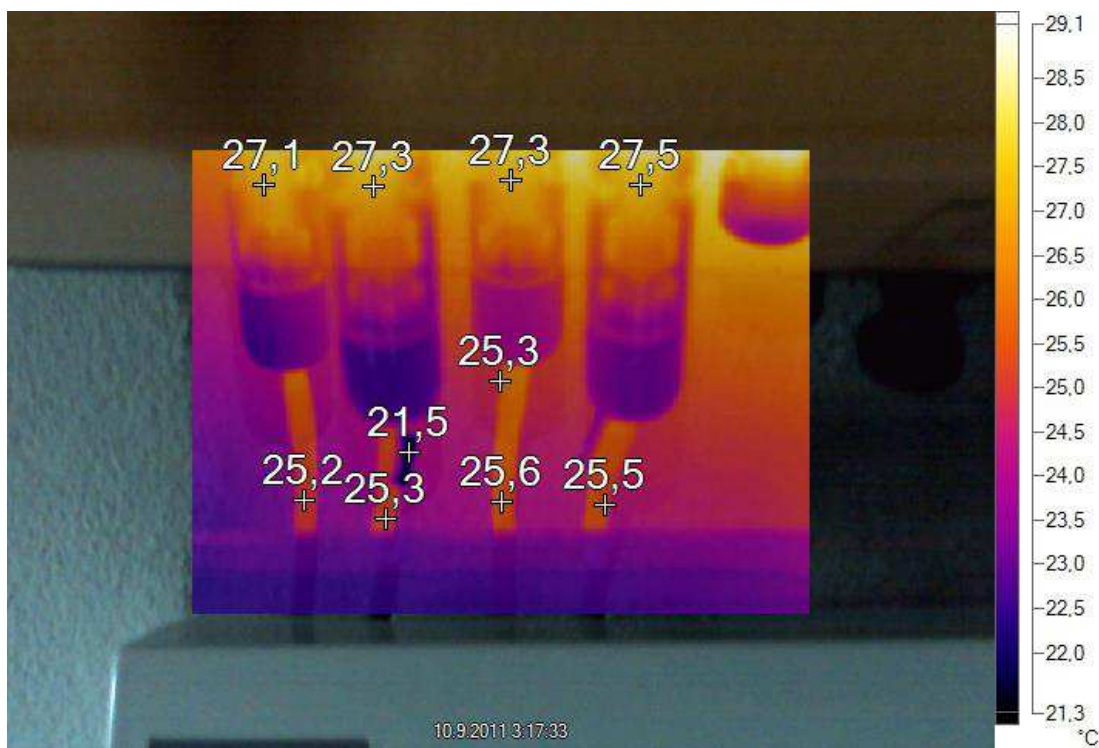
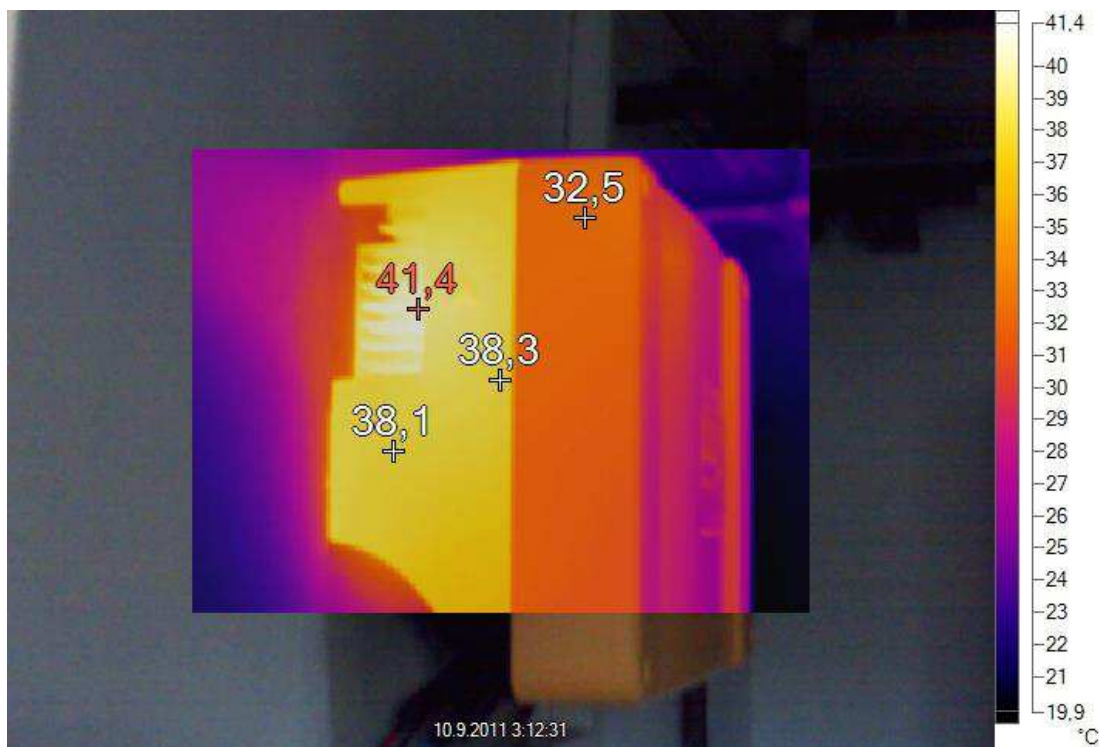




Příloha C – Fotografie FVE







Příloha D – Blokové schéma elektrárny

