

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Fotovoltaické elektrárny v České republice

**Vedoucí práce: Ing. Lenka Raková
Autor: Tomáš Fictum**

2015

Originál (kopie) zadání BP/DP

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na FVE. První část práce je zaměřena na principy a typy fotovoltaických článků. Druhá část se zabývá metodami možnosti zvýšení účinnosti FVE. Třetí část je zaměřena na návrhu FVE pro rodinný dům a analýzu čtyř lokalit pro výstavbu FVE v ČR. Ve čtvrté části práce je využívání FVE v ČR a popis některých z nich. Pátá část se zabývá legislativou a výkupními cenami v ČR. V posledním bodu bakalářské práce je zhodnocení výhod i nevýhod možného navýšení instalovaného výkonu FVE v ČR.

Klíčová slova

Fotovoltaické elektrárny, fotovoltaické články, fotovoltaické panely, elektřina, slunečné záření

Abstract

The bachelor thesis is focused on photovoltaic power plants. The first part focuses on the principles and types of photovoltaic cells. The second part deals with methods the possibility of increasing the efficiency of solar panels. The third part focuses on the design of solar power for house and an analysis of four sites for the construction of photovoltaic power plants in the Czech Republic. In the fourth part is the use of photovoltaic power plants in the Czech Republic and a description of some of them. The fifth section deals with legislation and purchase prices in the country. In the last point of this thesis is to evaluate the advantages and disadvantages of a possible increase in installed capacity FVE Czech Republic.

Key words

Photovoltaic power, photovoltaic cells, photovoltaic panels, electricity, solar radiation

Prohlášení

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

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

.....
podpis

V Plzni dne 27.5.2015

Tomáš Fictum

Poděkování

Tímto bych velice rád poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Lence Rakové za opravdu skvělé vedení této bakalářské práce, odbornost, velkou ochotu a mimo jiné i cenné rady a připomínky, které bezpochyby vedly k dokončení bakalářské práce.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
ÚVOD	9
1 FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	10
1.1 FOTOELEKTRICKÝ JEV	14
1.2 PRINCIP FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU	14
1.3 SLOŽENÍ FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	16
1.4 NÁHRADNÍ SCHÉMA FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU	16
1.5 TYPY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	17
1.5.1 Monokrystalické články	17
1.5.2 Polykrystalické články	19
1.5.3 Amorfni (tenkovrstvé) články	20
1.5.4 Tandemové články	21
1.6 KONSTRUKCE FVE	22
1.7 VLASTNOSTI FOTOVOLTAIKY	27
2 MOŽNOSTI ZVÝŠENÍ ÚČINNOSTI FVE	29
2.1 ANTIREFLEXNÍ VRSTVY A TEXTURA POVRCHU	29
2.2 OBOUSTRANNÉ FOTOVOLTAICKÉ PANELY	29
2.3 NATÁČENÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ ZA SLUNCEM	30
2.4 KONCENTRÁTORY	31
3 KLIMATICKÉ PODMÍNKY V ČR	33
3.1 VÝPOČET SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE ZA DEN A MĚSÍC	33
3.2 VÝPOČET INSTALOVANÉHO VÝKONU FVE A POČET FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	35
3.3 VÝPOČET KAPACITY AKUMULÁTORU	35
3.4 ANALÝZA FVE VE ČTYŘECH LOKALITÁCH	36
3.5 VÝSLEDEK ANALÝZ V JEDNOTLIVÝCH OBLASTECH	37
4 VYUŽITÍ FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN V ČR	39
4.1 PRVNÍ DUKOVANSKÁ FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA V ČR	39
4.2 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA RALSKO	40
4.3 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA ŠEVĚTÍN	41
4.4 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA MIMOŇ	42
4.5 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA VRANOVSKÁ VES	43
4.6 VÝKON A POČET VŠECH FVE V ČR	44
4.7 POROVNÁNÍ VÝROBY ELEKTRINY FVE V ČR	45
5 LEGISLATIVA FVE V ČR	47
5.1 VÝKUPNÍ CENY ELEKTRINY FVE OD ROKU 2005 DO ROKU 2014	49
6 VÝHODY A NEVÝHODY NAVÝŠENÍ INSTALOVANÉHO VÝKONU FVE V ČR	52
6.1 TERMICKÁ RECYKLACE	53
6.2 MECHANICKO-CHEMICKÁ METODA	54
ZÁVĚR	56
LITERATURA	57
PŘÍLOHY	2

Seznam symbolů a zkratk

VOC..... Napětí naprázdno

VPM..... Napětí po zatížení

FVE..... Fotovoltaická elektrárna

VA..... Volt-ampérová

MPP..... Bod maximálního výkonu (Maximum power point)

FV..... Fotovoltaické

Úvod

Fotovoltaické elektrárny mají stejně tak i jako ostatní energetické zdroje své výhody i nevýhody. Jelikož patří mezi obnovitelné zdroje energie, jsou tendence maximálně využít jejich energetický potenciál. FV systémy se používají zejména ve vesmíru ať už na družicových stanicích apod., ale také pro uživatelský provoz, například pro rodinné domy. Pro uživatelský provoz dosahují FV panely maximální účinnosti okolo 20 %, pokud se jedná o monokrystalické panely. U jiných FV panelů dosahujeme menších účinností, tedy u polykrystalických a amorfních panelů. Panely se ovšem neustále vytvářejí nové a jiné tak, aby dosahovaly vyšších účinností. Mimo jiné se také vytvářejí FV panely, které sice dosahují poměrně nízkých účinností, ovšem jsou vytvořené z levných materiálů. FV panely se momentálně vyrábějí převážně z křemíku, ale i nadále se zkoumají a vyvíjejí jiné druhy materiálů a technologií, které by přispěli ke zlepšení současného stavu. Příkladem jsou tandemové články, které jsou vyrobeny z organických polymerů, dosahují poměrně nízkých účinností, ale výroba a druh materiálu je podstatně levnější oproti výrobě FV panelů z křemíku. Vzhledem k tomu, jak jsou a budou pro lidstvo stále důležitějšími obnovitelné zdroje energie, zvolil jsem si téma bakalářské práce, která se zabývá fotovoltaikou.

V této bakalářské práci jsem se věnoval principy přeměny slunečního záření na elektrickou energii, dále typy FV článků, včetně jejich výhod i nevýhod. V následující části jsem se zaměřil na možnosti zvýšení účinnosti FVE klimatickými podmínkami v ČR, a poté návrhem malé FVE pro rodinný dům. Následně analýze této FVE pro rodinný dům ve čtyřech lokalitách, a to v Plzeňském, Jihomoravském, Ústeckém a Olomouckém kraji. V neposlední řadě jsem dal pozornost legislativě a na závěr výhodami i nevýhodami možného navýšení instalovaného výkonu FVE v ČR.

1 Fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaické elektrárny jsou složeny z fotovoltaických panelů, konstrukcí, střídačů (měničů), elektroměrů, zálohovacích akumulátorů, regulátoru dobíjení, propojovacích vodičů, konektorů a transformátorů. Z hlediska provozního režimu lze u fotovoltaických elektráren rozlišovat na tři základní typy:

- Ostrovní systém (bez připojení na elektrickou síť)
- Připojení na elektrickou síť
- Připojení na elektrickou síť za využití zeleného bonusu

Střídače

Fotovoltaické panely vyrábí stejnosměrný proud. Pro další používání a připojení na distribuční síť, je nutné přeměnit stejnosměrný proud na střídavý, což provádí zařízení, které se nazývá střídač nebo také invertor (Obr. 1). Střídač slouží nejenom k přeměně elektrického proudu, ale také reguluje napájení sítě a v případě poruchy, je střídač doplněný ochrannými prvky, které okamžitě odpojí FVE od sítě. Moderní střídače mohou být doplněny displejem, který ukazuje například: okamžitý výkon, okamžité napětí, vyprodukovanou energii, atd. Účinnost moderních měničů dosahuje 97 až 98 %. Zbylá procenta, tedy 2 až 3 %, jsou tepelné ztráty. Životnost střídačů bývá kolem 20 let a výše. Výrobci nejčastěji dávají záruku 5 let, přičemž je možnost prodloužení až na 20 let za určitý finanční příspěvek. [21, 22]

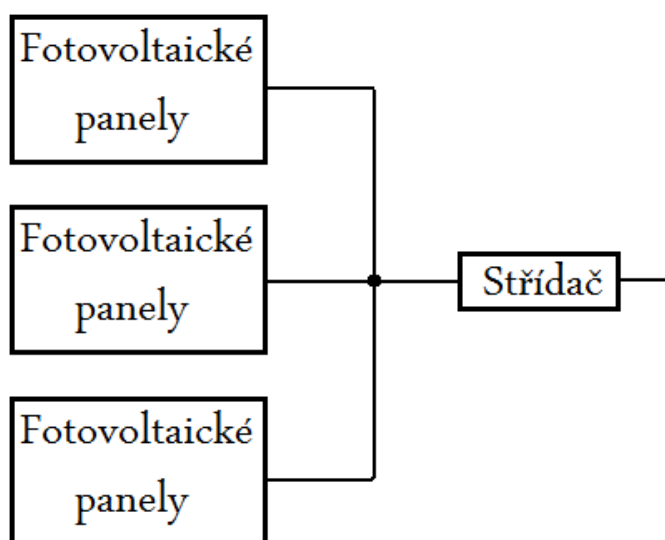


Obr. 1 Zapojení střídače v rodinném domě [22]

Typy střídačů

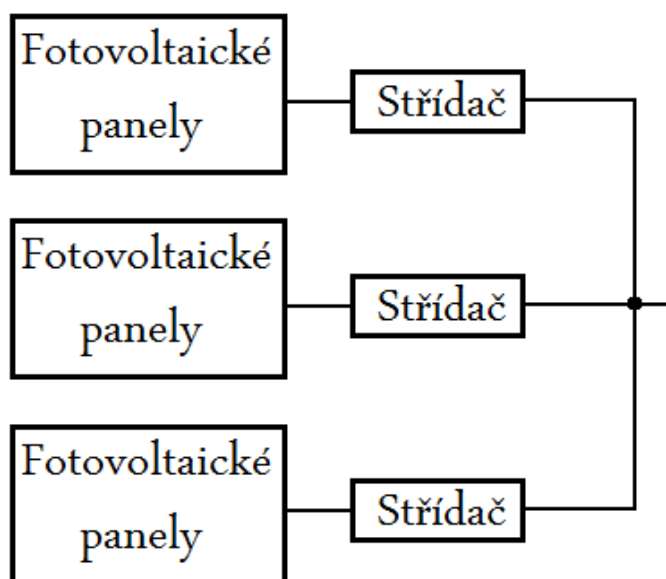
Střídače se rozdělují podle výkonu na jednofázové, dvoufázové a třífázové. Připojení na dvě popřípadě tři fáze se provádí v případě větších FVE. Další rozdělení střídačů je podle technologie na transformátorové a bez transformátorové. Velkou výhodou při použití transformátorového měniče je galvanické oddělení celé FVE od sítě. Nevýhodou transformátorového měniče je snížení účinnosti, a to o 1 až 2 %. Výhoda bez transformátorových střídačů je vyšší účinnost a naopak nevýhoda je, že neobsahuje žádné galvanické oddělení, které chrání FVE před poškozením. [22]

Střídače se rozdělují také podle zapojení na centrální, řetězové a individuální. Centrální zapojení (Obr. 2) je zapojení, kde je použit pouze jeden střídač, do kterého vstupují všechny výkony z celé FVE.



Obr. 2 Centrální zapojení

Řetězové zapojení (Obr. 3) je zapojení, kde je použito několik střídačů. Do každého střídače vstupuje výkon, který odpovídá jedné řadě sériově zapojených panelů. Výstup všech střídačů je spojený do jednoho uzlu, který slouží jako výstup FVE. Centrální a řetězové zapojení se používá na pozemních plochách, jako jsou například pole a louky. Individuální zapojení je zapojení se stejným počtem střídačů jako fotovoltaických panelů. Každý fotovoltaický panel má výstup připojený do svého střídače a výstup ze všech střídačů je spojený do jednoho uzlu. Individuální zapojení se používá u rodinných domů.



Obr. 3 Řetězové zapojení

Akumulátory

Pro uchování elektrické energie z fotovoltaických panelů je nutné použít akumulátor. Důležitými vlastnostmi akumulátorů jsou například: schopnost regenerace vybití, vysoký stupeň cykličnosti, kapacita a jmenovité napětí. Typy akumulátorů pro použití ve FVE je několik, ovšem existují dva druhy, které jsou momentálně nejvhodnější. Jedná se o bezúdržbové akumulátory s technologií AGM nebo technologií GEL. [23]

Akumulátory AGM (Absorbed glass mat)

Akumulátory AGM obsahují elektrolyt, který není v tekuté formě. Elektrolyt je vyrobený ze skelných vláken s netkanou tkaninou, která je nasáklá. Akumulátory AGM se vyznačují tím, že mají dobré nabíjecí charakteristiky a je-li akumulátor vybitý, snadně a rychle se dobije. Další výhodou je, že jsou velice výkonné, a také odolné vůči cyklické zátěži, tedy při nabíjení a vybíjení. Akumulátory AGM jsou, jak už bylo zmíněno, bezúdržbové. Jsou velice bezpečné, odolné vůči vytečení elektrolytu a dosahují dlouhé životnosti. [24]

Akumulátory GEL

Akumulátory GEL se odlišují od akumulátorů AGM elektrolytem. Elektrolyt je vytvořený z křemičitého gelu. Mezi výhody patří stejně jako u akumulátorů AGM to, že jsou bezúdržbové, odolné vůči vytečení elektrolytu, velice výkonné a dosahují dlouhé životnosti. K dalším výhodám patří také odolnost proti otřesům, vyšší kapacita a možnost umístění i v náklonu. [24]

1.1 Fotoelektrický jev

Fotovoltaické panely pracují na fotoelektrickém jevu, díky kterému jsme schopni získávat elektrickou energii ze slunečního záření. Fotoelektrický jev, byl popsán francouzským fyzikem Alexandrem Edmondem Becquerelem v roce 1839. Jev se nepodařilo správně vyložit a podat Becquerelovi, ani jeho nástupcům. V roce 1905 se podařilo Albertu Einsteinovi správně vyložit fotoelektrický jev, a poté v roce 1922 dostal Nobelovu cenu za fyziku. Albert Einstein při svém výkladu uvedl, že fotoelektrický jev (tzv. fotoefekt) se rozděluje na vnější a vnitřní. Vnější fotoefekt je nazýván fotoemisí. Vnitřní fotoefekt obsahuje dvě formy. Jde o tzv. fotovodivost a fotovoltaický jev. Albert Einstein také při svém výkladu poukázal na to, že záření má charakter vlnění, ale také charakter částic. Jedná-li se o charakter částic, pak je záření představováno tokem (proudem) částic. Charakter vlnění se používá v případě, převažuje-li vlnový charakter. Hlavním parametrem vlnění je vlnová délka λ . Vlnění se tedy skládá z částic, které se nazývají fotony. Tyto fotony nesou energii, která je dána vztahem:

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

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

ν – frekvence (Hz)

c – rychlost světla ve vakuu ($3 \cdot 10^8$ m·s⁻¹)

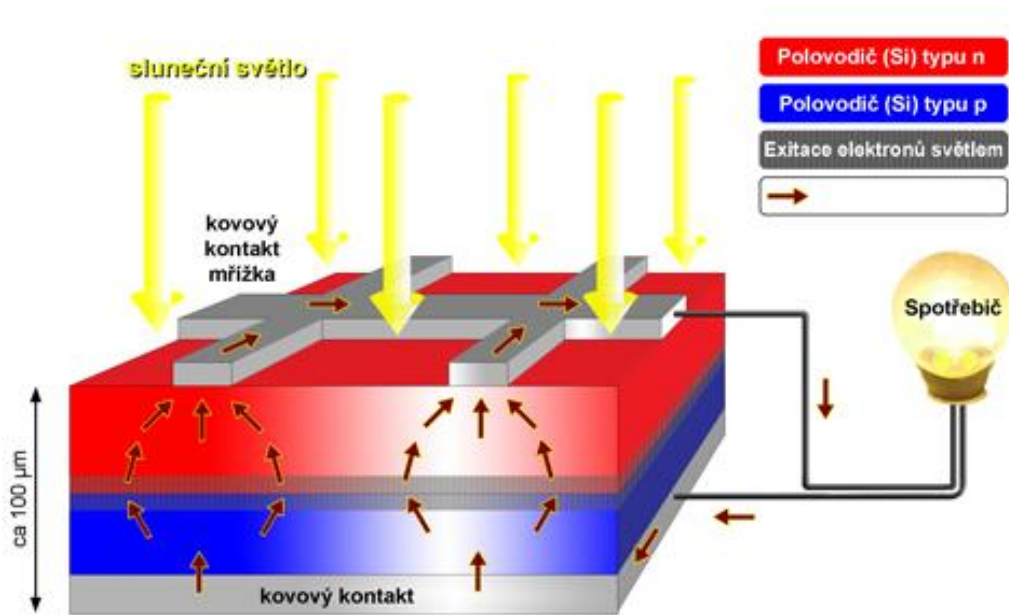
λ – vlnová délka (m)

Z tohoto vztahu je tedy zřejmé, že při zvyšování frekvence, respektive při snižování vlnové délky záření, se bude hodnota energie zvyšovat. [1]

1.2 Princip fotovoltaického článku

Fotovoltaický článek (Obr. 4) je v podstatě klasická polovodičová dioda. Základem fotovoltaického článku je tenká křemíková destička s vodivostí typu P, na kterou je nanesena velice tenká vrstva s vodivostí typu N. Obě dvě vrstvy tvoří tzv. P-N přechod. V případě osvětlení článku se vytvoří fotoelektrický jev, který začne uvolňovat záporné elektrony, čímž vznikne elektrické napětí. Toto napětí závisí na použitém materiálu. V případě křemíku se elektrické napětí pohybuje kolem 0,65 V. Fotovoltaický článek, je v podstatě opticko-elektrický převodník, protože energie světla, která dopadne na článek, je přeměněna na elektrickou energii. Připojíme-li ke článku nějaký spotřebič, například žárovku, obvodem

bude procházet stejnosměrný elektrický proud. Je-li potřeba zvětšit elektrické napětí, články se spojují do série. Pro zvýšení elektrického proudu slouží paralelní zapojení. [3]



Obr. 4 Princip činnosti fotovoltaického článku [4]

1.3 Složení fotovoltaických článků

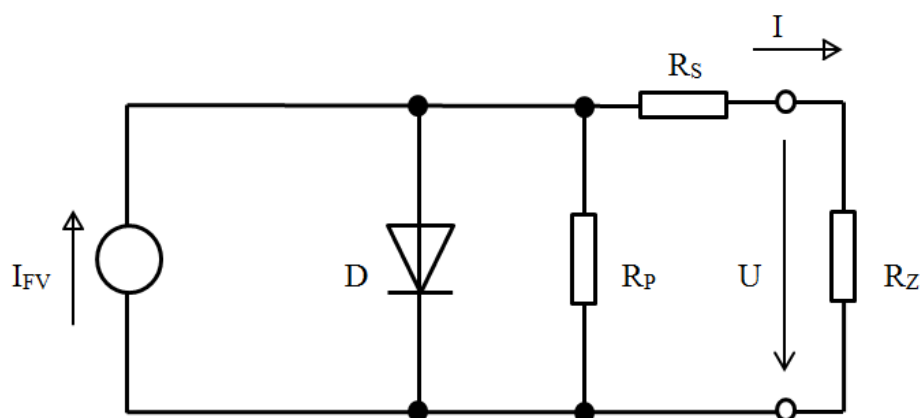
Fotovoltaické články se vyrábějí nejvíce z křemíku (Obr. 5), a to jak u monokrystalických, polykrystalických, tak i u amorfních (tenkovrstvých) článků. Hlavním důvodem velkého používání křemíku je jeho velká rozšířenost na Zemi. Křemík je druhým prvkem, který se nejvíce vyskytuje v Zemské kůře, proto patří k levnějším, ale také k snadno dostupným prvkům. Další výhodou křemíku je, že není jedovatý. Křemík v přírodě nalezneme ve formě SiO_2 , tedy ve formě křemene neboli oxidu křemičitého. [15]



Obr. 5 Křemík [16]

1.4 Náhradní schéma fotovoltaického článku

Náhradní schéma fotovoltaického článku (Obr. 6) si lze představit jako proudový zdroj, ze kterého se generuje proud I_{FV} . K tomuto zdroji je paralelně připojena křemíková dioda D a následně svodový odpor R_P . Odpor R_S je sériový odpor, který představuje elektrické ztráty, a proto by měl být co nejmenší, aby bylo možné dosáhnout většího výstupního výkonu. [17]



Obr. 6 Náhradní schéma fotovoltaického článku

1.5 Typy fotovoltaických článků

Fotovoltaické články se v dnešní době nejvíce vyrábějí z křemíku, a proto se rozdělují do tří základních skupin:

- *Monokrystalické*
- *Polykrystalické*
- *Amorfní (tenkovrstvé)*

1.5.1 Monokrystalické články

Monokrystalické články (Obr. 7) se vyznačují svou typickou tmavou barvou. Barva u těchto článků bývá většinou hnědá až černá. Rohy článků jsou zaoblené a plocha je stejnoměrná. Monokrystalický článek je specifický svými kovovými vodiči, které jsou umístěné na panelu a tvoří horní kontakt. Teoretická účinnost těchto článků je přibližně 24 %, ale v praxi se účinnost pohybuje kolem 15 až 20 %. Výroba těchto článků probíhá tak, že se nejdříve roztaví křemík, který se poté promíchává. Tento proces trvá tak dlouho, dokud se jednotlivé krystaly křemíku vzájemně neuspořádají. Pokud je fotovoltaická elektrárna postavena z těchto monokrystalických článků, start této elektrárny je pomalý, ale později, lépe dodává energii. Tyto články se nejvíce používají na zařízeních, které se otáčejí za sluncem tzv. trackery. [5]

Základní parametry

Monokrystalické články jsou nejčastěji vyrobené z antireflexního skla. Nominální výkon se zde pohybuje od 100 W do 320 W. Nejčastější účinnost těchto článků, je od 18,6 do 19,6 %. Napětí VOC, které se u těchto článků vyskytuje, bývá od 22,4 V do 64,9 V. Napětí VPM je nejčastěji od 18 V do 54,7 V. Rozměry, které se vyrábějí, jsou 1580 x 798 x 35 mm, 1559 x 1046 x 46 mm, 1210 x 540 x 35 mm. [5]

Výhody

- Velká účinnost (15 až 20 %)
- Pomalejší opotřebení křemíku (článku)
- Dlouhodobá stabilita výkonu
- Ideální pro šikmé střechy
- Poměrně vysoký výkon na panel (kolem 320 W)
- Životnost až 30 let

Nevýhody

- Vysoká cena
- Orientace na jih
- Panely musí být nezastíněné
- Přehřívají se, čímž klesá účinnost



Obr. 7 Monokrystalické články [5]

1.5.2 Polykrystalické články

Polykrystalické články (Obr. 8) se vyznačují především modrým odstínem. Rohy těchto článků jsou ostré a plocha bývá nerovnoměrná. Účinnost těchto článků v praxi je menší, než u monokrystalických článků. Účinnost se pohybuje kolem 13 až 16 %. Tyto články dokáží přeměňovat, jak přímé sluneční záření, tak nepřímé (difúzní) záření. Nepřímé (difúzní) záření je záření, které vzniká rozptylem paprsků v atmosféře. Výroba polykrystalických článků probíhá tak, že se stejně jako u monokrystalických článků nejdříve křemík roztaví. Poté se slisuje, čímž dojde k tomu, že jednotlivé krystaly křemíku mají jinou polohu. Fotovoltaická elektrárna, která je postavená z těchto polykrystalických článků, má rovnoměrnější výkon. Tyto články se používají v místech, kde je určitá odchylka od ideální orientace. [5]

Základní parametry

Polykrystalické články jsou nejčastěji vyrobené z antireflexního skla. Nominální výkon se zde pohybuje od 30 W do 250 W. Nejčastější účinnost těchto článků, je od 14,4 do 15,8 %. Napětí VOC, které se u těchto článků vyskytuje, bývá od 22,5 V do 37,6 V. Napětí VPM je nejčastěji od 18 V do 30,9 V. Rozměry, které se vyrábějí, jsou 735 x 350 x 25 mm, 1652 x 994 x 46 mm, 1500 x 990 x 46 mm. [5]

Výhody

- Velká účinnost (13 až 16 %)
- Ideální využití na střeších i pozemních prostranství
- Vysoký výkon na panel (kolem 250 W)
- Mohou být natočeny téměř na kteroukoli světovou stranu
- Přeměna nepřímého (difúzního) záření
- Životnost až 30 let

Nevýhody

- Vysoká cena
- Je potřeba větší plocha než u monokrystalických panelů
- Přehřívají se, čímž klesá účinnost



Obr. 8 Polykrystalické články [5]

1.5.3 Amorfni (tenkovrstvé) články

Amorfni články nebo také nazývané tenkovrstvé články (Obr. 9), se odlišují oproti krystalickým článkům již při výrobě. Výroba těchto článků začíná ve vysokých pecích, kde je vhodně vyroben krystalický křemík, který je poté rozřezán do podoby článků. Tento proces probíhá ve vakuových komorách při teplotách kolem 200°C, kde je vrstva amorfniho křemíku nanесena například na skleněnou tabuli. Nemusí být nutně použita skleněná tabule, ale v praxi se využívají například i plasty nebo kovy. Takto vyrobené články dosahují zhruba poloviční účinnosti než články monokrystalické (7 až 10 %). Amorfni články se vyznačují především kvalitou této technologie oproti krystalickému křemíku. Tyto články se při letních slunečních dnech méně přehřívají, a tím zvyšují svoji výtěžnost, protože účinnost se snižuje podstatně pomaleji než u krystalických článků. Amorfni články jsou také citlivější na rozptýlené sluneční záření, a proto se využívají na střeších, které nejsou ideálně orientovány. [5]

Základní parametry

Amorfni (tenkovrstvé) články jsou nejčastěji provedené bez hliníkového rámu. Provedení, které je zde použito je tzv. GLASS/GLASS. Nominální výkon se zde pohybuje od 130 W do 135 W. Nejčastější účinnost těchto článků, je od 9,3 do 9,6 %. Napětí VOC, které

se u těchto panelů vyskytuje, bývá od 60,4 V do 61,3 V. Napětí VPM je nejčastěji od 46,1 V do 47,0 V. Rozměry, které se vyrábějí, jsou 1402 x 1001 x 6,7 mm. [5]

Výhody

- Nízká cena
- Velmi tenké panely
- Méně se přehřívají, čímž méně klesá účinnost

Nevýhody

- Nízká účinnost (7 až 10 %)
- Je potřeba zhruba 2,5 krát větší plocha než u krystalických panelů
- Nejnižší výkon na m²
- Životnost 20 let



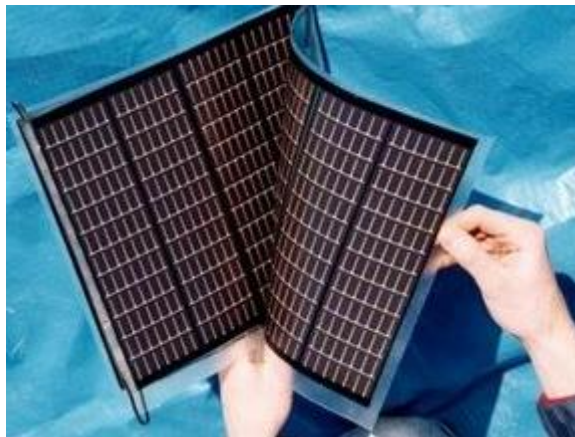
Obr. 9 Amorfní (tenkovrstvé) články [5]

1.5.4 Tandemové články

Tandemové články (Obr. 10) jsou vyrobeny z organických polymerů. Organické polymery nedokážou přeměnit dopadající sluneční záření na elektrickou energii. K přeměně energie dochází mezi polovodivými materiály, tedy na jejich rozhraní. Nejjednodušší tandemový článek, který lze vyrobit, má tzv. planární strukturu. Planární struktura obsahuje velice tenkou vrstvu aktivního polymeru a velice tenkou vrstvu akceptorů, což jsou elektrony.

Částice, které se uvolní (elektron-díra), se pohybují, tedy tzv. difundují k přechodu. Přes přechod prochází pouze elektrony a díry zůstávají za přechodem, čili dojde k rozdělení páru elektron-díra. Planární struktura není moc efektivní, protože je zapotřebí docílit velice tenkých rozměrů materiálů, aby elektrony došly (dodifundovaly) až ke kontaktům. Bude-li ovšem buňka příliš tenká, poté se méně absorbuje světelné záření.

Výhodou tandemových článků je velice levná výroba, ať už se jedná o materiál nebo technologii zpracování materiálu a jednoduchost. Nevýhodou tandemových článků je velice nízká účinnost, životnost a špatné pohlcování (absorbování) světla. [29]



Obr. 10 Tandemový článek [29]

1.6 Konstrukce FVE

Konstrukce FVE se rozdělují podle materiálu nosných konstrukcí. Materiály, které se nejvíce používají pro nosné konstrukce fotovoltaických panelů je ocel a hliník. Jako další možný materiál je možnost použití nekovového materiálu, jako je například dřevo. Dřevěné nosné konstrukce mají výhodu, že jsou velice levné oproti kovovým nosným konstrukcím, ovšem dosahují velice krátké životnosti. Ocelové konstrukce jsou poněkud drahé, ale vyznačují se velmi dlouhou životností. Proto společnosti, které prodávají nosné konstrukce pro FVE upřednostňují pouze ocelové, popřípadě hliníkové konstrukce.

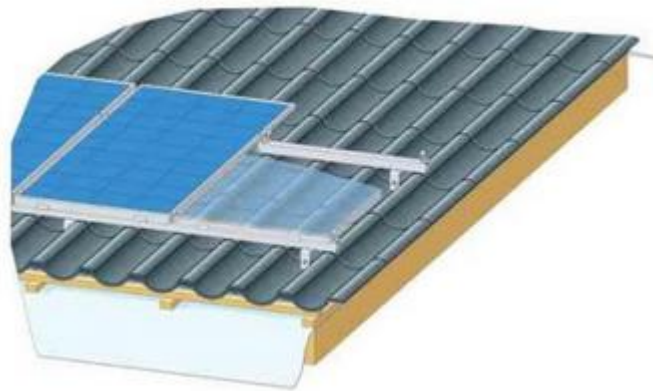
Mezi další rozdělení konstrukcí FVE patří, zda se jedná o pevné uchycení nebo pohyblivé. Pevné uchycení se využívá například na střeších rodinných domů, pozemních plochách, jako jsou louky či pole, ale také na plochých střeších. Pohyblivé uchycení, se využívá také na pozemních plochách či plochých střeších.

Konstrukce FVE pro rodinné domy

Konstrukce FVE pro rodinné domy lze nainstalovat na střechy, na střechách, ve střechách, na fasádách a na konstrukci markýza.

Konstrukce na střeše

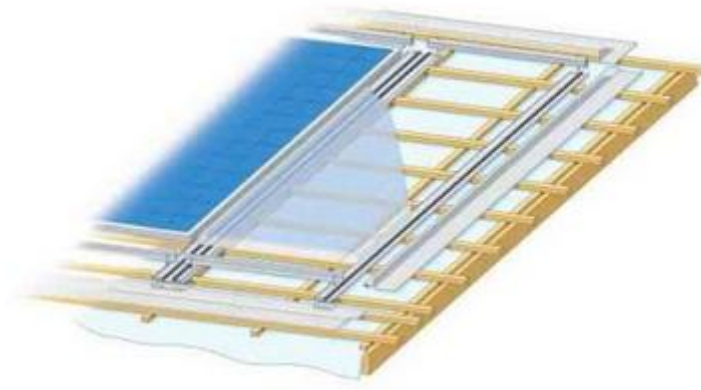
Nosné konstrukce, které se používají pro umístění na střechy (Obr. 11), jsou univerzální pro různé typy střech, protože obsahují vhodné kotvící háky. Profily se umísťují horizontálně nebo vertikálně. Tyto konstrukce jsou vhodné pro montáž v úhlu mezi 10 až 60 stupni. [25]



Obr. 11 Umístění nosných konstrukcí na střeše [25]

Konstrukce ve střeše

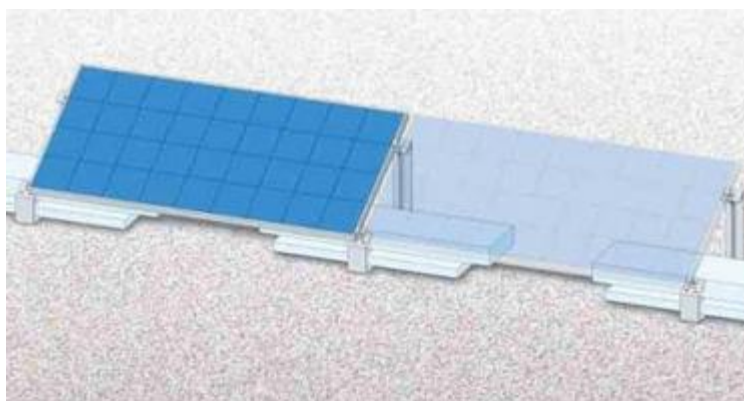
Nosné konstrukce jsou umístěné přímo ve střeše (Obr. 12). Střešní krytina se zde nepoužívá, ale je nahrazena fotovoltaickými panely. Aby voda nemohla prosáknout dovnitř rodinného domu, používají odvodňovací plechy, kanálky a těsnění s hranou. Výhodou těchto konstrukcí je velmi hladký povrch střechy a nepoužívání střešní krytiny, což minimalizuje náklady na rodinný dům. [25]



Obr. 12 Umístění nosných konstrukcí ve střeše [25]

Konstrukce ploché střechy

Plochých střech je v dnešní době poměrně dostatek a zefektivnit tuto plochu lze postavením FVE na střechu. Ploché střechy se vyskytují například na garážích, chatách, panelových domech, ale hlavně na firmách, kterých je relativně hodně. Využívá se zde konstrukce pro ploché střechy (Obr. 13), která je poměrně snadná. Montážní rámy, které se používají, jsou upevněny s konstrukcí střechy nebo pouze zatížením. Fotovoltaické panely jsou na těchto konstrukcích nakloněny na úhel 30°. Na zadní straně konstrukce je namontovaný bezpečnostní křížek, který slouží k tlumení bočního větru. Výhody konstrukcí pro ploché střechy jsou, že se dají používat pro různé typy fotovoltaických článků, ochrana proti větru a snadná montáž. [25]



Obr. 13 Konstrukce pro ploché střechy[25]

Konstrukce na fasády

Konstrukce na fasády (Obr. 14) se nejčastěji používají, pokud z nějakých důvodů nelze postavit FVE na střeše. Konstrukce se přichytí na fasádu tzv. podkladovými profily. Fotovoltaické panely jsou přichyceny ke konstrukci modulovými svorkami, které se zasouvají do profilu, a tím velice urychlují montáž. Výsledkem jsou přichycené fotovoltaické panely, které jsou od fasády vzdáleny několik centimetrů. Tím se docílí toho, aby vzduch mohl mezi fotovoltaickými panely a fasádou cirkulovat, a tak nedochází ke zbytečnému akumulování tepla.



Obr. 14 Konstrukce na fasády [25]

Konstrukce markýza

Konstrukce markýza (Obr. 15) se nejčastěji používá, pokud z nějakých důvodů nelze postavit FVE na střeše. Výhodou konstrukce markýza je výroba elektrické energie z fotovoltaických článků, ale také chrání před povětrnostními vlivy a vytváří stín. Konstrukce markýza je také určitým designovým prvkem na různé druhy fasád a vstupních prostor.



Obr. 15 Konstrukce markýza [25]

Konstrukce FVE pro pozemní plochy

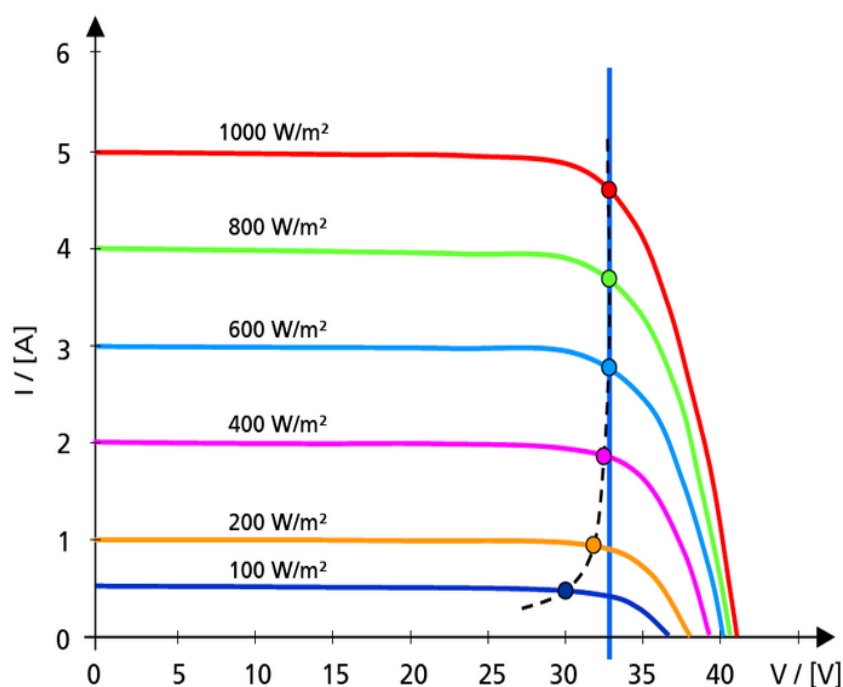
Konstrukce pro pozemní plochy se nejvíce využívají z hliníkového materiálu, které jsou podstatně levnější než ocelové, a tím snižují investorům finanční náklady. Konstrukce je velice podobná jako konstrukce pro ploché střechy, ale liší se materiálem a rozměry. Konstrukce pro pozemní plochy jsou připevněny k betonovým blokům. Betonové bloky jsou kotvicími šrouby upevněny k zemi. [26]

1.7 Vlastnosti fotovoltaiky

Využívání fotovoltaiky přináší řadu výhod: vysokou provozní spolehlivost, jednoduchou instalaci, tichý provoz, žádný vznik škodlivých látek a především je nevyčerpatelným zdrojem energie.

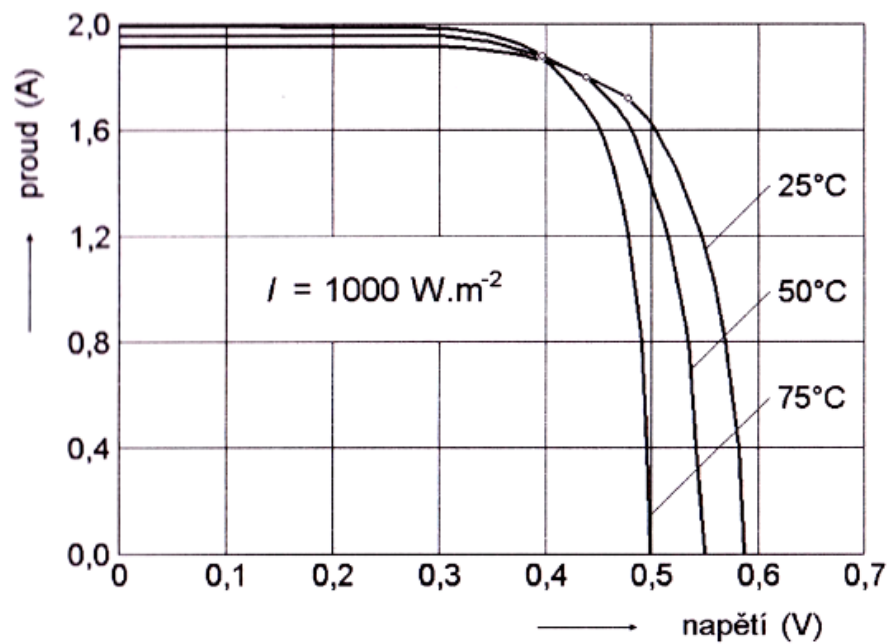
Fotovoltaika, ale také přináší řadu nevýhod, mezi které patří: malá účinnost, nutnost použití záložního zdroje elektřiny, velká proměnlivost intenzity slunečního záření, velice krátká průměrná doba slunečního svitu za rok v ČR a velice nízká průměrná intenzita slunečního záření za rok v ČR. [3]

Jednou z důležitých charakteristik ve fotovoltaice je volt-ampérová charakteristika fotovoltaického panelu (Obr. 16). Na VA charakteristice jsou znázorněny křivky různých intenzit osvětlení od 100 W/m^2 do 1000 W/m^2 . Při zvyšování intenzity osvětlení, se zvyšuje elektrický proud. Křivky, které protínají osu y, tedy osu proudu, jsou body, které představují proud nakrátko. Elektrický odpor v těchto bodech je nulový. Při zvyšování elektrického odporu se křivky pohybují směrem doprava, tedy zvyšuje se napětí. Křivky, které protínají osu x, tedy osu napětí, jsou body, které představují napětí naprázdno. Elektrický odpor v těchto bodech je nekonečný. Neoptimálnější zátěží by měla být hodnota odporu taková, kdy součin napětí a proudu bude největší, tedy maximální. Tyto hodnoty jsou zakreslené ve VA charakteristice a nazývají se tzv. MPP (Maximum power point) body. Je-li známa taková hodnota odporu, poté fotovoltaický panel dodává maximální možný výkon. [27]



Obr. 16 VA charakteristika krystalického panelu [28]

Další z velmi důležitých charakteristik je VA charakteristika fotovoltaického článku při konstantní intenzitě osvětlení a různých teplotách (Obr. 17). Na VA charakteristice jsou znázorněné křivky různých teplot (25 °C, 50 °C, 75 °C). Všechny teploty jsou vyneseny při konstantní intenzitě osvětlení 1000 W/m². Při zvyšování teploty se zvyšuje proud nakrátko, ale snižuje se napětí naprázdno. Neoptimálnější hodnoty (MPP body) jsou zakreslené ve VA charakteristice. Zvyšuje-li se teplota, poté se snižuje maximální výkon, který dodává fotovoltaický článek při konstantní intenzitě osvětlení, a tím klesá i účinnost. [27]



Obr. 17 VA charakteristika fotovoltaického článku při různých teplotách [27]

2 Možnosti zvýšení účinnosti FVE

Účinností fotovoltaických panelů je možné zvýšit množství vyrobené elektrické energie. Tato účinnost je závislá na výrobě fotovoltaického panelu. Účinnost můžeme také zvýšit větší intenzitou slunečního záření, které dopadá na fotovoltaický panel a následně je pohlceno. V praxi se využívá několik metod pro navýšení intenzity slunečního záření:

- Antireflexní vrstvy a textura povrchu
- Oboustranné fotovoltaické panely
- Natáčení fotovoltaických panelů za sluncem
- Koncentrátory

2.1 Antireflexní vrstvy a textura povrchu

Problém se zde vyskytuje uvnitř fotovoltaického článku, protože dopadající sluneční záření se odráží. Tento odraz je dán vlivem velkého indexu lomu, zvláště při malém úhlu natočení fotovoltaického článku. Účinnost zvýšíme za použití dokonalejší antireflexní vrstvy. Jehlanová struktura, která se používá, usnadňuje vstup fotonů do fotovoltaického článku. Výhodou jehlanové struktury není jenom snadný vstup fotonů, ale znesnadňuje také výstup nezachycených fotonů. Tyto nezachycené fotony mají tendenci se odrážet od zadní strany fotovoltaického článku směrem ven, ale za použití jehlanové struktury je tento odraz minimální. [2]

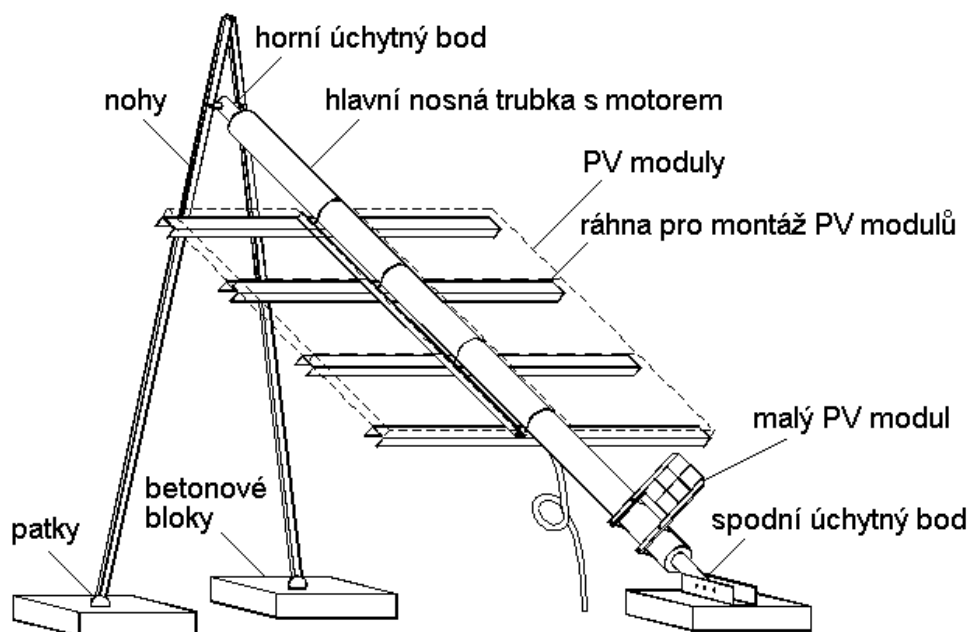
2.2 Oboustranné fotovoltaické panely

Další možností navýšení výkonu jsou oboustranné fotovoltaické panely. Světlo, které dopadá na panel, dopadá z obou stran. V praxi pro větší zvýšení instalovaného výkonu (energie) se provádí například natření střechy na bílou nebo stříbrnou barvu. Oboustranný panel je poté na tuto střechu namontován a výroba elektrické energie je zvýšena až o 30%. Tyto panely se také velice využívají na stojanu, který umožňuje otáčet se za sluncem. Další využití oboustranného panelu je také s tzv. zrcadlovým koncentrátorem. [2]

2.3 Natáčení fotovoltaických panelů za sluncem

Dalším navýšením výkonu je natáčení fotovoltaických panelů za sluncem. Základem je pohyblivý stojan, který sleduje slunce, a zajišťuje tak trvalý kolmý dopad paprsků. V praxi, kde se toto zařízení nejvíce využívá, bývá u malých systémů. Používá se zařízení, které dokáže automaticky otáčet fotovoltaické panely kolem jedné osy. Sleduje denní pohyb slunce. Toto sledování je provedeno například pomocí dvojice čidel. Signál těchto čidel je v rovnováze, pokud dopadá sluneční záření na obě čidla stejně. [2]

Jedním ze způsobů je sledovač Traxle (Obr. 18), používá stejnosměrný motor, který otáčí upevněné fotovoltaické panely. Podle polaroty proudu otáčí tento motor celou konstrukci na jednu nebo druhou stranu. Malý fotovoltaický článek (PV modul), který je uchycený na spodní části osy, slouží k napájení stejnosměrného motoru. Malý PV modul je oboustranný fotovoltaický panel, který je umístěn kolmo ke slunci. Důležitou součástí sledovače Traxle je právě malý PV modul, neboť otáčení celé konstrukce závisí na osvětlení tohoto malého PV modulu. Je-li jedna strana malého PV modulu osvětlena více, tato rovnováha se poruší. Motor začne otáčet konstrukci do té doby, dokud není stejně osvětlený malý PV modul na obou stranách. [2]



Obr. 18 Sledovač slunce Traxle [13]



Obr. 19 Sledovač Traxle v reálné podobě [13]

2.4 Koncentrátory

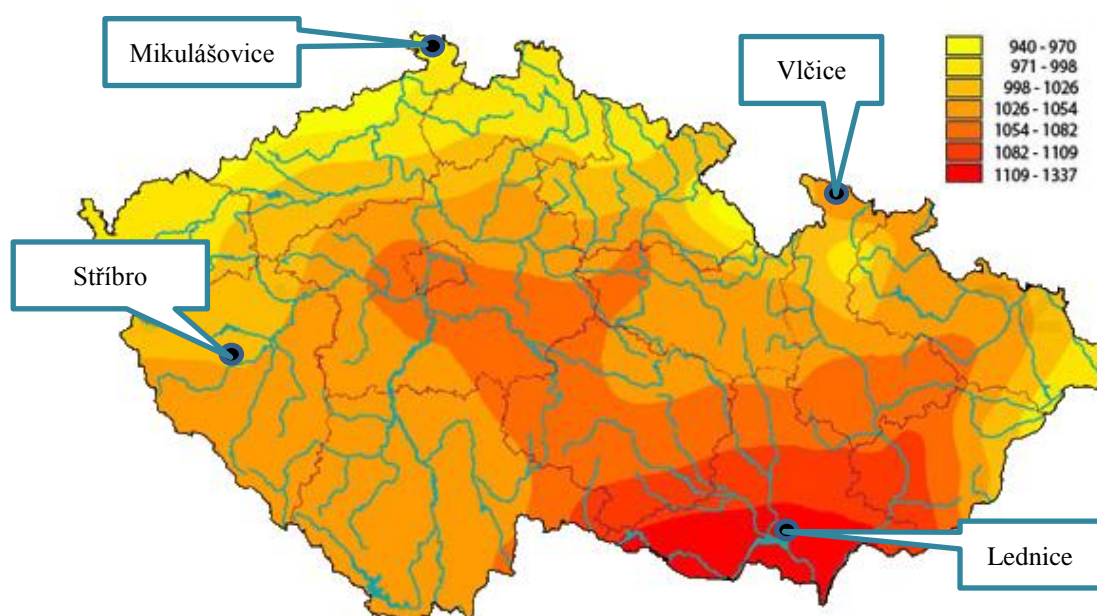
Koncentrátory se ve fotovoltaice používají pro zvětšení účinnosti. Účinnost se zvýší vlivem zvýšeného dopadajícího slunečního záření na fotovoltaický panel pomocí koncentrátoru. Pro ještě větší zvětšení účinnosti se používají fotovoltaické panely s koncentrátory a sledovačů, například typu Traxle (Obr. 20). Koncentrátor soustřeďuje dopadající sluneční záření do relativně malého bodu fotovoltaického panelu, a tím zvyšuje intenzitu dopadajícího slunečního záření na fotovoltaický panel. Koncentrátory jsou provedeny jako čočky nebo zrcadla. Koncentrátory se nejvíce používají u fotovoltaických panelů, které nejsou vyrobené z křemíku z důvodu velmi vysoké teploty okolí. Vysoké teploty okolí jsou v oblastech tropického a subtropického pásu, a právě v těchto oblastech se používají fotovoltaické články, například na bázi sloučenin GaAs, s koncentrátory. Bylo prokázáno, že fotovoltaické články na bázi sloučenin GaAs s koncentrátory dosahují až 42 % účinnosti, což je v porovnání s křemíkovými fotovoltaickými články zhruba dvojnásobná účinnost. [32]



Obr. 20 Fotovoltaické panely s koncentrátory a sledovače typu Traxle [27]

3 Klimatické podmínky v ČR

Vhodné umístění fotovoltaické elektrárny v České republice závisí především, na dopadajícím slunečním záření (Obr. 21). Sluneční záření je závislé na nadmořské výšce, čistotě ovzduší, celkové době slunečního svitu a zeměpisné poloze. Pokud známe sluneční záření, které dopadá v České republice, pak jsme schopni vybrat vhodnou lokalitu pro vybudování fotovoltaické elektrárny. Z ročního úhrnu globálního slunečního záření v ČR (Obr. 21) získané z ČHMÚ je nejvhodnější oblastí pro instalaci fotovoltaické elektrárny Jihomoravský kraj, kde podle dlouhodobých meteorologických měření dopadá 1 109 až 1 337 kWh/m². Nejméně vhodnou lokalitou pro vybudování fotovoltaické elektrárny je Ústecký kraj, kde dopadá 940 až 970 kWh/m².



Obr. 21 Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR [kWh/m²] [9]

3.1 Výpočet spotřeby elektrické energie za den a měsíc

Pro ověření tvrzení, které vychází z mapy (Obr. 21) je v rámci předkládané bakalářské práce pomocí programu PVGIS vypočteno množství vyrobené elektrické energie ve čtyřech lokalitách, které mají odlišnou hodnotu dopadajícího slunečního záření. Pro porovnání těchto čtyř lokalit se uvažuje tentýž identický dům se stejnou spotřebou elektrické energie. Navrhovaná FVE bude připojena na ostrovní systém s akumulací. Pro umístění FV panelů se použije konstrukce na střeše s orientací střechy na jih. Výpočet spotřeby elektrické energie za den či měsíc se předpokládá pro čtyřčlennou rodinu. Množství spotřebičů a doba provozu

jednotlivých zařízení v domácnosti je pouze odhad. Konkrétní množství spotřebičů a doba provozu každého zařízení závisí na konkrétní rodině. Spotřeba elektřiny za den či měsíc předpokládané čtyřčlenné rodiny je uvedena v tabulce 3.1.

Tab. 3.1 Příkony jednotlivých spotřebičů, denní spotřeba a měsíční spotřeba elektřiny

Spotřebič	Příkon [W]	Doba provozu zařízení [h]	Spotřeba za den [kWh]	Spotřeba za měsíc [kWh]
Elektronický budík 2x	6	24	0,144	4,464
Monitor LCD	30	4	0,120	3,72
Nabíječka na mobil 4x	8	1	0,008	0,248
Počítač	15	4	0,06	1,86
Rádio	10	1	0,01	0,31
Reproduktory	20	2	0,04	1,24
Router	12	4	0,048	1,488
LCD televize	115	4	0,460	14,26
Tiskárna	0,4	0,5	0,0002	0,0062
Elektrická trouba	830	0,5	0,415	12,865
Lednička s mrazákem	35,5	20	0,710	22,01
Mikrovlnná trouba	1000	0,25	0,250	7,75
Mixér	700	0,25	0,175	5,425
Myčka	900	1	0,9	27,9
Topinkovač	850	0,25	0,2125	6,5875
Toustovač	800	0,25	0,200	6,2
Varná konvice	2000	0,5	1	31
Fén	2000	0,5	1	31
Kulma	25	0,25	0,00625	0,19375
Pračka	1100	0,5	0,550	17,05
Klasické žárovky 5x	270	2	0,540	16,74
Úsporné žárovky 10x	120	4	0,480	14,88
Stolní lampa 2x	22	3	0,066	2,046
Vysavač	1200	0,25	0,300	9,3
Žehlička	240	0,25	0,06	1,86
Celkem	12308,9	78,25	7,755	240,4

3.2 Výpočet instalovaného výkonu FVE a počet fotovoltaických panelů

Z celkové denní spotřeby domácnosti je možné vypočítat počet fotovoltaických panelů. Nejdříve je nutné zvolit si fotovoltaický panel. V tomto případě je zvolený monokrystalický panel Panasonic VBHN 245SJ25 s výkonem 245 W_p a účinností 19,4 %. Výkon fotovoltaických panelů se udává v jednotkách W_p (watt peak), tedy ve špičkových hodnotách. Hlavní důvod používání těchto jednotek je velká závislost na slunečním záření, ale také úhlu dopadu. Ve fotovoltaickém systému vznikají ztráty například vlivem místních okolních teplot, vlivem komponentů (měniče, kabely) apod. Tyto ztráty se musí o dané množství navýšit. Odhadované ztráty celého fotovoltaického systému jsem zvolil 14 %. [37]

$$1) \text{ Výpočet odhadovaných ztrát} = \text{Spotřeba za den} \cdot \text{Odhadované ztráty}$$

$$\text{Výpočet odhadovaných ztrát} = 7\,755 \cdot 0,14 \doteq 1\,085,7 \text{ W}$$

$$2) \text{ Denní spotřeba včetně ztrát} = \text{Spotřeba za den} + \text{Výpočet odhadovaných ztrát}$$

$$\text{Denní spotřeba včetně ztrát} = 7\,755 + 1\,085,7 = 8\,840,7 \text{ W}$$

$$3) \text{ Počet FV panelů} = \frac{\text{Denní spotřeba včetně ztrát}}{\text{Potenciální výkon}} = \frac{8\,840,7}{245} \doteq 37 \text{ panelů}$$

$$4) \text{ Instalovaný výkon FVE} = \text{Počet panelů} \cdot \text{Potenciální výkon}$$

$$\text{Instalovaný výkon FVE} = 37 \cdot 245 = 9\,065 \text{ W}$$

3.3 Výpočet kapacity akumulátoru

Navrhovaná FVE se bude využívat při celoročním provozu, a tedy kapacita akumulátoru by měla být vyšší. Kapacita akumulátoru se musí vypočítat tak, aby pokryla napájení všech spotřebičů po dobu 6 dnů. [39]

$$\text{Potřebné množství elektrické energie} = \text{denní spotřeba} \cdot \text{počet dnů}$$

$$\text{Potřebné množství elektrické energie} = 7\,755 \cdot 6 = 46\,530 \text{ Wh}$$

Nyní z potřebného množství elektrické energie je možné vypočítat kapacitu akumulátoru, a poté zvolit konkrétní typ akumulátoru, popř. akumulátorů. [39]

$$\text{Kapacita akumulátoru} = \frac{\text{Potřebné množství elektrické energie}}{\text{Napětí FV systému}}$$

$$\text{Kapacita akumulátoru} = \frac{46\,530}{12} = 3\,877,5 \text{ Ah}$$

Zvolený typ akumulátoru je Solar.bloc 12V 150Ah. Nyní se musí vypočítat počet akumulátorů pro pokrytí spotřeby všech elektrických spotřebičů. [40]

$$\text{Počet akumulátorů} = \frac{\text{Vypočtená kapacita akumulátoru}}{\text{Kapacita zvoleného akumulátoru}}$$

$$\text{Počet akumulátorů} = \frac{3\,877,5}{150} \doteq 26$$

3.4 Analýza FVE ve čtyřech lokalitách

Jmenovitý výkon pro analýzu je stejný ve všech čtyřech lokalitách. Jmenovitý výkon je 9,1 kW. Pro výběr vhodných a nejméně vhodných lokalit pro FVE v ČR byly zvoleny čtyři oblasti, které se liší intenzitou dopadajícího slunečního záření. Zjištěné množství vyrobené elektrické energie FVE se nachází ve městě Lednici, které leží v Jihomoravském kraji. Souřadnice GPS u této oblasti jsou 48°48'1"N, 16°48'9"E, nadmořská výška 172 m. n. m. Jmenovitý výkon fotovoltaického systému je 9,1 kW, který je tvořený z monokrystalických panelů. Odhadované ztráty vlivem místních okolních teplot a nízké intenzity záření jsou 12,8 %. Odhadované ztráty v důsledku úhlových vlivů odrazivosti jsou 2,8 %. Ostatní ztráty (měniče, kabely, apod.) 14 %. Kombinované ztráty fotovoltaického systému jsou 27,1 %. Ostatní informace o zbylých třech lokalitách včetně této jsou uvedeny v tabulce 3.2. [38]

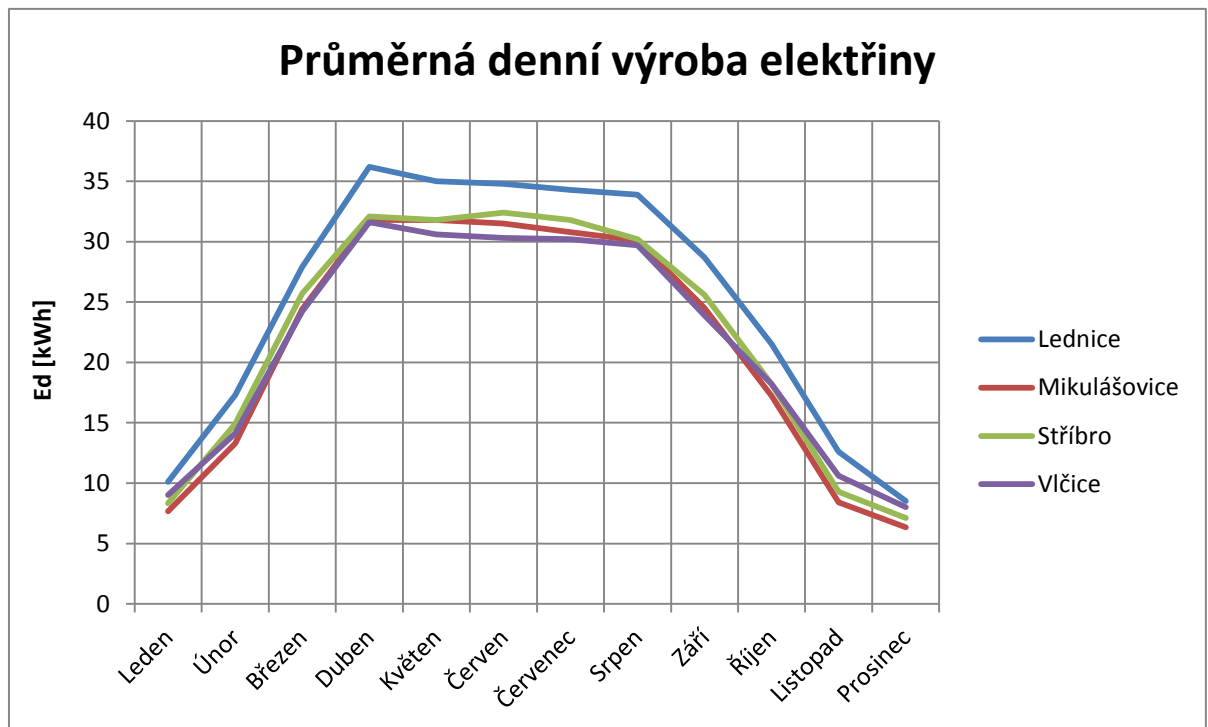
Tab. 3.2 Informace o jednotlivých čtyřech lokalitách

Město	Lednice	Mikulášovice	Stříbro	Vlčice
Kraj	Jihomoravský	Ústecký	Plzeňský	Olomoucký
Souřadnice	48°48'1"N	50°57'55"N	49°45'34"N	50°20'53"N
GPS	16°48'9"E	14°21'47"E	13°0'22"E	17°3'10"E
Nadmořská výška [m.n.m.]	172	421	415	333
Jmenovitý výkon [kW]	9,1	9,1	9,1	9,1
Ztráty okolních teplot [%]	12,8	11,7	12,2	11,7
Ztráty odrazivosti [%]	2,8	2,9	3	2,9
Ostatní ztráty [%]	14	14	14	14
Kombinované ztráty [%]	27,1	26,3	26,7	26,3

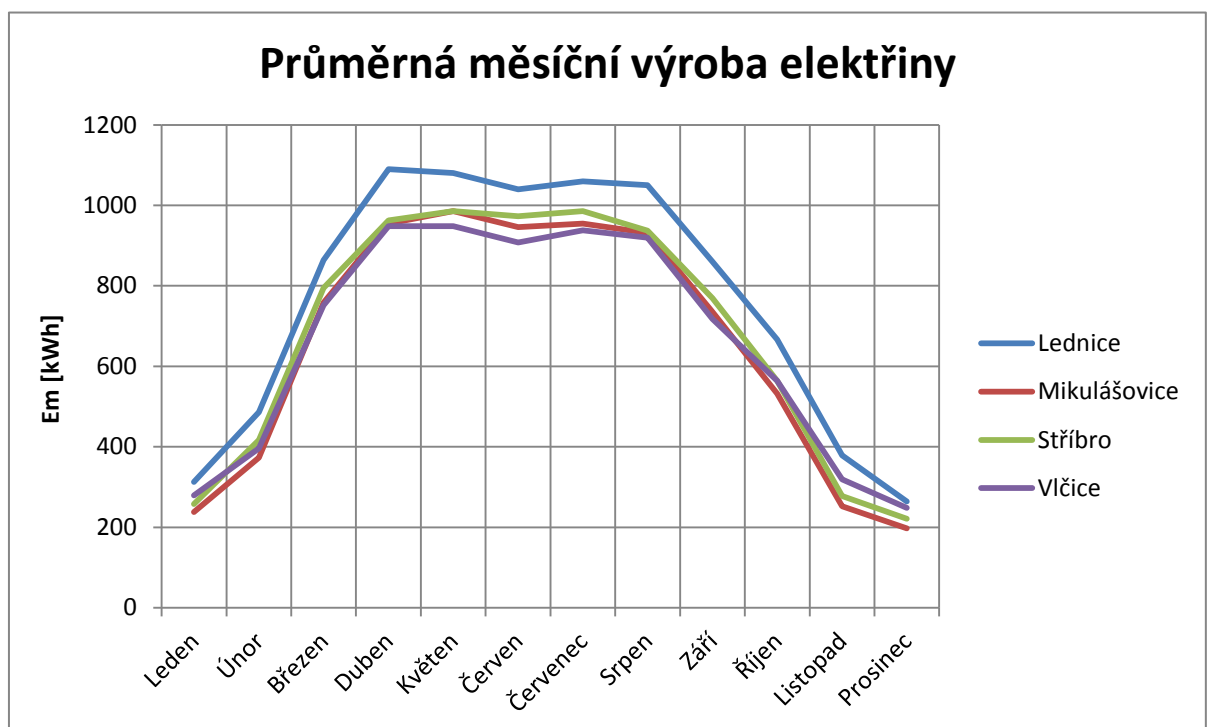
3.5 Výsledek analýz v jednotlivých oblastech

Nejvhodnější lokalita pro vybudování FVE je v Lednici, protože z těchto čtyř analýz vyrobila nejvíce elektřiny, a to jak při denní výrobě (Obr. 22), tak měsíční výrobě (Obr. 23). Při denní výrobě dosahovala v letních měsících výroba elektřiny kolem 35 kWh a při měsíční výrobě nad 1 000 kWh. Naopak nejméně vhodná lokalita je ve Vlčicích, a to zejména v letním období. Zde dosahovala v letních měsících denní výroba elektřiny kolem 30 kWh a měsíční výroba elektřiny okolo 900 kWh.

Nejvhodnější lokalita dopadla podle očekávání, protože v této lokalitě je největší dopad slunečního záření za celý rok. Naopak nejméně vhodná lokalita nedopadla podle očekávání v Mikulášovicích. Důvod, proč nevyšla nejméně vhodná lokalita v Mikulášovicích, není jenom v ročním úhrnu dopadajícího slunečního záření, ale také především v nadmořské výšce. Nadmořská výška v této oblasti vyvrátila předběžné očekávání o nejméně vhodné oblasti v Mikulášovicích. Tabulky s hodnotami a vytvořenými grafy pro jednotlivé oblasti jsou uvedeny v příloze (Příloha D).



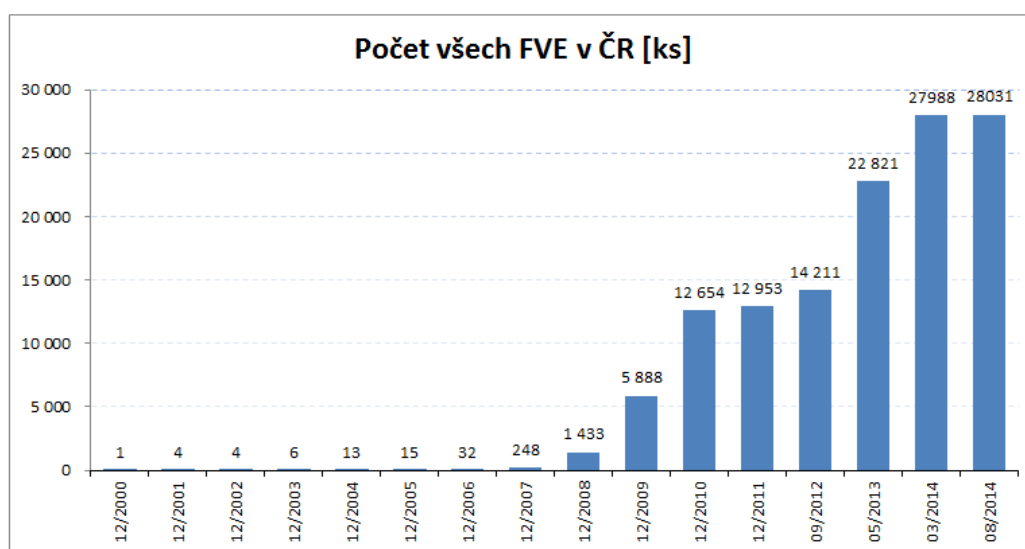
Obr. 22 Průměrná denní výroba elektřiny v jednotlivých oblastech



Obr. 23 Průměrná měsíční výroba elektřiny v jednotlivých oblastech

4 Využití fotovoltaických elektráren v ČR

Jedna z větších fotovoltaických elektráren v České republice začala v roce 1998, kdy byla vybudována a zprovozněna fotovoltaická elektrárna v Dukovanech (dříve Mravenčík). Od roku 2001 se začaly postupně objevovat a stavět další fotovoltaické elektrárny. Největší nárůst fotovoltaiky v ČR zaznamenal rok 2008, protože v tomto roce byly výkupní ceny elektřiny na maximální hodnotě včetně zeleného bonusu. Od této doby, téměř každým rokem, přibýlo fotovoltaických elektráren několik tisíc za rok (Obr. 24).



Obr. 24 Počet všech fotovoltaických elektráren v ČR [10]

4.1 První Dukovanská fotovoltaická elektrárna v ČR

Historie Dukovanské fotovoltaické elektrárny začala v minulém století, kdy v roce 1994 byla zahájena výstavba poblíž přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé stráně v Jeseníkách. Tato elektrárna dosahovala výkonu 10 kW. Stavba se prodloužila až do roku 1998 kvůli špatným klimatickým podmínkám. V říjnu roku 1998 byla zprovozněna tato elektrárna, která byla používána až do října roku 2002. Důvodů k uzavření této fotovoltaické elektrárny na Mravenčnicku bylo několik. První z důvodů byl provoz. Při provozu docházelo k častým problémům s proudovými měniči, které byly ze začátku velice poruchové. Opravy těchto proudových měničů se prováděly v Německu, které byly velice nákladné. Druhý zásadní důvod pro ukončení fotovoltaiky na Mravenčnicku bylo odcizení fotovoltaických panelů v roce 2001. Odcizeno bylo zhruba 28 panelů. Z těchto dvou důvodů bylo rozhodnuto, že se

fotovoltaická elektrárna přestěhuje z Mravenečnicku do Dukovan. Zařízení v Mravenečnicku se začalo demontovat již v říjnu roku 2002. Fotovoltaická elektrárna v Dukovanech byla dokončena v říjnu roku 2003. Toto přemístění přineslo řadu výhod: [6]

- Větší ochranu elektrárny proti odcizení
- Větší průměrnou roční délku slunečního svitu
- Větší intenzitu slunečního svitu



Obr. 25 Fotovoltaická elektrárna Dukovany [11]

4.2 Fotovoltaická elektrárna Ralsko

Fotovoltaická elektrárna se nachází v okrese Česká Lípa u města Ralsko. Instalovaný výkon této elektrárny je celkem 38,3 MW. Elektrárna Ralsko patří k největším a nejvýkonnějším fotovoltaickým elektrárnám v České republice. Elektrárna je sestavena z menších zdrojů, kterých je celkem pět a jsou připojeny ke stejnému odběrnému místu. Množství úhrnu globálního slunečního záření je zde velice vysoký a dosahuje až 3,8 tisíce MJ/m². Proto je toto místo jedno z nejvhodnějších míst pro fotovoltaickou elektrárnu. Tato elektrárna je také efektivně využita z hlediska plochy, na které se rozkládá, protože se nachází

na území bývalého vojenského areálu. Elektřina, která se zde vyrobí, pokrývá zhruba více než 10 000 domácností v severních a středních Čechách. Elektrárnu Ralsko vlastní Skupina ČEZ a byla uvedena do provozu v druhé polovině roku 2010. [7, 8]



Obr. 26 Fotovoltaická elektrárna Ralsko [14]

4.3 Fotovoltaická elektrárna Ševětín

Fotovoltaická elektrárna Ševětín se nachází v Jihočeském kraji v okrese České Budějovice. Fotovoltaická elektrárna Ševětín se nachází v Jihočeském kraji v okrese České Budějovice. Instalovaný výkon je celkem 29,9 MW a podle specialistů, by měla tato FVE pokrýt 8000 domácností na jihu Čech. V současné době patří Ševětín k třetí největší FVE v ČR. Oblast, kde se rozléhá tato elektrárna, je z hlediska dopadajícího slunečního záření jedna z nejvhodnějších lokalit. Množství úhrnu globálního slunečního záření je zde velice vysoké a dosahuje až 3,8 tisíce MJ/m². Elektrárnu Ševětín vlastní Skupina ČEZ a byla uvedena do provozu v druhé polovině roku 2010. [7, 8]



Obr. 27 Fotovoltaická elektrárna Ševětín [12]

4.4 Fotovoltaická elektrárna Mimoň

Fotovoltaická elektrárna Mimoň se nachází v Libereckém kraji 15 km od České Lípy. Instalovaný výkon této elektrárny je celkem 17,5 MW a podle specialistů, by měla tato FVE pokrýt 4500 domácností v severních a středních Čechách. Oblast, kde se rozléhá tato elektrárna, je také jedna z nejvhodnějších lokalit z hlediska dopadajícího slunečního záření, stejně jako u FVE Ralsko a Ševětín. Globální sluneční záření je zde také velice vysoké. Stejně, jako u FVE Ralsko a Ševětín, tedy 3,8 tisíce MJ/m². Z hlediska plochy je elektrárna Mimoň efektivně využita, protože se nachází na území bývalého vojenského areálu, který by s největší pravděpodobností nebyl efektivně využitý. Tuto FVE vlastní také Skupina ČEZ. Do provozu byla uvedena v druhé polovině roku 2010. [7, 8]



Obr. 28 Fotovoltaická elektrárna Mimoň [7]

4.5 Fotovoltaická elektrárna Vranovská Ves

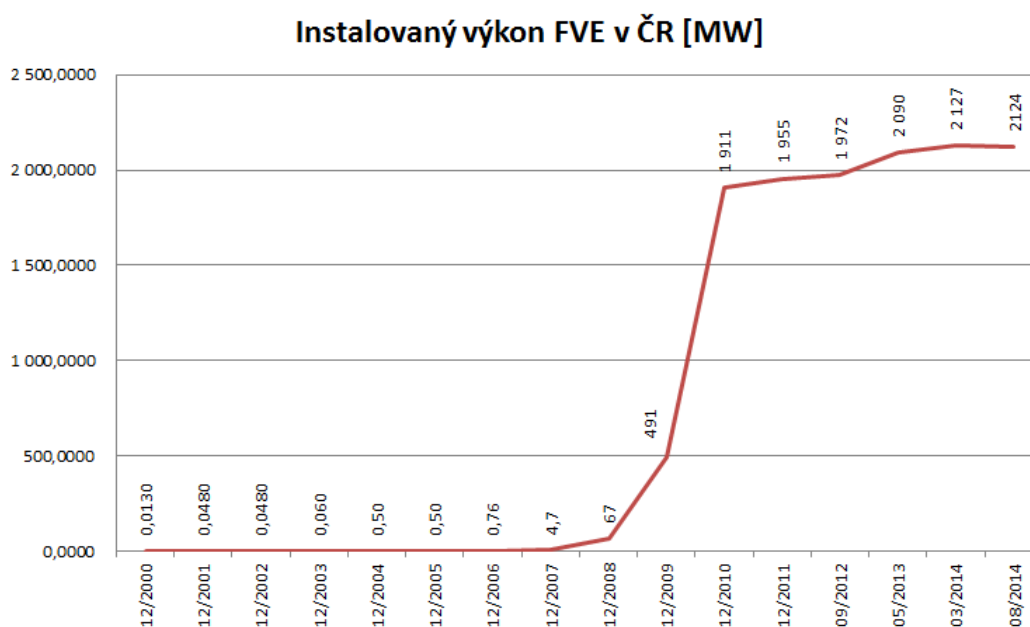
Fotovoltaická elektrárna Vranovská Ves se nachází v Jihomoravském kraji v okrese Znojmo. Leží 15 kilometrů od města Znojma. Instalovaný výkon elektrárny je celkem 16 MW a podle specialistů, by měla tato FVE pokrýt 4000 domácností na jihu Moravy. Z hlediska přírodních podmínek se oblast, kde se vyskytuje tato FVE, jeví jako další z velmi vhodných lokalit. Dopadající sluneční záření respektive průměrný roční úhrn globálního záření je v této oblasti 4,1 tisíce MJ/m². Skupina ČEZ vlastní také tuto FVE Vranovská Ves. Byla postavena a zprovozněna koncem roku 2010. [7, 8]



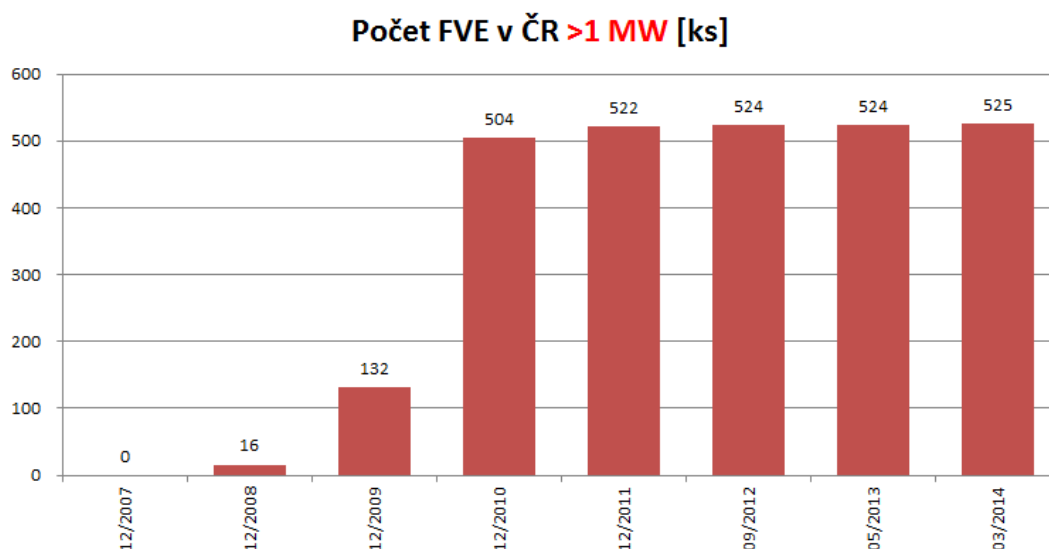
Obr. 29 Fotovoltaická elektrárna Vranovská Ves [7]

4.6 Výkon a počet všech FVE v ČR

Začátek největšího nárůstu instalovaného výkonu zaznamenal rok 2008, kdy začala celosvětová ekonomická krize. Další extrémní nárůst začal od poloviny roku 2009. V tomto období byl instalovaný výkon 491 MW. Extrémní nárůst pokračoval až do začátku roku 2010. Zde byl instalovaný výkon 1 911 MW. Tyto velké nárůsty instalovaného výkonu v těchto letech byly z důvodu velmi vysokých výkupních cen, viz kapitola 5 (Obr. 46). Důvod těchto vysokých výkupních cen bylo kvůli přilákání nových investorů. Vybudovat více FVE v ČR bylo z důvodu EU, protože státy, které jsou v EU, musí vyrábět určité procento elektrické energie z obnovitelných zdrojů. V dalších letech se stále množství provozovaných FVE zvyšovalo, čímž se zvyšoval i instalovaný výkon, a to řádově desítky MW za rok (Obr. 30).



Obr. 30 Výkon všech fotovoltaických elektráren v ČR [10]



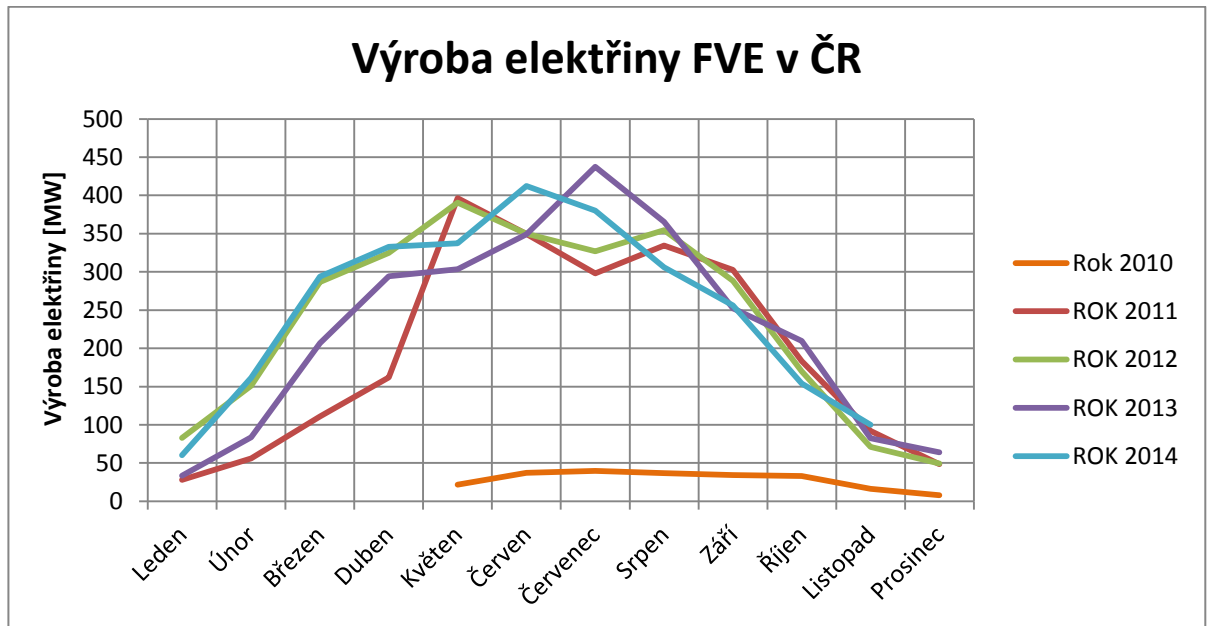
Obr. 31 Počet fotovoltaických elektráren v ČR větších než 1 MW [10]

4.7 Porovnání výroby elektřiny FVE v ČR

Výroba elektřiny FVE v ČR od roku 2010 do roku 2014 je uvedena ve spodním grafu (Obr. 32). Tyto data pocházejí od společnosti ČEPS, a.s. Společnost ČEPS, a.s. má především data od největších FVE a u malých FVE, které jsou připojené do distribuční sítě, se jejich výroba pouze odhaduje. Maximální výroba elektřiny z FVE v ČR pro rok 2010 dosahovala téměř k 40 MW (Obr. 33). Skokový nárůst vyrobené elektřiny z FVE byl v roce 2011 (Obr. 34), kde maximální vyrobená elektřina byla téměř 400 MW. Tato maximální hodnota v roce 2011 byla v polovině května a v dalších měsících se vyrobená elektřina snižovala, a to zejména v letních měsících. Důvod, velkého poklesu vyrobené elektřiny zejména v měsíci červen a červenec bylo, protože teploty na slunci dosahovaly přes 30 °C, a tedy účinnost FV panelů se snížila. V dalších následujících letech byla tato maximální hodnota (400 MW) vyrobené elektřiny dosáhnuta, někdy i dokonce překročena, jak tomu bylo pro rok 2013 (Obr. 36) a 2014 (Obr. 37). Maximální hodnoty vyrobené elektřiny kolem 400 MW byly nejčastěji v měsíci květnu, což bylo v roce 2011 a 2012. V roce 2013 byla maximální hodnota vyrobené elektřiny v měsíci červenci a pro rok 2014 v měsíci červnu.

Velmi rychlý nárůst vyrobené elektřiny FVE v roce 2011 byl enormní, protože byla přijata rychlá novela zákona o podpoře obnovitelných zdrojů. Tato podpora se týkala pouze FVE, které dosahovaly maximálního výkonu 30 kW a byly umístěné na budovách. Zatímco v roce 2010 byla maximální vyrobená elektřina téměř 40 MW (Obr. 33) v měsíci červenci, v roce 2011 byla minimální vyrobená elektřina zhruba 30 MW (Obr. 34), což bylo v měsíci lednu. Lze tedy říci, že maximální vyrobená elektřina v roce 2010 byla pro rok 2011, téměř

minimální vyrobenou elektřinou. V následujících letech, tedy v roce 2012, 2013 a 2014 se pohybovala minimální hodnota vyrobené elektřiny kolem 50 MW v zimních měsících. Z plošných grafů, které jsou uvedené v příloze (Příloha A), je možné vidět, jak jsou FVE v ČR velice využívané.



Obr. 32 Výroba elektřiny od roku 2010 do roku 2014

5 Legislativa FVE v ČR

Pro vybudování a provozování FVE v ČR je potřeba dodržovat a respektovat několik zákonů a vyhlášek České republiky. Jeden z důležitých zákonů je energetický zákon.

„Zákon č. 458/2000 Sb. upravuje podmínky podnikání, výkon státní správy a regulaci v energetických odvětvích, kterými jsou elektroenergetika, plynárenství a teplárenství.“ [18]

Při provozování fotovoltaické elektrárny v České republice, se musí dodržovat zákon č. 458/2000 Sb. Hlavní podmínka, která musí být splněna v případě provozování FVE je například ta, že vlastníkem FVE může být fyzická nebo právnická osoba v případě státního souhlasu (§3, odst. 3). Poté je vlastníkovi přidělena licence, a to na dobu nejvýše 25 let (§4, odst. 1). Licence se uděluje z hlediska fotovoltaiky na přenos elektřiny, výrobu elektřiny a distribuci elektřiny. Tato licence se dále uděluje například na: přepravu plynu, výrobu plynu, uskladňování plynu, distribuci plynu, ale také na výrobu tepelné energie a rozvod tepelné energie. Chce-li například fyzická osoba mít udělenou licenci, musí splňovat tyto 4 podmínky: „1) dosažení věku 21 let, 2) úplná způsobilost k právním úkonům, 3) bezúhonnost, 4) odborná způsobilost nebo ustanovení odpovědného zástupce podle §6.“ [20]

Při splnění všech podmínek je vlastníkovi udělena licence, kterou schvaluje Energetický regulační úřad.

„Účelem zákona č. 180/2005 Sb. je podpora využívání obnovitelných zdrojů energie, trvalé zvyšování jejich podílů na spotřebě primárních energetických zdrojů, šetrné využívání přírodních zdrojů, rozvoj společnosti, naplnění cílů stanovených směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES.“ [19]

V zákoně č. 180/2005 Sb. bylo za relativně krátký časový úsek, provedeno několik změn. Nejvíce zásadních změn bylo v novele č. 402/2010 Sb., kde byla zavedena solární daň. Výše solární daně byla 28 %, ale pouze v případě tzv. zeleného bonusu. U výkupních cen se pohybovala solární daň 26 %. Podle zákona se musí solární daň odvést, je-li ze slunečního záření vyrobená elektřina, a to „v období od 1. ledna 2011 do 31. prosince 2013 v zařízení uvedeném do provozu v období od 1. ledna 2009 do 31. prosince 2010.“ [19]

Je-li fotovoltaická elektrárna umístěná na obvodové zdi nebo na střeše budovy a má-li FVE instalovaný výkon do 30 kW, pak je zde osvobození od solární daně. [19]

Zákon č. 402/2010 Sb. byl novelizovaný na zákon č. 165/2012 Sb. V Zákoně č. 165/2012 Sb. bylo provedeno několik malých změn, ovšem sazby solárních daní a

osvobození od solární daně zůstaly stejné. Změna, která se udělala u odvodu solární daně, bylo období vyrobené elektřiny ze slunečního záření. Podle zákona č. 165/2012 Sb. se musí solární daň odvést, je-li ze slunečního záření vyrobená elektřina, a to „v období od 1. ledna 2013 do 31. prosince 2013 v zařízení uvedeném do provozu v období od 1. ledna 2009 do 31. prosince 2010.“ [31]

Další zákon, který byl novelizovaný je zákon č. 310/2013 Sb., ve kterém proběhlo několik malých změn, ale z hlediska fotovoltaiky jedna zásadní. V zákoně č. 310/2013 Sb. byla změněna sazba odvodu solární daně. V případě použití zeleného bonusu je výše solární daně 11 %. V případě výkupní ceny je výše solární daně 10 %. Zákon č. 310/2013 Sb. byl novelizovaný na zákon č. 90/2014 Sb., ovšem změny ve fotovoltaice byly nepatrné a sazby solárních daní zůstaly stejné. [30]

Zákon č. 51/2006 Sb. je „o podmínkách připojení k elektrizační soustavě.“ [33]

Zákon č. 51/2006 Sb. byl změněn na zákon č. 81/2010 Sb. a poté na zákon č. 82/2011 Sb. V zákonu č. 82/2011 Sb. jsou popsány například: „Podmínky připojení zařízení žadatele k přenosové soustavě nebo distribuční soustavě, Žádost o připojení zařízení k přenosové soustavě nebo distribuční soustavě, Posuzování žádosti o připojení zařízení k přenosové soustavě nebo distribuční soustavě, Krátkodobé připojení k distribuční soustavě, Připojení zařízení žadatele k přenosové soustavě nebo distribuční soustavě“ [33]

Zákon č. 586/1992 Sb. upravuje podmínky daně z příjmů jak právnických, tak fyzických osob. Právnické i fyzické osoby byly od daně z příjmů z provozu FVE osvobozeny do 31. 12. 2010. Daňové osvobození bylo pro rok, kdy byla FVE uvedena do provozu. Po tomto roce, bylo osvobození od daně z příjmů, které trvalo ještě 5 let. Dohromady tedy 6 let po uvedení FVE do provozu byly fyzické i právnické osoby osvobozeny od daně z příjmů. Daňové příznání se po tuto dobu, tedy po dobu 6 let, nemuselo podávat. Od 1. 1. 2011 bylo osvobození od daně z příjmů právnických i fyzických osob zrušeno, což provedl zákon č. 346/2010 Sb. Sazba daně není u právnických osob i fyzických osob stejná. [19, 34]

Daň z příjmů pro fyzické osoby

„Daň ze základu daně sníženého o nezdánitelnou část základu daně (§ 15) a o odčitatelné položky od základu daně (§ 34) zaokrouhleného na celá sta Kč dolů činí 15 %.“ [34]

Daň z příjmů pro právnické osoby

„Sazba daně činí 19 %, pokud v odstavcích 2 a 3 není stanoveno jinak. Tato sazba daně se vztahuje na základ daně snížený o položky podle § 34 a § 20 odst. 7 a 8, který se zaokrouhluje na celé tisícikoruny dolů.“ [34]

Zákon č. 586/1992 Sb. byl několikrát novelizovaný každým rokem od roku 1992. Nejnovější novelizace zákona č. 586/1992 Sb. je zákon č. 162/2014 Sb. I s několika novelizacemi je stále sazba daně pro právnické osoby a fyzické osoby od roku 2010 stejná. [34]

5.1 Výkupní ceny elektřiny FVE od roku 2005 do roku 2014

Cenové rozhodnutí v roce 2005

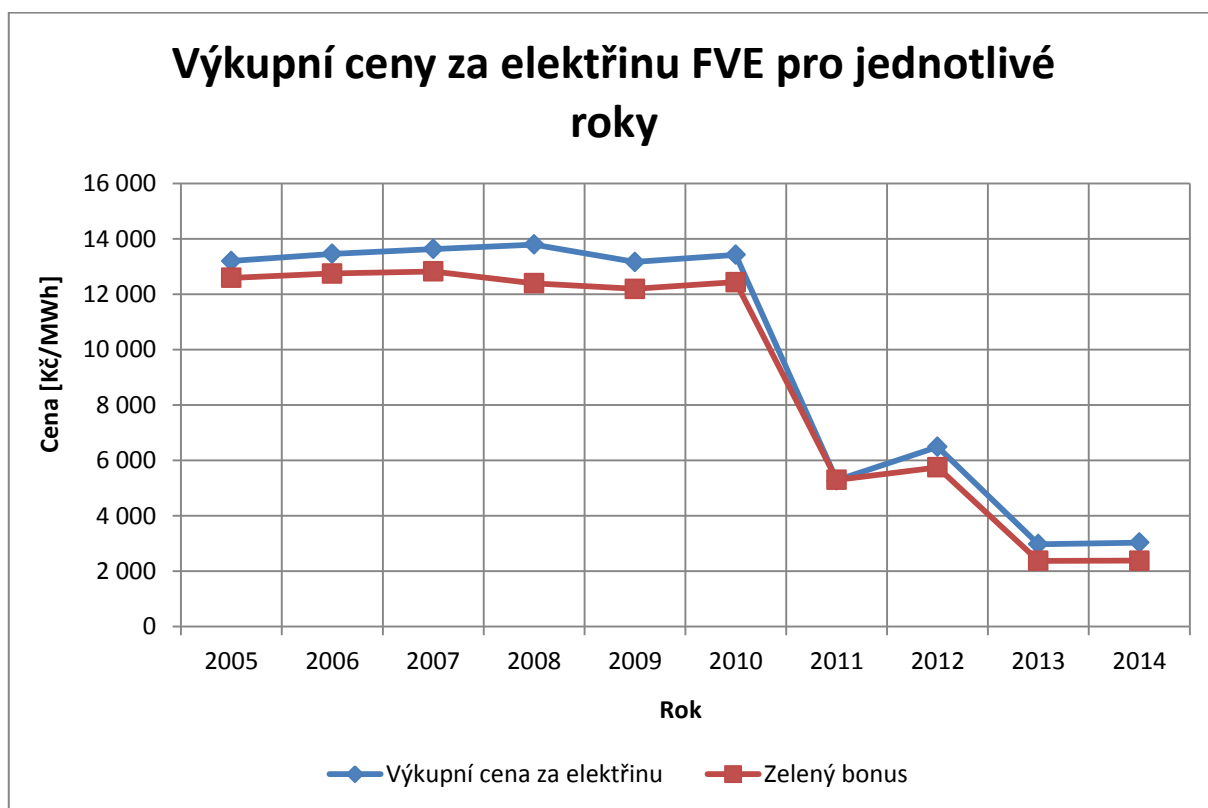
V roce 2005 byla výkupní cena za elektřinu 13 200 Kč/MWh. Zelený bonus dosahoval částky 12 590 Kč/MWh. Tyto výkupní ceny platili v případě, pokud byla FVE uvedena do provozu po 1. lednu 2006. V případě, že byla FVE uvedena do provozu před 1. lednem 2006, výkupní cena za elektřinu dosahovala 6 280 Kč/MWh a zelený bonus 5 670 Kč/MWh. Ostatní výkupní ceny a zelené bonusy pro následující roky jsou uvedené v tabulce 5.1 včetně roku 2005. [36]

Tab. 5.1 Výkupní ceny elektřiny a zeleného bonusu od roku 2005 do roku 2014

Uvedení do Provozu	Před 1. 1. 2006		Od 1. 1. 2006 do 31. 12. 2010		Od 1. 1. 2011 do 31. 12. 2012		Od 1. 1. 2013 do 31. 12. 2013	
	Výkupní cena [Kč/MWh]	Zelený bonus [Kč/MWh]	Výkupní cena [Kč/MWh]	Zelený bonus [Kč/MWh]	Výkupní cena [Kč/MWh]	Zelený bonus [Kč/MWh]	Výkupní cena [Kč/MWh]	Zelený bonus [Kč/MWh]
2005	6 280	5 670	13 200	12 590	-	-	-	-
2006	6 410	5 700	13 460	12 750	-	-	-	-
2007	6 570	5 760	13 630	12 820	-	-	-	-
2008	6 710	5 730	13 793	12 393	-	-	-	-
2009	6 850	5 880	13 164	12 194	-	-	-	-
2010	6 990	5 990	13 423	12 434	6 300	5 300	-	-
2011	7 310	6 050	13 705	12 625	5 280	5 300	-	-
2012	7 273	6 343	13 974	13 176	6 488	5 748	2 915	2 365
2013	7 418	6 688	14 260	13 570	6 620	5 955	2 975	2 375
2014	7 566	6 836	14 545	13 840	8 385	6 060	3 035	2 383

Výkupní ceny elektřiny FVE od roku 2005 do roku 2014

Výkupní ceny elektřiny z FVE jsou uvedeny v grafu (Obr. 46). Tyto ceny jsou průměrné. Přesná výkupní cena elektřiny konkrétní FVE by závisela na konkrétním roku uvedení FVE do provozu a velikosti instalovaného výkonu. Na těchto dvou faktorech se odvíjí přesná výkupní cena elektřiny a cena zeleného bonusu.



Obr. 46 Výkupní ceny za elektřinu se zeleným bonusem od roku 2005 do roku 2014

6 Výhody a nevýhody navýšení instalovaného výkonu FVE v ČR

Vytvoření nových FVE, a tedy navýšení instalovaného výkonu FVE v ČR, by přineslo řadu výhod, ale i řadu nevýhod.

Mezi velkou zásadní výhodou by patřila úspora fosilních paliv a zároveň snížení emisí (škodlivin) v ovzduší. V České republice se používá zejména hnědé uhlí jako fosilní palivo. Při spalování fosilních paliv dochází ke vzniku prachových částic, k oteplování planety, ale také k silnému znečištění ovzduší například CO_2 , SO_2 , NO_x a dalšími škodlivými látkami. Další výhodou by byla efektivněji využitá plocha například na střeších rodinných domů, panelových domech, firmách popřípadě na plochách, která by nebyla efektivně využita. Mezi dalšími výhodami patří velice nízké provozní náklady oproti jiným elektrárnám.

Mezi značnou nevýhodou patří vliv provozu FVE na distribuční síť. Výkon, který dodává FVE do distribuční sítě je závislý na slunečním záření, a tedy dochází k neustálému kolísání výkonu. V případě, že dojde ke snížení nebo přerušení slunečního záření (vlivem mraků, apod.) dojde také ke snížení nebo k přerušení dodávky výkonu z FVE do distribuční sítě. Tyto potřebné výkony se musí vykompenzovat jinou elektrárnou. Zde může nastat problém, pokud tato kolísavost přesáhne určitou mez, kdy by nebylo dostatečné množství výkonové rezervy na straně zdrojů, které běžně umožňují regulaci svojí výroby. Tím by mohlo dojít k porušení bilanční výkonové rovnice a k nevyrovnání výkonů v distribuční síti. V úplně nejhorším případě by hrozilo riziko tzv. blackoutu, tedy výpadku dodávky elektřiny. Mezi další nevýhodou, která je s tím spojená je požadavek udržení frekvence na jmenovité hodnotě. Musí být tedy v každém okamžiku vyrovnaná výroba a spotřeba. Což klade velké nároky na akumulační zařízení a nutnost provozovat i jiné zdroje, které jsou na rozdíl od FVE snadno a efektivněji regulovatelné. Neboť FVE jsou stále posuzované jako zdroje převážně neregulovatelné. Další nevýhodou je harmonické zkreslení. Harmonické zkreslení ve FVE vzniká u střídače, a to na začátku provozu, kdy v tomto okamžiku pracuje střídač na velmi malém výkonu, tak i během provozu. Další nevýhodou FVE může být vznik vyšších harmonických, které vznikají při nelineárním odběru elektřiny. Další nevýhodou FVE je účinník. FVE musí dodržovat přesné pásmo induktivního účinníku, a to 0,95 až 1,00. FVE musí mít k distribuční soustavě charakter ohmický, popřípadě charakter mírně induktivní. V případě velkých jalových výkonů by docházelo k ovlivnění napěťových poměrů v síti. FVE mají kapacitní charakter, a proto se používají dekompenzační tlumivky, které přesouvají účinník do induktivního kvadrantu. Prozatím dalším problémem a tedy i nevýhodou je odstranění či

recyklace FV panelů. Odstranění FV panelů je řešena dvěma způsoby, a to ekologickou likvidací nebo recyklací. Při ekologické likvidaci vzniká odpad, který je ekologicky upravený, zatímco při recyklaci vzniká minimum odpadu. Nejvýhodnější je tedy recyklace FV panelů, protože při recyklaci se získává zpět poměrně velká část křemíku, což je velice cenná surovina. Další recyklovatelné materiály, které se získají při recyklaci je hliník, sklo, těžké kovy, popřípadě plasty. Výtěžnost recyklace u skla je kolem 95 % a u hliníku téměř 100 %. Plasty se dají recyklovat částečně nebo vůbec, protože obvykle degradují klimatickými podmínkami. Těžké kovy sice představují zanedbatelné položky z hlediska spotřeby energie, hmotnosti, apod., ovšem recyklují se z důvodu toxických vlastností. Metod pro recyklaci FV panelů je několik a mohou být univerzální nebo vytvořené pro určité druhy panelů. Metody FV panelů jsou například termická recyklace a mechanicko-chemická metoda. [41, 42, 43, 44]

6.1 Termická recyklace

Termická recyklace (Obr. 47) je jedna z nejpokročilejších metod pro recyklaci FV panelů. FV panely, které jsou vcelku, se vkládají do speciálně navržené pece. V této peci jsou zahřívány FV panely na teplotu okolo 500 °C. Plastové materiály se při této teplotě odpaří a poté jsou spalovány v další komoře. Ostatní materiály, které zůstaly po odpaření plastů, jsou oddělovány ručně. Při této recyklaci je výtěžnost až 85 % článků, v případě, že FV panely nejsou poškozené. Tato recyklace se používá pro všechny konstrukce panelů z krystalických článků. Odhaduje se, že spotřeba energie pro výrobu nových FV panelů, která se ušetří touto recyklací je okolo 70 %. Výtěžnost recyklace jednotlivých materiálů je uvedena v tabulce 6.1. [44]



Obr. 47 Termická recyklace [44]

Tab. 6.1 Výtěžnost materiálů z krystalických panelů [44]

Materiál	Složení panelů [kg/kW _p]	Podíl [%]	Výtěžnost recyklace [%]
Sklo	60	67	95
Hliník	16	18	100
Plasty	10	11	-
Křemeník	3	3	85
Měď	1	1	80

6.2 Mechanicko-chemická metoda

Mechanicko-chemická metoda (Obr. 48) pro recyklaci FV panelů pracuje na obdobném principu recyklace, která se používá pro LCD televizory. Z FV panelů se nejdříve ručně demontují hliníkové rámy. Po odstranění hliníkových rámu se FV panely rozdrtí. Pro oddělení jednotlivých materiálů z FV panelů se používají tzv. separační metody. Separační metody se skládají z mokrých, fluidních splavů a elektrodynamické separace. Například stříbro, ale i jiné velice důležité kovy jsou získány chemicky. Tyto kovy se poté používají jako suroviny v průmyslech a plasty jsou nejčastěji využívány pro spalování. Výhoda této mechanicko-chemické metody oproti termické recyklaci je menší podíl ruční práce. Výsledkem této metody jsou pouze drcené suroviny. Mechanicko-chemická metoda se používá pro tenkovrstvé (amorfní) panely, u kterých nelze získat polovodičové materiály jiným než tímto způsobem. Výtěžnost recyklace jednotlivých materiálů je uvedena v tabulce 6.2. [44]



Obr. 48 Mechanicko-chemická metoda [44]

Tab. 6.1 Výtěžnost materiálů z tenkovrstvých (amorfních) panelů [44]

Materiál	Složení panelů [kg/kW_p]	Podíl [%]	Výtěžnost recyklace [%]
Sklo	150	84	95
Hliník	20	12	100
Plasty	5	3	-
Ostatní	2	1	90

Závěr

V bakalářské práci jsem se věnoval principy přeměny světelného záření na elektrickou energii. Zhodnotil jsem výhody i nevýhody fotovoltaických článků. Uvedl jsem konstrukce, které se používají na fotovoltaické panely zejména pro rodinné domy. Popsal možnosti navýšení účinnosti FVE, a také zhodnotil klimatické podmínky v ČR.

Nejvíce důležitým bodem v této práci, byl návrh malé fotovoltaické elektrárny, která by se využívala pro rodinný dům. Nejdříve jsem vypočítal denní i měsíční spotřebu celého rodinného domu. Poté jsem určil instalovaný výkon FVE a počet fotovoltaických panelů pro tuto malou FVE. Jelikož jsem si zvolil ostrovní systém s akumulací, bylo zapotřebí vypočítat kapacitu akumulátoru.

Následně jsem se věnoval analýze této FVE ve čtyřech lokalitách, a to v Plzeňském, Jihomoravském, Ústeckém a Olomouckém kraji. Od klimatických podmínek, tedy z ročního úhrnu globálního slunečního záření v ČR, jsem zvolil tyto čtyři oblasti město Lednice, Stříbro, Mikulášovice a Vlčice. Lednice se nachází v Jihomoravském kraji, kde je největší roční úhrn dopadajícího slunečního záření. Mikulášovice se vyskytují v Ústeckém kraji a v oblasti, kde je nejmenší roční úhrn dopadajícího slunečního záření. Město Stříbro a Vlčice jsem si zvolil, protože se nacházejí na dalších vzdálených lokalitách od těchto dvou míst, tedy od Lednice a Mikulášovic. Za pomoci výsledků z výpočetního programu PVGIS jsem následně určil nejlépe vhodnou a naopak nejméně vhodnou lokalitu pro vybudování FVE v ČR. Nejlépe vhodná lokalita dopadla podle očekávání v Lednici. Nejméně vhodná lokalita, ovšem nedopadla podle očekávání v Mikulášovicích, nýbrž ve Vlčicích. Důvodem výsledku této nejméně vhodné lokality nezávisí pouze na dopadajícím slunečním záření, ale také na nadmořské výšce.

V další části této bakalářské práce jsem uvedl využívání fotovoltaických elektráren v ČR. Popsal a uvedl jedny z největších FVE, které se nacházejí na území ČR. Například FVE Ralsko, Ševětín, Mimoň, Dukovanskou FVE apod.

V neposlední řadě jsem věnoval pozornost legislativě, ve které jsem uvedl několik vyhlášek, které je třeba respektovat a dodržovat. Poté jsem se zaměřil na cenová rozhodnutí výkupních cen včetně zeleného bonusu od roku 2005 do roku 2014.

Na závěr jsem shrnul výhody i nevýhody možného navýšení instalovaného výkonu FVE v ČR. Zde jsem vyzdvihl jako největší výhodu úsporu fosilních paliv a zároveň snížení emisí. Naopak mezi největší nevýhodu jsem uvedl možné dopady provozu FVE na elektrizační soustavu.

Literatura

Citovaná literatura a internetové zdroje

- [1] Sluneční energie: *Východisko z ekologicko-energetické krize*. 1. vydání. Praha: Karamanolis, 1996.
- [2] Fotovoltaika: *Elektrina ze slunce*. Brno: ERA, 2007.
- [3] Solární (fotovoltaické) články. *Fotovoltaika* [online]. [cit. 2014-09-10]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [4] Fotovoltaika. *Petra Energy* [online]. [cit. 2014-09-08]. Dostupné z: <http://www.petraenergy.cz/fotovoltaika.html>
- [5] Fotovoltaické panely. *E-shop TERMS* [online]. [cit. 2014-09-08]. Dostupné z: <http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/c68811/fotovoltaicke-panely.html>
- [6] Dukovanská fotovoltaická elektrárna. *TZB-info* [online]. [cit. 2014-10-08]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3438-dukovanska-fotovoltaicka-elektrarna-i>
- [7] Největší české elektrárny. *Fotovoltaické panely* [online]. [cit. 2014-10-09]. Dostupné z: <http://www.fotovoltaickepanely.eu/fotovoltaika/nejvetsi-ceske-elektrarny/>
- [8] Provozované fotovoltaické elektrárny. *SKUPINA ČEZ* [online]. [cit. 2014-10-09]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/slunce/provozovane-fotovoltaicke-elektrarny.html>
- [9] Fotovoltaika v podmínkách ČR. *Isofenenergy* [online]. [cit. 2014-10-21]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [10] Solární elektrárny v ČR. *Elektrárny.pro* [online]. [cit. 2014-10-21]. Dostupné z: <http://www.elektrarny.pro/>
- [11] Fotovoltaická elektrárna. *EGP invest* [online]. [cit. 2014-10-21]. Dostupné z: <http://www.egpi.cz/detail-realizace-141.php>
- [12] Fotovoltaika. *Solární diagnostika* [online]. [cit. 2014-10-21]. Dostupné z: <http://www.solarnidiagnostika.cz/reference.html>
- [13] Stožáry a konstrukce pro solární kolektory. *Ekodum* [online]. [cit. 2014-10-21]. Dostupné z: <http://www.ekodum.cz/podpzar/stozar/sun/stozar.php>
- [14] Aktuálně: ERÚ zahajuje hloubkovou kontrolu ve fotovoltaických elektrárnách nad 1 MW. *Solární novinky* [online]. [cit. 2014-10-21]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?home/2013041802/aktualne-eru-zahajuje-hloubkovou-kontrolu-ve-fotovoltaickych-elektrarnach-nad-1-mw>

- [15] Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. *ELEKTRO - časopis pro elektrotechniku* [online]. [cit. 2014-10-22]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=40646
- [16] Křemík. *Euro-inox Mobile* [online]. [cit. 2014-10-22]. Dostupné z: http://mobile.euro-inox.org/map/silicon/CZ_silicon.php
- [17] Solární články z krystalického křemíku. *TZB-info* [online]. [cit. 2014-10-22]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3553-solarni-clanky-z-krystalickeho-kremiku-zakladni-technologie-soucasne-fotovoltaiky>
- [18] Právní předpisy. *TZB-info* [online]. [cit. 2014-10-26]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-458-2000-sb-a-souvisejici-predpisy>
- [19] *Zdanění fotovoltaické energie*. České Budějovice, 2012. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/309964/pravf_m/309964_DP_Zdaneni_fotovoltaicke_energie.pdf. Diplomová práce. Právnická fakulta.
- [20] Zákon č. 458/2000 Sb. *Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů* [online]. [cit. 2014-10-26]. Dostupné z: http://www.spvez.cz/pages/legislativa/predpisy_oze_015.htm
- [21] Fotovoltaika princip. *Česká solární* [online]. [cit. 2014-11-04]. Dostupné z: http://www.ceska-solarni.cz/fotovoltaika_princip.php
- [22] FVE stavebnice. *GREENCZECH* [online]. [cit. 2014-11-04]. Dostupné z: <http://www.greenczech.cz/produkty/fotovoltaicka-elektrarna-komponenty/>
- [23] Solární akumulátory. *Fg-forte* [online]. [cit. 2014-11-04]. Dostupné z: <http://www.fg-forte.cz/cz/kategorie/263-solarni-akumulatory.aspx>
- [24] Technologie AGM, GEL, EFB. *Autobaterie-PEMA* [online]. [cit. 2014-11-04]. Dostupné z: <http://www.autobaterie-pema.cz/cs/technologie-agm-gel-efb.html#.VFj7GslmOSo>
- [25] Konstrukce Schüco. *Isolar* [online]. [cit. 2014-11-06]. Dostupné z: <http://www.isolar.cz/konstrukce-schueco.html>
- [26] Co je to fotovoltaická elektrárna. *REC* [online]. [cit. 2014-11-07]. Dostupné z: <http://www.kvernelandgroup.cz/cz/fotovoltaika/fotovoltaicke-elektrarny/>

- [27] *Solární energie: Fotovoltaika - perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2005. ISBN 80-213-1335-8.
- [28] Fotovoltaické systémy s východo-západní orientací a pouze jedním střídačem. *TZB-info* [online]. [cit. 2014-11-08]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9667-fotovoltaicke-systemy-s-vychodo-zapadni-orientaci-a-pouze-jednim-stridacem>
- [29] Polymerové (plastové) solární články - nový směr vývoje. *Automatizace.hw* [online]. [cit. 2014-11-09]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/polymerove-plastove-solarni-clanky-novy-smer-vyvoje>
- [30] Česká republika. Sbírka zákonů. In: *Sbírka 305/2013*. 2013. Dostupné z: <http://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=310&r=2013>
- [31] Česká republika. Zákon: o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. In: *165/2012*. 2012. Dostupné z: <http://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=165&r=2012>
- [32] Koncentrovaná fotovoltaika. *Elceram* [online]. [cit. 2014-11-13]. Dostupné z: <http://www.elceram.cz/cs/vyvoj-koncentrovana-fotovoltaika-cpv.html>
- [33] Česká republika. Vyhláška. In: *51/2006 Sb.* 2006. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=62121&fulltext=51~2F2006&nr=&part=&name=&rpp=15#local-content>
- [34] Česká republika. Zákon: České národní rady. In: *586/1992 Sb.* 1992. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=40374&fulltext=586~2F1992&nr=&part=&name=&rpp=15#local-content>
- [35] Výroba. *ČEPS, a.s.* [online]. [cit. 2014-11-15]. Dostupné z: <http://www.ceps.cz/CZE/Data/Vsechna-data/Stranky/Vyroba.aspx>
- [36] Cenová rozhodnutí. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/poze/cenova-rozhodnuti/platna-cenova-rozhodnuti/archiv>
- [37] PANASONIC VBHN 245SJ25. *E-shop TERMS* [online]. [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: <http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/964682/c68830-monokrystalicke-panely/panasonic-vbhn-245sj25.html>
- [38] Performance of Grid-connected PV. *PVGIS* [online]. [cit. 2015-03-19]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>
- [39] Trakční baterie (akumulátor) pro ostrovní fotovoltaické elektrárny. *Solární moduly* [online]. [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.solarnimoduly.cz/jaky-akumulator.html>
- [40] Solar.bloc 12V 150Ah. *E-shop TERMS* [online]. [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/1038025/c68822-agm-gel/solarbloc-12v-150ah.html>

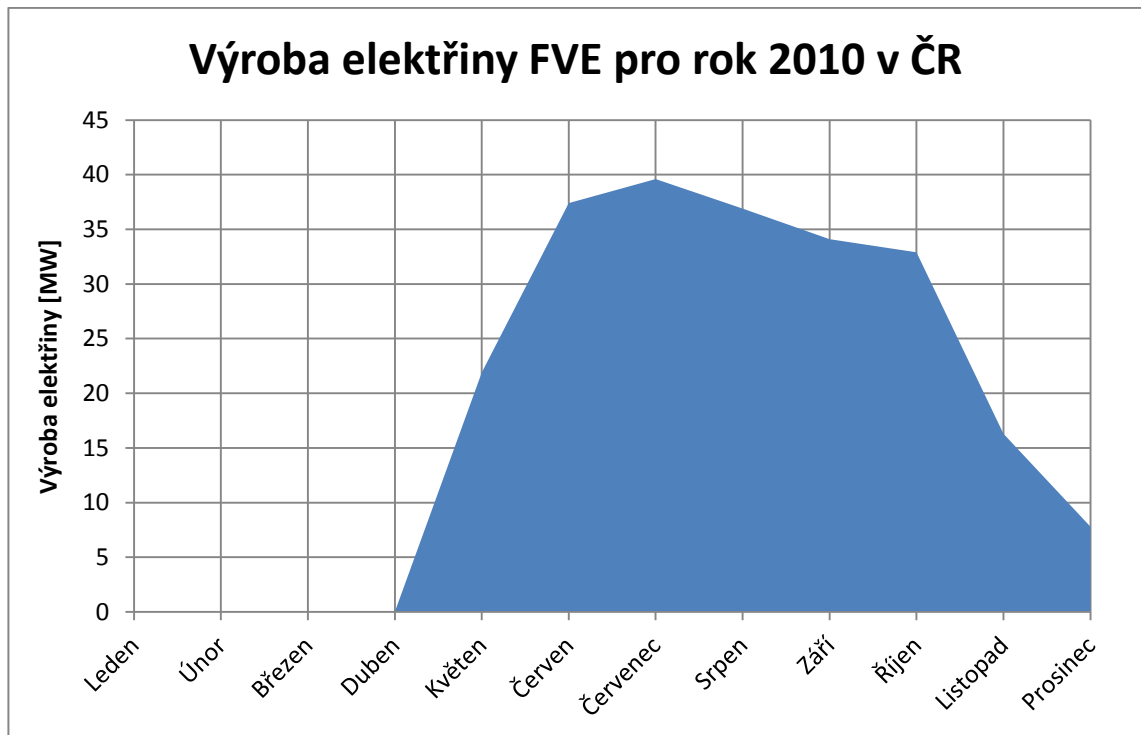
- [41] ČSRES. *ČEZ Distribuce* [online]. [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/zpravy-a-zajimavosti/tiskove-zpravy/189.html>
- [42] Řízení účinníku a kompenzace jalového výkonu na FVE. *Solat technika* [online]. [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.solartechnika.sk/solartechnika-12010/rizeni-uciniku-a-kompenzace-jaloveho-vykonu-na-fve.html>
- [43] Recyklace fotovoltaických panelů. *Elektro - časopis pro elektrotechniku* [online]. [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/recyklace-fotovoltaickych-panelu--10687>
- [44] Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti. *TZB-info* [online]. [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaickych-panelu-na-konci-zivotnosti>

Seznam obrázků

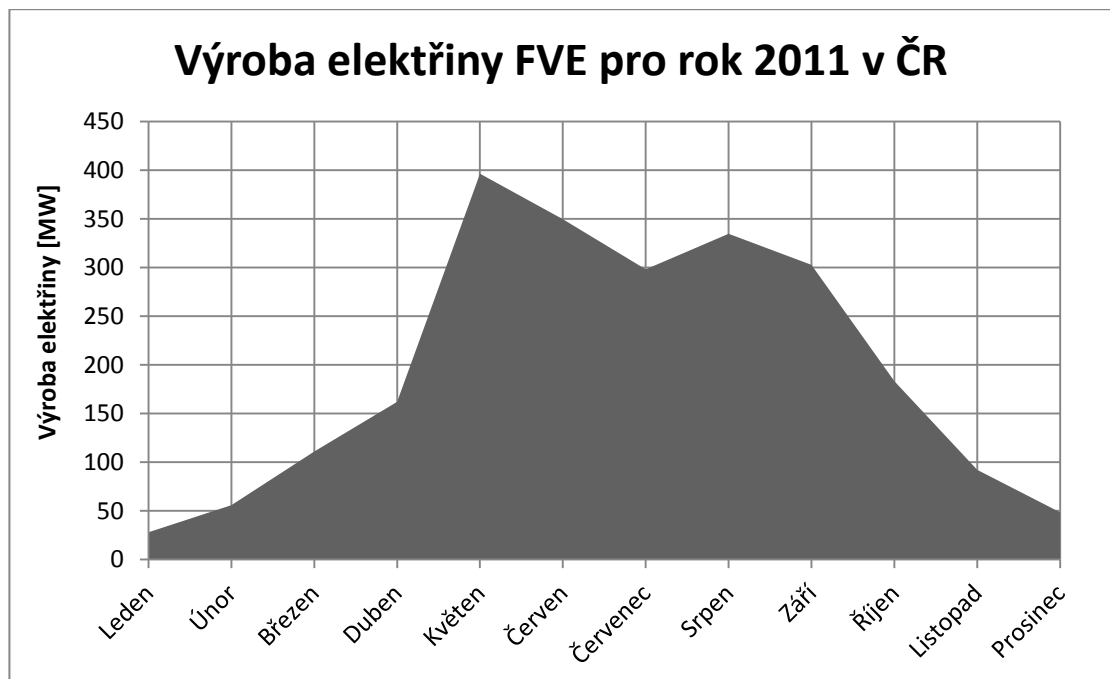
OBR. 1 ZAPOJENÍ STŘÍDAČE V RODINNÉM DOMĚ [22]	10
OBR. 2 CENTRÁLNÍ ZAPOJENÍ	11
OBR. 3 ŘETĚZOVÉ ZAPOJENÍ	12
OBR. 4 PRINCIP ČINNOSTI FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU [4]	15
OBR. 5 KŘEMÍK [16]	16
OBR. 6 NÁHRADNÍ SCHÉMA FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU	16
OBR. 7 MONOKRYSTALICKÉ ČLÁNKY [5]	18
OBR. 8 POLYKRYSTALICKÉ ČLÁNKY [5]	20
OBR. 9 AMORFNÍ (TENKOVRSŤVÉ) ČLÁNKY [5]	21
OBR. 10 TANDEMŮVÝ ČLÁNEK [29]	22
OBR. 11 UMÍSTĚNÍ NOSNÝCH KONSTRUKCÍ NA STŘEŠE [25]	23
OBR. 12 UMÍSTĚNÍ NOSNÝCH KONSTRUKCÍ VE STŘEŠE [25]	24
OBR. 13 KONSTRUKCE PRO PLOCHÉ STŘECHY [25]	24
OBR. 14 KONSTRUKCE NA FASÁDY [25]	25
OBR. 15 KONSTRUKCE MARKÝZA [25]	26
OBR. 16 VA CHARAKTERISTIKA KRYSTALICKÉHO PANELU [28]	27
OBR. 17 VA CHARAKTERISTIKA FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU PŘI RŮZNÝCH TEPLŮTÁCH [27]	28
OBR. 18 SLEDOVAČ SLUNCE TRAXLE [13]	30
OBR. 19 SLEDOVAČ TRAXLE V REÁLNÉ PODOBĚ [13]	31
OBR. 20 FOTOVOLTAICKÉ PANELY S KONCENTRÁTORY A SLEDOVAČE TYPU TRAXLE [27]	32
OBR. 21 ROČNÍ ÚHRN GLOBÁLNÍHO SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ V ČR [kWh/m ²] [9]	33
OBR. 22 PRŮMĚRNÁ DENNÍ VÝROBA ELEKTRINY V JEDNOTLIVÝCH OBLASTECH	38
OBR. 23 PRŮMĚRNÁ MĚSÍČNÍ VÝROBA ELEKTRINY V JEDNOTLIVÝCH OBLASTECH	38
OBR. 24 POČET VŠECH FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN V ČR [10]	39
OBR. 25 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA DUKOVANY [11]	40
OBR. 26 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA RALSKO [14]	41
OBR. 27 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA ŠEVĚTÍN [12]	42
OBR. 28 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA MIMOŇ [7]	42
OBR. 29 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA VRANOVSKÁ VES [7]	43
OBR. 30 VÝKON VŠECH FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN V ČR [10]	44
OBR. 31 POČET FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN V ČR VĚTŠÍCH NEŽ 1 MW [10]	45
OBR. 32 VÝROBA ELEKTRINY OD ROKU 2010 DO ROKU 2014	46
OBR. 46 VÝKUPNÍ CENY ZA ELEKTRINU SE ZELENÝM BONUSEM OD ROKU 2005 DO ROKU 2014	51
OBR. 47 TERMICKÁ RECYKLACE [44]	53
OBR. 48 MECHANICKO-CHEMICKÁ METODA [44]	54
OBR. 33 VÝROBA ELEKTRINY FVE PRO ROK 2010 V ČR [35]	2
OBR. 34 VÝROBA ELEKTRINY FVE PRO ROK 2011 V ČR [35]	2
OBR. 35 VÝROBA ELEKTRINY FVE PRO ROK 2012 V ČR [35]	3
OBR. 36 VÝROBA ELEKTRINY FVE PRO ROK 2013 V ČR [35]	3
OBR. 37 VÝROBA ELEKTRINY PRO ROK 2014 V ČR [35]	4
OBR. 38 PRŮMĚRNÁ DENNÍ VÝROBA ELEKTRINY PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE	8
OBR. 39 PRŮMĚRNÁ MĚSÍČNÍ VÝROBA ELEKTRINY PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE	8
OBR. 40 PRŮMĚRNÁ DENNÍ VÝROBA ELEKTRINY PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE	10
OBR. 41 PRŮMĚRNÁ MĚSÍČNÍ VÝROBA ELEKTRINY PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE	10
OBR. 42 PRŮMĚRNÁ DENNÍ VÝROBA ELEKTRINY PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE	12
OBR. 43 PRŮMĚRNÁ MĚSÍČNÍ VÝROBA ELEKTRINY PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE	12
OBR. 44 PRŮMĚRNÁ DENNÍ VÝROBA ELEKTRINY PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE	14
OBR. 45 PRŮMĚRNÁ MĚSÍČNÍ VÝROBA ELEKTRINY PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE	14

Přílohy

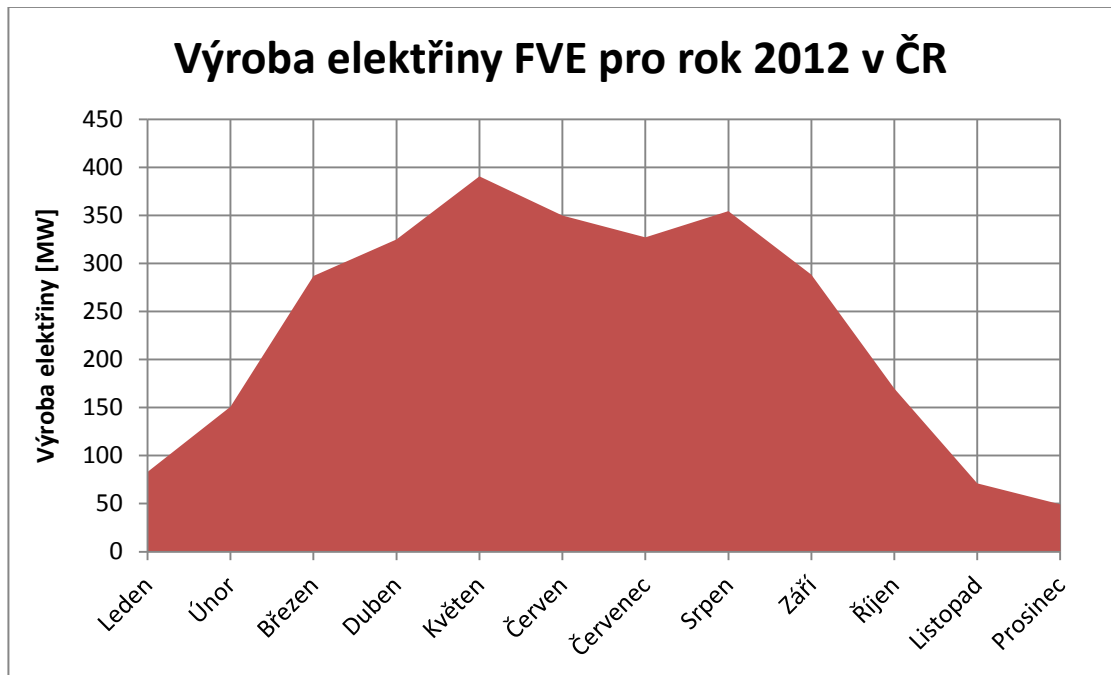
Příloha A – Výroba elektřiny FVE od roku 2010 do 2014



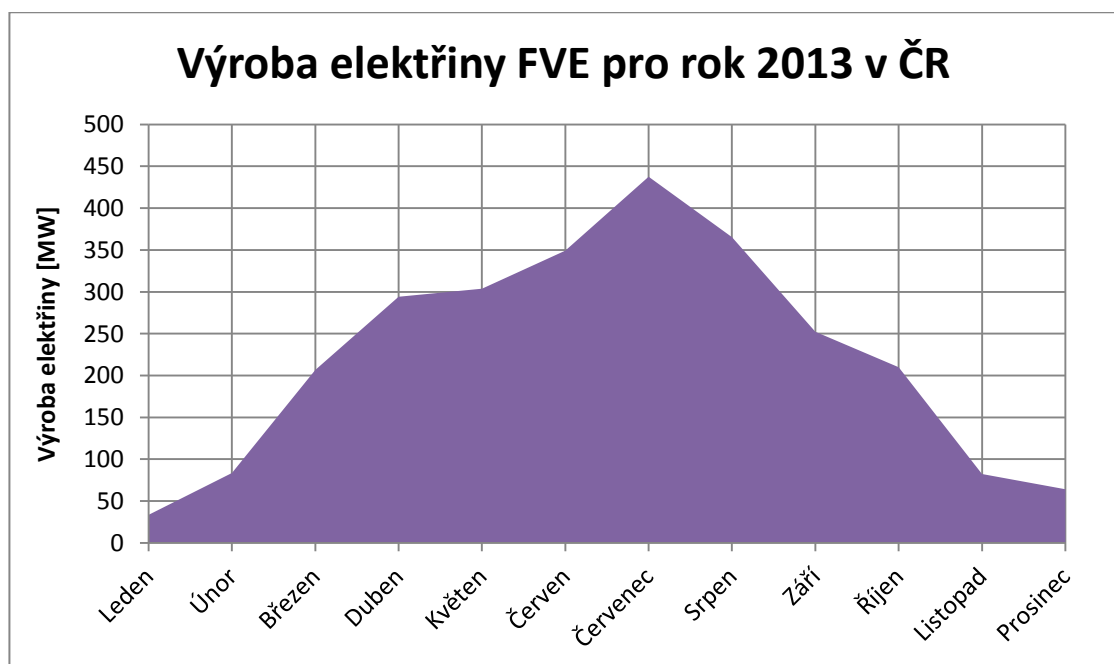
Obr. 33 Výroba elektřiny FVE pro rok 2010 v ČR [35]



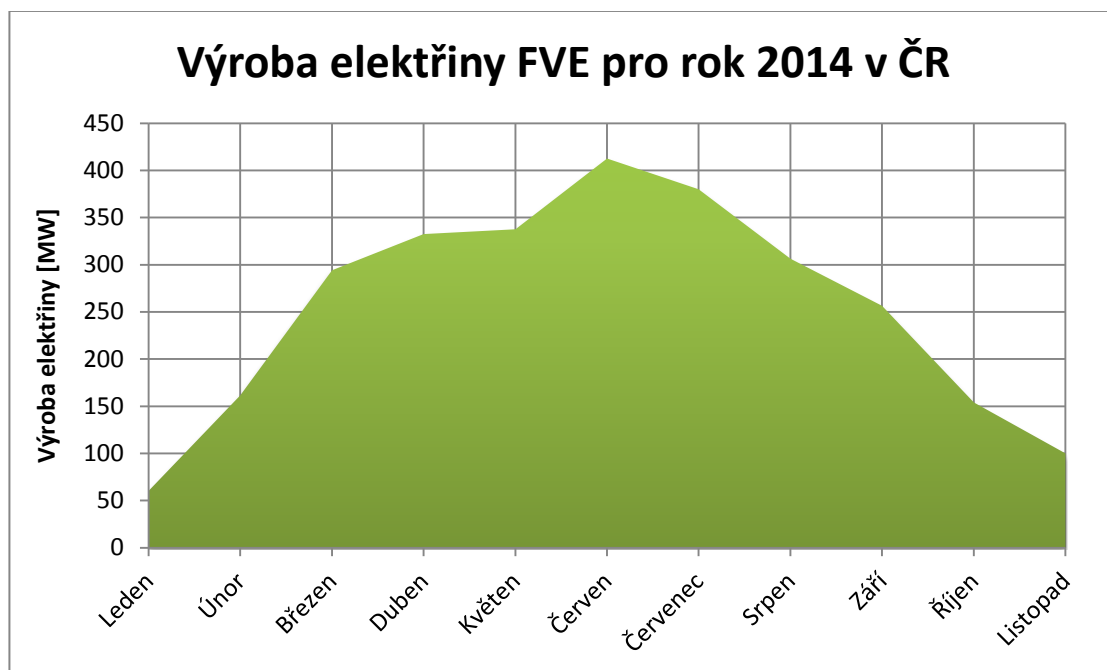
Obr. 34 Výroba elektřiny FVE pro rok 2011 v ČR [35]



Obr. 35 Výroba elektřiny FVE pro rok 2012 v ČR [35]



Obr. 36 Výroba elektřiny FVE pro rok 2013 v ČR [35]



Obr. 37 Výroba elektřiny pro rok 2014 v ČR [35]

Příloha B – Panasonic VBHN 245SJ25*Základní údaje:**Výrobce: PANASONIC**Běžná cena bez DPH: 8.450 Kč**Naše cena bez DPH: 8.000 Kč**Naše cena s DPH: 9.680 Kč**PHE: 30 Kč**Ušetříte: 450 Kč (5 %)**Váha: 15 kg [37]*

Vysoce výkonný fotovoltaický panel s jednotkovým výkonem 245Wp a účinností panelu 19,4%. Solární článek HIT je vyroben z tenkého plátku křemíkového monokrystalu obklopeného ultratenkou vrstvou amorfního křemíku. Díky nejmodernější technologii výroby dosahuje tento produkt ve své oblasti špičkových provozních vlastností. V současné době jsou články PANASONIC nejvýkonnější na světě. Novinkou této řady je speciálně navržený rám, který díky drenážnímu systému odvádí vodu z povrchu panelu i při instalaci panelu pod nízkým úhlem.[37]

Základní parametry:

- *Antireflexní sklo*
- *Nominální výkon: 245W*
- *Účinnost panelu: 19,4%*
- *Rozměry: 1580 x 798 x 35 mm*
- *Napětí naprázdno (VOC): 53,0V*
- *Napětí po zatížení (VPM): 44,3V [37]*

Příloha C – Solar.bloc 12V 150Ah

Základní údaje:

Výrobce: HOPPECKE

Naše cena bez DPH: 8.898 Kč

Naše cena s DPH: 10.766 Kč

Váha: 55 kg [40]

Hoppecke Solar Bloc je nejekonomičtější produktová série pro akumulaci elektrické energie s bezúdržbovou technologií AGM. Akumulátory Hoppecke jsou ventilem řízené s mřížkovanými elektrodami. Elektrolyt je fixovaný ve skelném vlákne AGM, které funguje zároveň jako separátor. Díky vlastnostem rounového vlákna v baterii Hoppecke Solar Bloc, je vhodné pro široké použití, zejména v oblastech energetiky. [40]

Základní parametry:

- *rozměry: 498x177x230mm*
- *váha 55 kg*
- *jmenovité napětí 12V*
- *kapacita 150Ah [40]*

Příloha D – Analýzy ve čtyřech lokalitách

Analýza FVE Lednice

Tab. 3.3 Průměrné hodnoty výroby elektřiny a průměrné hodnoty globálního záření [38]

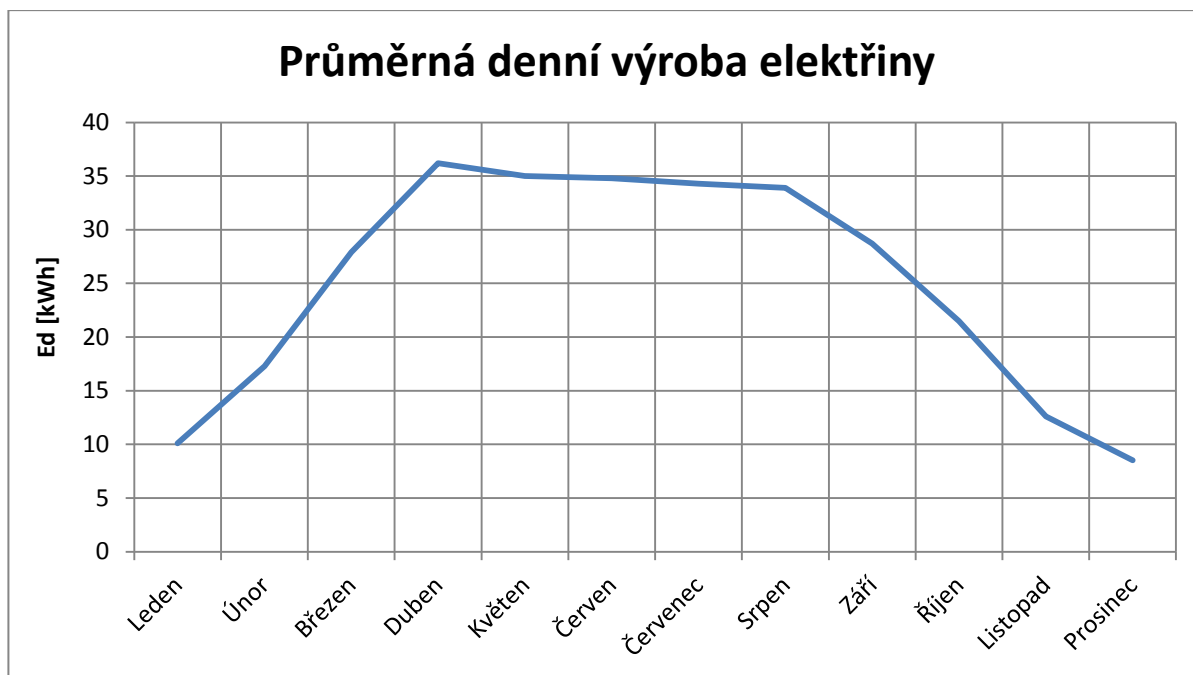
Pevný systém: sklon 45°, orientace Jih				
Měsíc	E_d [kWh]	E_m [kWh]	H_d [kWh/m²]	H_m [kWh/m²]
Leden	10,1	313	1,37	42,5
Únor	17,3	486	2,42	67,7
Březen	27,9	864	4,07	126
Duben	36,2	1090	5,53	166
Květen	35	1080	5,46	169
Červen	34,8	1040	5,48	164
Červenec	34,3	1060	5,47	169
Srpen	33,9	1050	5,37	166
Září	28,7	860	4,42	133
Říjen	21,5	667	3,16	98,1
Listopad	12,6	379	1,78	53,3
Prosinec	8,52	264	1,16	36
Roční průměr	25,1	763	3,81	116
Celkem za rok	9160		1390	

E_d - Průměrná denní výroba elektřiny

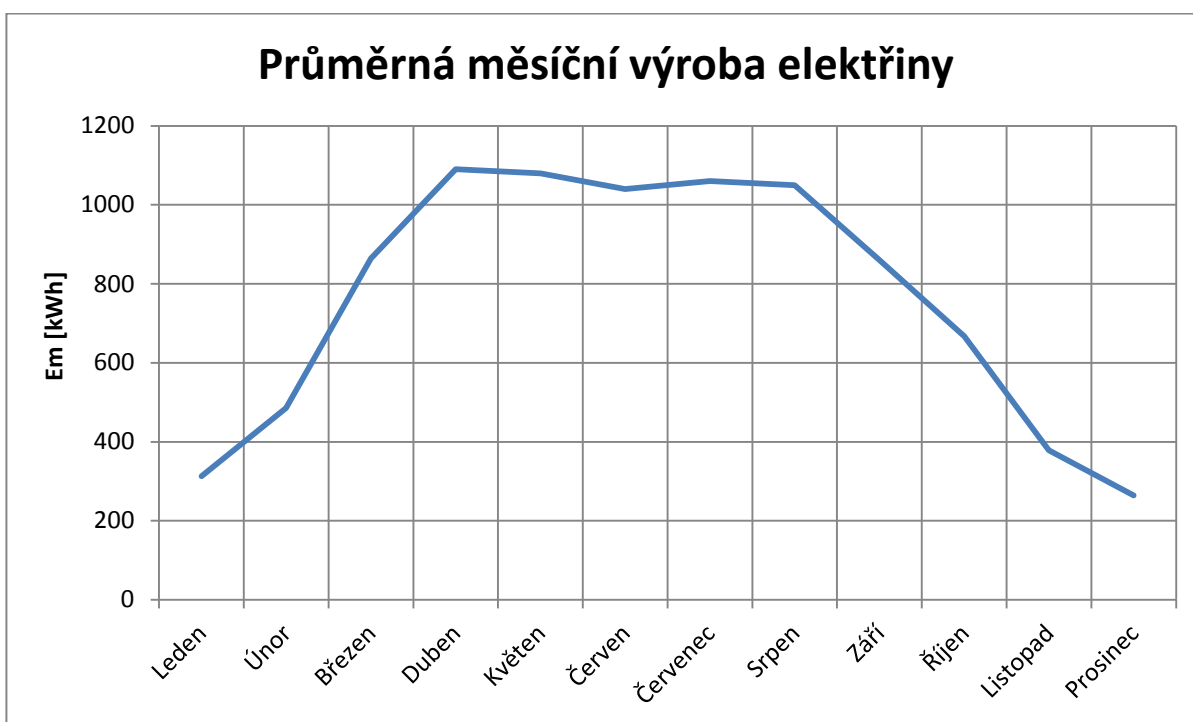
E_m - Průměrná měsíční výroba elektřiny

H_d - Průměrná denní suma globálního záření

H_m - Průměrný součet globálního záření [38]



Obr. 38 Průměrná denní výroba elektřiny pro jednotlivé měsíce



Obr. 39 Průměrná měsíční výroba elektřiny pro jednotlivé měsíce

Analýza FVE v Mikulášovicích

Tab. 3.4 Průměrné hodnoty výroby elektřiny a průměrné hodnoty globálního záření [38]

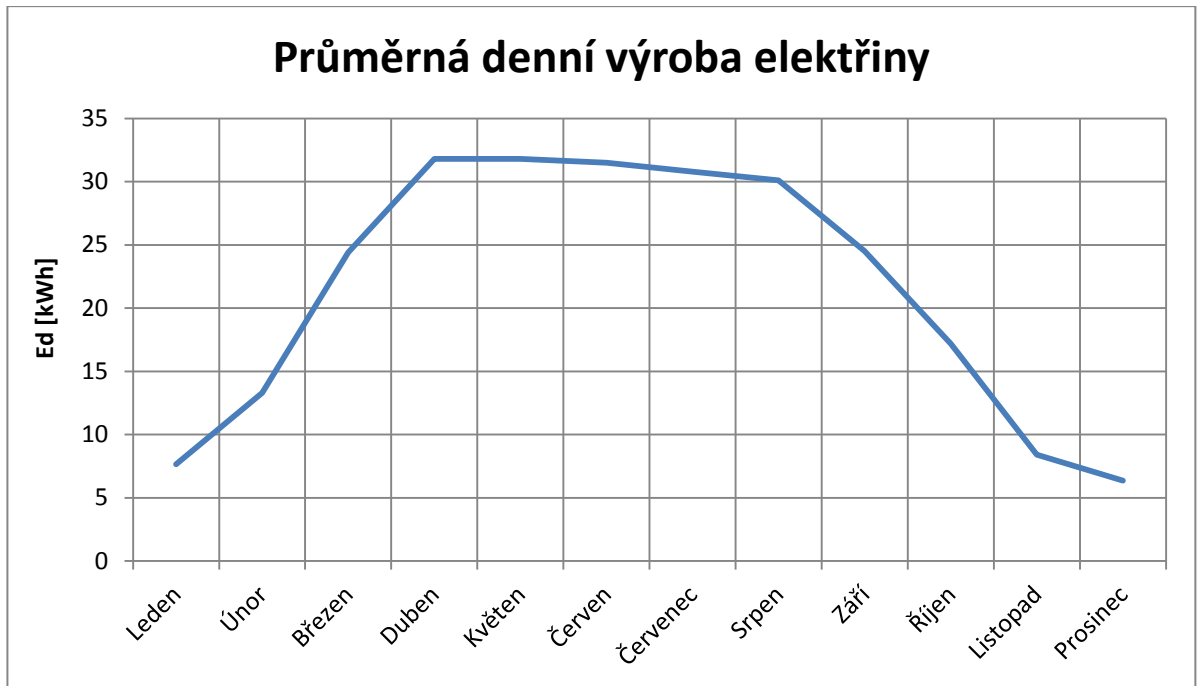
Pevný systém: sklon 45°, orientace Jih				
Měsíc	E_d [kWh]	E_m [kWh]	H_d [kWh/m²]	H_m [kWh/m²]
Leden	7,66	238	1,04	32,2
Únor	13,3	373	1,84	51,7
Březen	24,4	758	3,5	109
Duben	31,8	955	4,78	143
Květen	31,8	986	4,89	152
Červen	31,5	946	4,91	147
Červenec	30,8	955	4,84	150
Srpen	30,1	932	4,7	146
Září	24,5	735	3,71	111
Říjen	17,2	532	2,49	77,3
Listopad	8,4	252	1,18	35,3
Prosinec	6,35	197	0,86	26,7
Roční průměr	21,5	655	3,24	98,5
Celkem za rok	7860		1180	

E_d - Průměrná denní výroba elektřiny

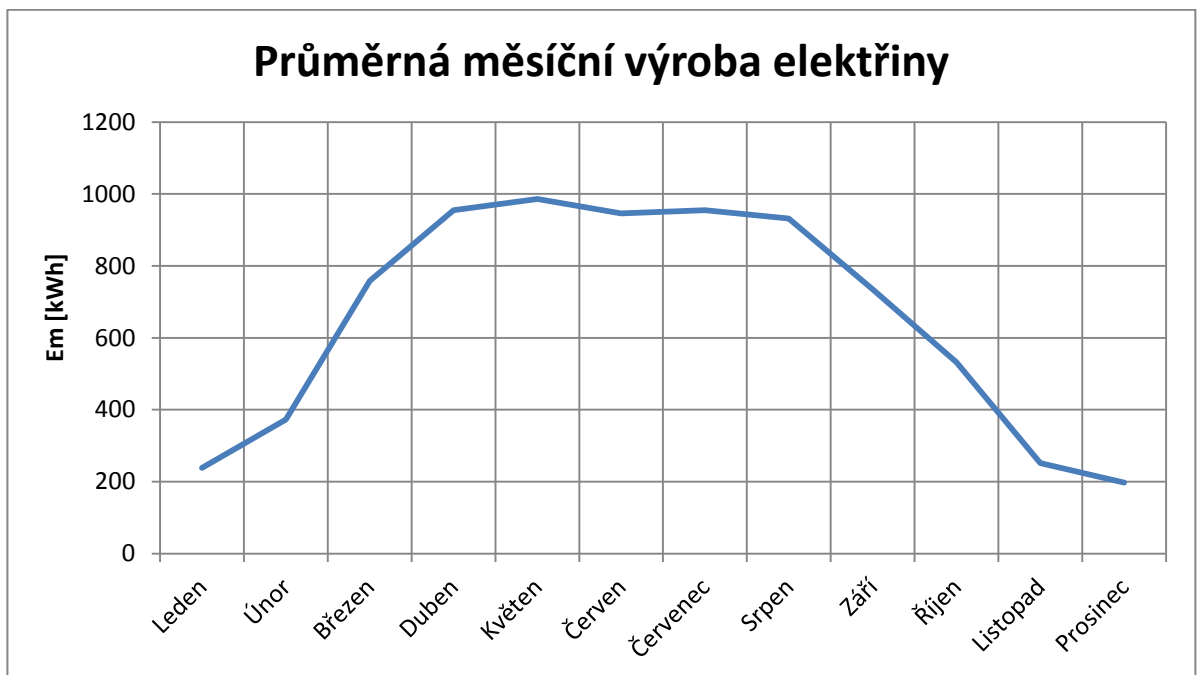
E_m - Průměrná měsíční výroba elektřiny

H_d - Průměrná denní suma globálního záření

H_m - Průměrný součet globálního záření [38]



Obr. 40 Průměrná denní výroba elektřiny pro jednotlivé měsíce



Obr. 41 Průměrná měsíční výroba elektřiny pro jednotlivé měsíce

Analýza FVE Stříbro

Tab. 3.5 Průměrné hodnoty výroby elektřiny a průměrné hodnoty globálního záření [38]

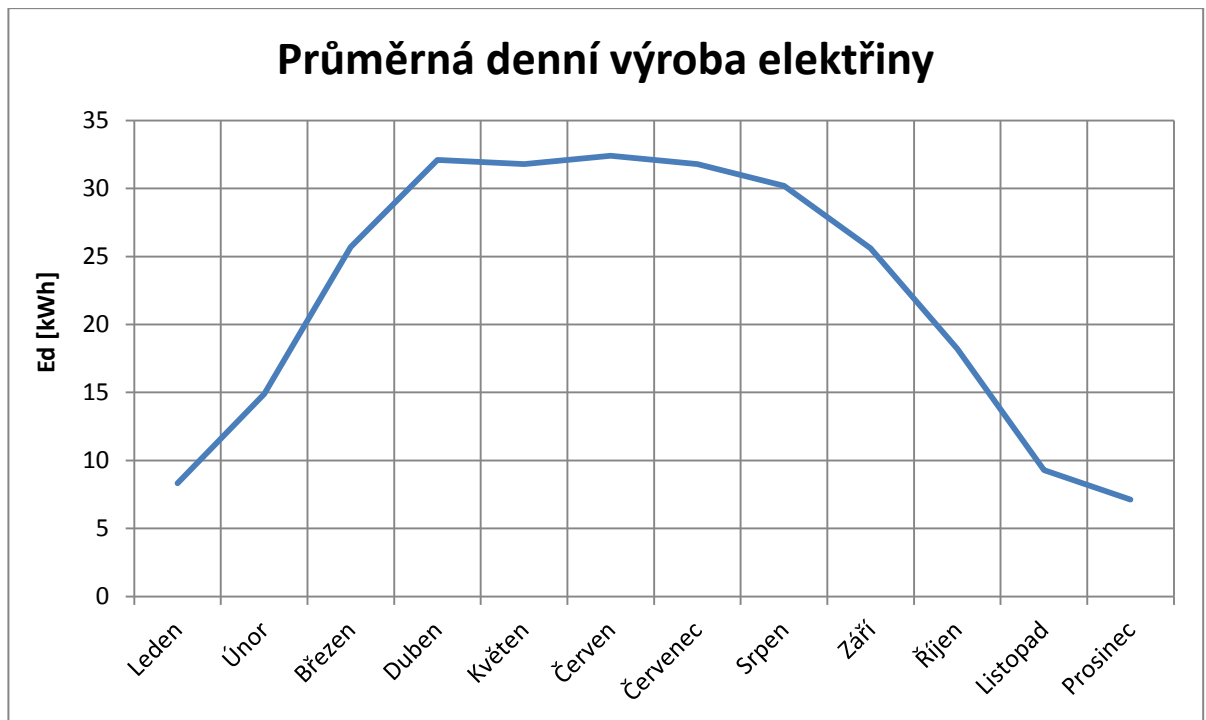
Pevný systém: sklon 45°, orientace Jih				
Měsíc	E_d [kWh]	E_m [kWh]	H_d [kWh/m²]	H_m [kWh/m²]
Leden	8,32	258	1,13	35,1
Únor	14,9	417	2,07	58
Březen	25,7	795	3,71	115
Duben	32,1	963	4,86	146
Květen	31,8	986	4,92	153
Červen	32,4	973	5,09	153
Červenec	31,8	986	5,03	156
Srpen	30,2	937	4,75	147
Září	25,6	769	3,91	117
Říjen	18,2	564	2,67	82,7
Listopad	9,28	278	1,3	39,1
Prosinec	7,12	221	0,97	30,2
Roční průměr	22,3	679	3,37	103
Celkem za rok	8150		1230	

E_d - Průměrná denní výroba elektřiny

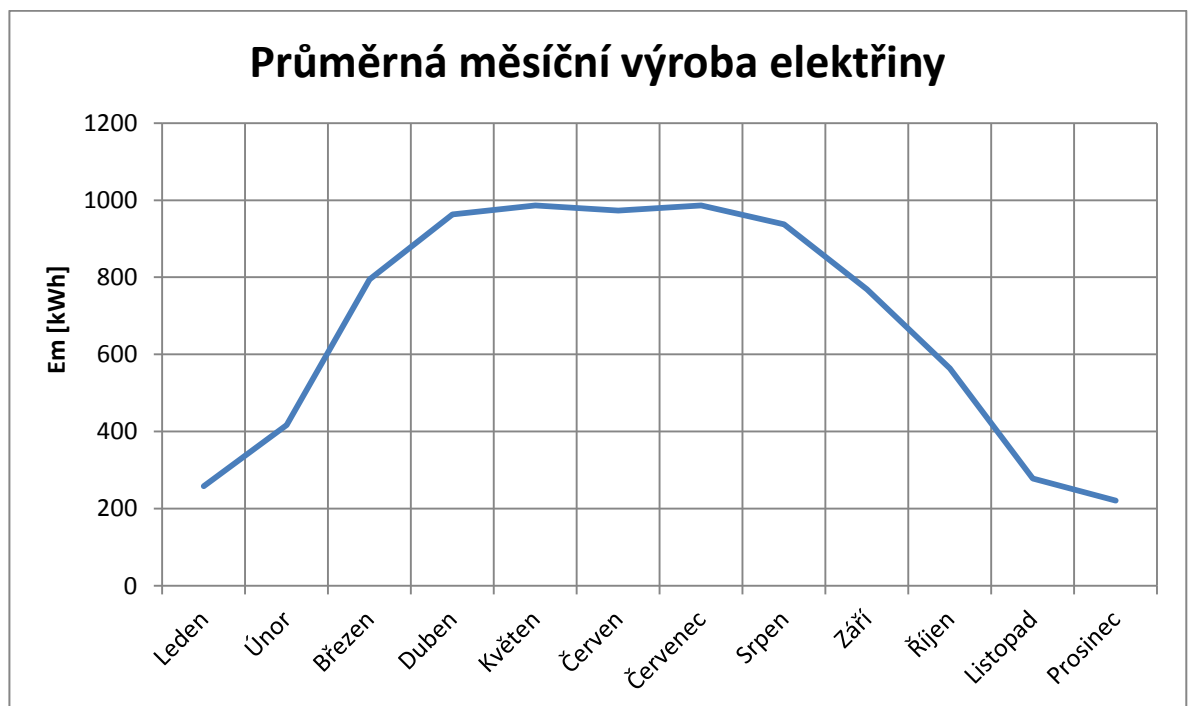
E_m - Průměrná měsíční výroba elektřiny

H_d - Průměrná denní suma globálního záření

H_m - Průměrný součet globálního záření [38]



Obr. 42 Průměrná denní výroba elektřiny pro jednotlivé měsíce



Obr. 43 Průměrná měsíční výroba elektřiny pro jednotlivé měsíce

Analýza FVE Vlčice

Tab. 3.6 Průměrné hodnoty výroby elektřiny a průměrné hodnoty globálního záření [38]

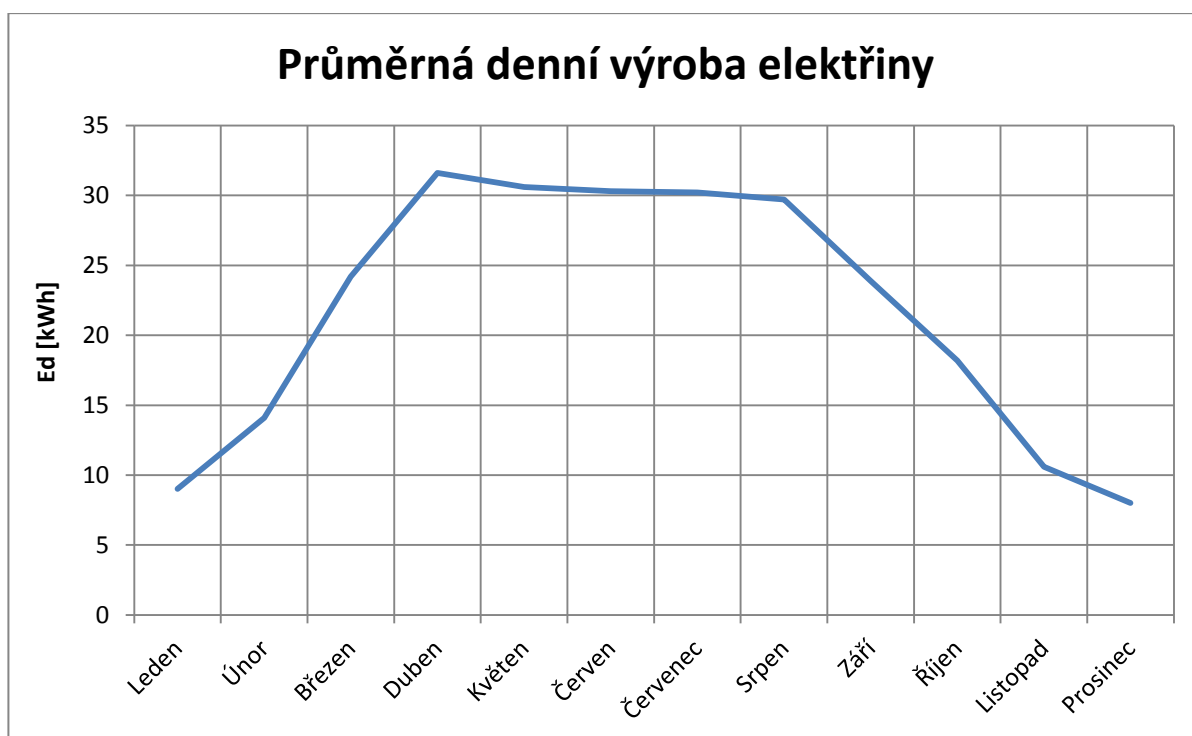
Pevný systém: sklon 45°, orientace Jih				
Měsíc	E_d [kWh]	E_m [kWh]	H_d [kWh/m²]	H_m [kWh/m²]
Leden	9,01	279	1,22	37,8
Únor	14,1	396	1,97	55,1
Březen	24,2	752	3,46	107
Duben	31,6	948	4,75	143
Květen	30,6	948	4,71	146
Červen	30,3	908	4,72	141
Červenec	30,2	938	4,77	148
Srpen	29,7	920	4,66	144
Září	23,9	718	3,61	108
Říjen	18,2	564	2,66	82,5
Listopad	10,6	319	1,5	44,9
Prosinec	8	248	1,11	34,4
Roční průměr	21,7	662	3,27	99,4
Celkem za rok	7940		1190	

E_d - Průměrná denní výroba elektřiny

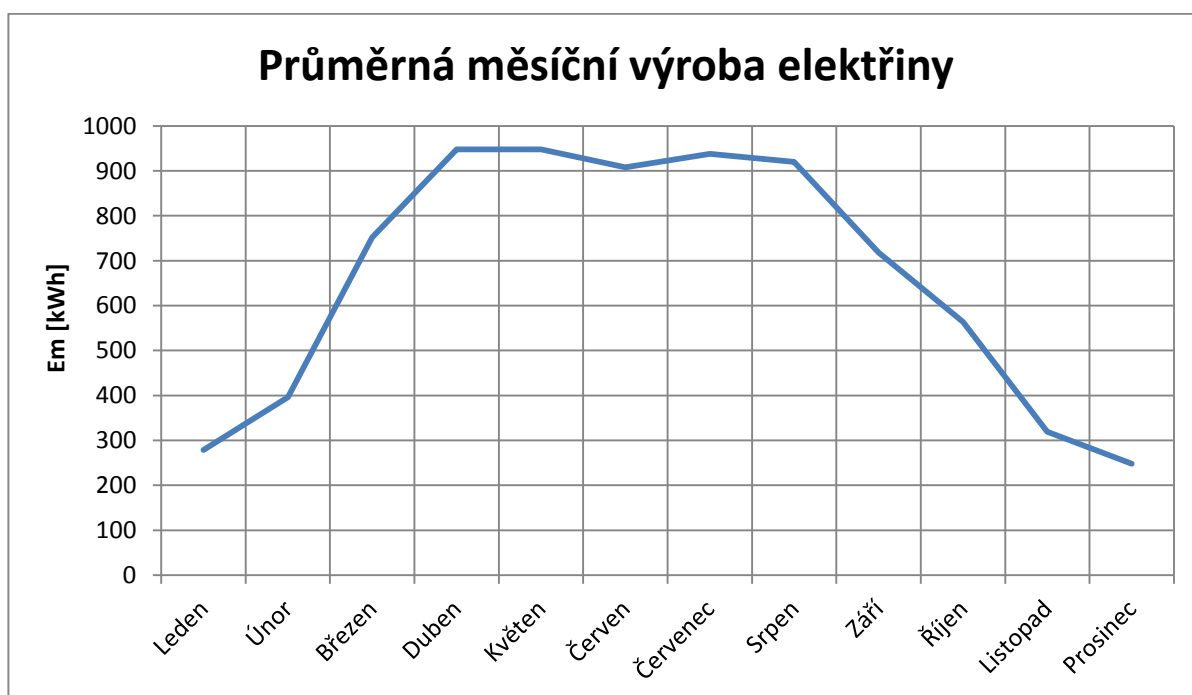
E_m - Průměrná měsíční výroba elektřiny

H_d - Průměrná denní suma globálního záření

H_m - Průměrný součet globálního záření [38]



Obr. 44 Průměrná denní výroba elektřiny pro jednotlivé měsíce



Obr. 45 Průměrná měsíční výroba elektřiny pro jednotlivé měsíce