

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství
Studijní obor: Agroekologie
Katedra: Katedra agroekosystémů
Vedoucí katedry: prof. Ing. Jan Moudrý, CSc.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Porovnání účinnosti a ekologického přínosu
fotovoltaických elektráren v různých oblastech
České republiky**

Vedoucí diplomové práce:
Autor diplomové práce:

doc. Mgr. Martin Šlachta, Ph.D.
Bc. Petr Sluka

České Budějovice, 2015

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

Jméno a příjmení: **Bc. Petr SLUKA**
Osobní číslo: **Z12902**
Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**
Studijní obor: **Agroekologie**
Název tématu: **Porovnání účinnosti a ekologického přínosu fotovoltaických elektráren v různých oblastech České republiky**
Zadávající, katedra: **Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií**

Zásady pro vypracování:

Využití sluneční energie pomocí fotovoltaických elektráren představuje významný přínos pro trvale udržitelné získávání energie z obnovitelných zdrojů. V České republice došlo v posledních letech k výraznému nárůstu počtu těchto zařízení, jejichž účinnost a ekologický přínos (snížení emisí CO_2) se nicméně liší v závislosti na přírodních podmínkách stanoviště (umístění v terénu, počet slunečních dní v roce).

Cílem této práce bude: (1) vypracovat literární rešerš o možnostech využití fotovoltaických elektráren pro získávání sluneční energie (technologická omezení a výhody, využitelnost v praxi, závislost účinnosti na přírodních podmínkách lokality, legislativní rámec), o jejich ekologickém přínosu (snížení emisí CO_2) nebo negativech (z hlediska využití ekologických služeb krajiny, finanční dostupnosti a ekonomiky provozu, apod.). Cílem bude dále (2) shrnout data o účinnosti jednotlivých zařízení v různých oblastech České republiky (Morava, jižní a západní Čechy), (3) vypočítat ekologický přínos z hlediska snížení emisí CO_2 , (4) prezentovat výsledky v přehledných tabulkách a grafech a statisticky je zhodnotit, (5) diskutovat výsledky s použitím zahraniční literatury a navrhnout nejvhodnější postupy pro tuto technologii v podmínkách České republiky a (6) prezentovat výsledky práce v odborném časopise.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **40-60 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

Cihelka J. Solární tepelná technika. Nakladatelství T. Malina Praha 1994.

Ladener H., Spate F. Solární zařízení. Grada Publishing 2003.

Seják J. a kol. 2010: Hodnocení funkcí a služeb ekosystémů České republiky
FŽP UJEP, 2010, 197 s.,
<http://fzp.ujep.cz/projekty/HodnoceniFunkciASluzebEkosystemuCR.pdf>

Šarapatka B., Niggli U. a kol. 2008: Zemědělství a krajina: cesty k vzájemnému souladu. Univerzita Palackého, Olomouc, 271 s.

Šarapatka B. a kol. 2010: Agroekologie: východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření. Bioinstitut, Olomouc, 440 s.

Tynobranský, K., Kindl, V., Hrdlička, M., Kondelková, S. Hospodárné využití a výroba energie vedoucí ke snížení zátěže životního prostředí. ČEA 2005.

Vedoucí diplomové práce: **Mgr. Martin Šlachta, Ph.D.**
Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií

Datum uzávení diplomové práce: **15. února 2013**
Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2014**


prof. Ing. Miroslav Šedý, CSc.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
Studijní oddělení
Studentůská 13
379 05 České Budějovice


prof. Ing. Jan et. Moudrý, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 11. března 2013

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne

.....

Bc. Petr Sluka

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval panu doc. Mgr. Martinu Šlachtovi, Ph.D. za ochotu při konzultacích a za jeho odbornou pomoc, cenné rady a připomínky při řešení této diplomové práce.

Abstrakt

Tato práce se zabývá porovnáním účinnosti a ekologického přínosu fotovoltaických elektráren v různých oblastech České republiky v závislosti na umístění lokality. Poskytuje přehled o problematice reálné účinnosti fotovoltaických elektráren a zároveň pohled na skutečnou ekologickou hodnotu šetření emisí CO₂ náhradou konvenčních zdrojů.

Zhodnocení proběhlo na základě dat získaných přímo z energetických auditů fotovoltaických elektráren, které jsou umístěny ve Vidově (jižní Čechy), v Hodonicích (jižní Morava) a v Lahošti (Ústecký kraj). Reálná odměřená data účinností a úspory emisí CO₂ náhradou konvenčních zdrojů jsou porovnávána s předpokládanými daty z předpovědního modelu PVSYST a dat z databází PVGIS a Meteonorm.

Bylo zjištěno, že účinnost fotovoltaických elektráren je úzce spjata s lokalitou, ve které se nachází. Jedním z hlavních faktorů je zde sluneční osvit. Párové porovnávání ukázalo, že se liší účinnost FVE Lahošť od účinnosti FVE Hodonice ($P < 0,01$) a účinnost FVE Lahošť od účinnosti FVE Vidov ($P < 0,05$). Rozdíl mezi skutečností a návrhem mezi jednotlivými fotovoltaikami byl průkazný ($p < 0,01$). Významný vyšel také faktor měsíce ($p < 0,001$).

Klíčová slova: solární energie, fotovoltaika, emise CO₂, sluneční osvit, ekologický přínos FVE

Abstract

The study is focusing on comparison of efficiency and ecological impacts of photovoltaic power stations depending on their locations in the Czech Republic. The report gives us an overview of photovoltaic power stations efficiency and also their environmental value by minimising CO₂ emissions due to replacing conventional energy technologies.

The research is based on data taken from energy audits of photovoltaic power stations in Vidov (South Bohemia), in Hodonice (South Moravia) and Lahošť (North Bohemia). The measured data of efficiency and CO₂ savings are compared to forecast data from numerical weather prediction models PVSYST, PVGIS and Meteonorm.

The project revealed, that photovoltaic power stations efficiency directly depends on their geographic location. Decisive factor was sunlight. Paired comparison showed, that there is a difference between photovoltaic power stations in Lahošť, Hodonice ($P < 0,01$) and Vidov ($P < 0,05$). The difference between real and expected datas from each photovoltaic systems was conclusive ($p < 0,01$). Significant was also factor of month ($p < 0,001$).

Keywords: solar energy, photovoltaic system, CO₂ emissions, sunlight, enviromental impact of photovoltaic systems.

1. Úvod.....	9
2. Teoretická část.....	10
2.1 Obecný popis fotovoltaiky.....	10
Využití energie slunečního záření.....	10
Historie fotovoltaiky.....	10
Fotovoltaický jev.....	11
Důležité veličiny.....	13
Fotovoltaické systémy - rozdělení.....	15
Schema FVE - popis jednotlivých součástí.....	16
2.2 Možnost využití FVE pro získávání sluneční energie.....	20
Technologická omezení a klimatické faktory.....	20
2.3 Ekologický přínos FVE a legislativa.....	23
Legislativní rámec.....	23
Ekologický přínos FVE.....	24
2.4 Posouzení z hlediska ochrany životního prostředí.....	31
2.5 Klimatická data.....	34
3. Cíle práce.....	37
4. Metody.....	38
4.1 Charakteristika jednotlivých lokalit FVE.....	38
4.2 Výpočet porovnávání účinností a snížení emisí CO ₂	45
4.3 Statistické vyhodnocení dat.....	45
5. Výsledky.....	46
5.1 Porovnání skutečných dodávek do distribuční sítě s předpokládanými na jednotlivých FVE.....	46
5.2 Statistické výsledky.....	49
5.3 Výpočet ekologického přínosu z hlediska ušetřených emisí CO ₂	53
6. Diskuze.....	54
7. Závěr.....	57
8. Seznam použité literatury.....	58
9. Přílohy.....	61

1. Úvod

Téma této práce jsem si vybral z několika důvodů. Zabýval jsem se podobným tématem už ve svojí práci bakalářské, kde jsem řešil dostupnost a sortiment solárních tepelných kolektorů a poprvé jsem se seznámil s problematikou solární energie. Později jsem začal pracovat ve firmě Lumen, a.s., která se mimo jiné zabývá i správou fotovoltaických elektráren a má přístup k mnoha velmi zajímavým datům. Proto jsem se rozhodl, že se v této práci budu snažit poskytnout co nejvíce informací k problematice reálné účinnosti fotovoltaických elektráren a zároveň tak poskytnu pohled na skutečnou ekologickou hodnotu šetření emisí CO₂ náhradou konvenčních zdrojů.

Z mých zkušeností je studií o reálných hodnotách větších aplikací fotovoltaiky velmi málo. A to buď z důvodu zamezení zveřejnění informací ze strany investorů, či nedostatku dat, jelikož podobné velké aplikace v České republice většinou nefungují déle než 5 let (největšího boomu výstavby dosahovaly v letech 2009 a 2010). Proto jsem velmi rád, že jsem dostal svolení od několika soukromých majitelů fotovoltaických elektráren a zároveň i firmy Lumen, a.s. a mohu touto prací přispět k větší informovanosti jak odborné, tak i široké veřejnosti.

2. Teoretická část

2.1 Obecný popis fotovoltaiky

Využití energie slunečního záření

Sluneční energie dopadající na Zemi ve formě záření (fotonů) se z 66 % absorbuje do povrchu Země. Zbytek energie se odráží nazpět do kosmu. Celkový příjem sluneční energie Zemí je za rok 751×10^{15} kWh. Nejsnadněji můžeme absorbovanou energii zachytit a přeměnit v energii tepelnou pomocí solárních kolektorů, pak hovoříme o tepelných solárních soustavách pro přípravu teplé užitkové vody. Další možností absorpce sluneční energie je transformace na energii elektrickou – fotovoltaika (Cihelka, 1994).

Historie fotovoltaiky

Fotovoltaický jev byl objeven již roku 1839 Francouzem Antoine César Becquerelem (1788-1878). Na práci svého otce pak navázali synové Alexandre Edmond a Henri, přičemž Henri Becquerel objevil roku 1896 při zkoumání fluorescence solí uranu jev radioaktivity. Za otcem a syny Becquerelovými však stojí mnohem více objevů fyzikálních jevů a zákonů z oblasti elektrochemie, diamagnetismu a paramagnetismu. Henri Becquerel získal za objev radioaktivity v roce 1903 Nobelovu cenu za fyziku.

První funkční solární článek sestrojil v roce 1884 americký vynálezce Charles Fritts, tedy celých 45 let po Becquerelově objevu fotovoltaického jevu. Frittsův článek byl vyroben ze seleniového polovodiče, který byl potažen velmi tenkou vrstvou zlata a měl účinnost přibližně 1%. Tyto seleniové články neměly vzhledem k nízké účinnosti a vysoké ceně žádnou šanci na uplatnění při výrobě elektřiny, nicméně se začaly využívat jako světelný senzor pro určování času expozice snímku ve fotoaparátech.

Vynálezcem solárního článku takového, jak ho známe dnes, je Russell Ohl (1898-1987). Tento americký inženýr pracoval ve 30. letech 20. století na výzkumu materiálů pro telekomunikační firmu AT&T Bell Labs. V roce 1939 objevil tzv. "P-N přechod", což je oblast na rozhraní polovodiče typu P a polovodiče typu N. Přechod P-N se chová jako hradlo, tzn. propouští elektrický proud pouze jedním směrem. P-N přechodů se využívá v polovodičových součástkách, jako jsou diody nebo tranzistory. Právě při vývoji materiálů pro výrobu tranzistoru vznikl jako vedlejší produkt solární článek, v té době nazvaný jako "světlocitlivé zařízení" s konverzní účinností okolo 5%.

Křemíkové solární články byly pak v 50. letech 20. století vylepšeny v Bell Laboratories, kde se náhodou přišlo na skutečnost, že křemíkový polovodič s některými příměsemi výrazně reaguje na světlo. Prvním využitím solárních modulů pro účely dobývání vesmíru bylo na družici Vanguard 1, která byla vypuštěna v březnu 1958. Pro výrobu elektřiny v pozemských podmínkách začaly být solární články používány přibližně od druhé poloviny 80. let 20. století. Problémem této tzv. první generace solárních křemíkových článků je však nízká účinnost (teoreticky max. 31%) a vysoké výrobní náklady. Proto se dnešní úsilí vědců soustředilo na další (2. a 3.) generace článků, které by měly do budoucna oba tyto problémy vyřešit (<http://www.solareni.cz/slunecni-elektrany/technicke-informace/historie-fotovoltaiky> „staženo dne 11. 11. 2014“).

Fotovoltaický jev

Z řady důvodů je pro výrobu fotovoltaických (neboli solárních či slunečních) článků velmi vhodným materiálem křemík (Si). Např. se jedná se o druhý nejrozšířenější prvek na Zemi a jeho zpracování pro potřeby mikroelektroniky dosáhlo velmi vysoké úrovně. Různými metodami lze získat křemíkové krystaly čistoty až 99,99998 % .

Zjednodušeně můžeme vysvětlit přeměnu světelné energie na elektrickou vysvětlit takto:

Fotony jsou částice záření, jejichž energie závisí na vlnové délce. Čím kratší je vlnová délka záření, tím větší energii mají jeho fotony. Aby se z krystalové mřížky křemíku uvolňovaly elektrony musí mít fotony záření energii alespoň 1,12 eV. Této energii odpovídá tzv. mezní vlnová délka – přibližně 1105 nm (infračervené záření). Fotony s kratší vlnovou délkou (např. fotony viditelného světla) mají dostatek energie a elektrony mohou z mřížky uvolnit. Záření s větší vlnovou délkou (např. mikrovlny) fotovoltaický jev nevyvolají.

Solární článek je v zásadě velkoplošná polovodičová dioda, na jejíž přechod PN může dopadat světlo. Základem je plátek krystalického křemíku typu P (s příměsí bóru), spodní strana je potištěna vodivou stříbrnou mřížkou. Na horní ploše se difuzí fosforu vytvoří asi 500 nm silná vrstvička polovodiče typu N. Na této vrstvě jsou sítotiskem vytvořeny úzké vodivé kontakty. Ve vrstvě typu N je přebytek záporných elektronů a ve vrstvě P je jejich nedostatek – ten se projevuje jako „kladné díry“. Mezi oběma vrstvami tak vzniká přechod PN – ten zabraňuje volnému přechodu elektronů z místa jejich nadbytku do místa nedostatku. Na přechodu PN se vytvoří elektrická bariéra. Základní vlastností přechodu PN pak je, že volné elektrony mohou snadno přecházet z vrstvy P do vrstvy N, zatímco v opačném směru nikoli.

Dopadá – li světlo na povrch fotočlánku, předávají fotony svou energii atomům v krystalové mřížce křemíku a uvolňují z ní elektrony. Kdyby mezi oběma vrstvami nebyla bariéra přechodu PN, přecházely by v krystalu elektrony volně z místa přebytku do místa nedostatku a fotočlánek by se tak nemohl stát zdrojem napětí. Přechod PN způsobí, že elektrony uvolněné v horní vrstvě polovodiče N nemohou přecházet do vrstvy P a nahromadí se proto ve vrstvě N. Elektrony uvolněné světlem ve vrstvě P naopak mohou přes přechod PN procházet do vrstvy N a počet elektronů se v ní stále zvyšuje. Nahromaděním volných elektronů vznikne mezi horní a spodní vrstvou elektrické napětí o velikosti kolem 0,6 V.

Pro ilustraci uvedu příklad: připojíme – li mezi horní a spodní kontakt fotočlánek spotřebič, vytvoříme tak uzavřený elektrický obvod. Elektrony nahromaděné v horní vrstvě procházejí přes spotřebič ke spodnímu kontaktu a obvodem začne procházet elektrický proud. Energie proudících elektronů se ve spotřebiči mění na jinou formu, např. mechanickou, prvotním zdrojem energie v obvodu je však Slunce. Proud se v obvodu tak udržuje do té doby, dokud na povrch fotočlánek dopadá světlo (<http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f8.htm> „staženo dne 11. 11. 2014“).

Důležité veličiny

Intenzita slunečního záření

Je mírou energetického účinku slunečního záření a také výchozí veličinou pro další výpočty . Vztahuje se na povrch Země, tj. na plochu pod vrstvou atmosféry. Část záření při průchodu atmosférou se pohltí a rozptýlí. Tzn., že na povrchu země je intenzita přímého slunečního záření na plochu kolmou ke směru paprsků menší, než je intenzita na hranici atmosféry (sluneční konstanta). Zmenšení závisí jak na součiniteli znečištění atmosféry, tak na tloušťce vrstvy vzduchu, kterou paprsky pronikají.

Spektrum

Střední sluneční konstanta je podle posledních měření ve vesmíru 1353 W/ m^2 .

maximum 3. ledna 1398 W/ m^2

minimum 3. července 1308 W/ m^2

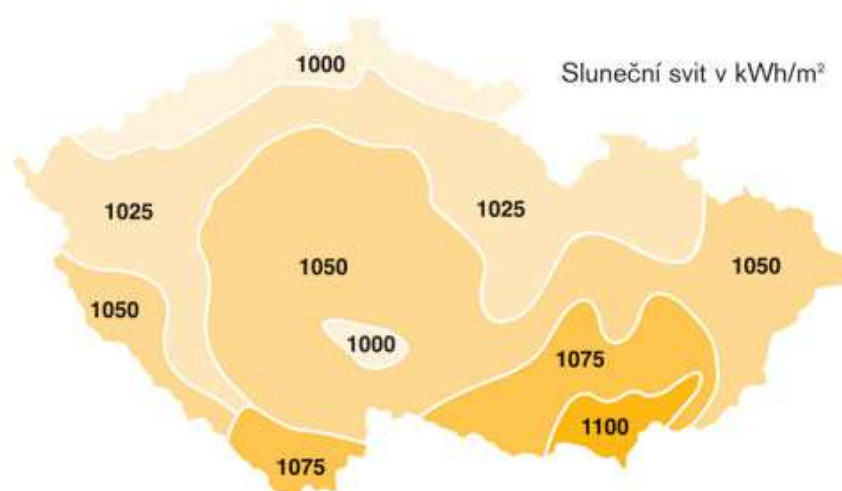
Toto střední množství slunečního záření představující množství tepelné energie dopadající na 1 m^2 zemského povrchu formou slunečního záření je v následujícím spektrálním složení:

- ultrafialové světlo $105,8 \text{ W/ m}^2$,
- viditelné světlo $640,4 \text{ W/ m}^2$,
- infračervené záření $606,8 \text{ W/ m}^2$.

Procentuelně vyjádřeno:

- viditelné světlo 47 %,
- infračervené záření 45 %,
- ultrafialové světlo 8 %.

V našich klimatických podmínkách je celková doba slunečního svitu v rozmezí 1400-2200 hodin za rok. Nejmenší počet hodin má severozápad území. Směrem na jihovýchod počet hodin narůstá. Jednotlivé lokality se od sebe liší v průměru až o cca 10 % (někdy i více). Počasí v České republice je lepší než jeho pověst. Každý rok dopadá 1100 hodin slunečního záření (www.solarnienergie.cz/img/slunecni-kolektory, „staženo 2009“).



Obrázek č. 1 – mapa slunečního svitu v ČR (www.solarnienergie.cz/img/slunecni-kolektory, „staženo 2009“)

Ročně dopadne na území ČR podle Českého meteorologického ústavu při průměrném slunečním svitu přibližně 80 000 TWh energie v podobě slunečního světla. Roční spotřeba energie v ČR činí přibližně 320 TWh z množství energie dopadající na naše území (Cihelka, 1994).

Fotovoltaické systémy - rozdělení

Podle způsobu použití lze fotovoltaické systémy rozdělit do tří skupin:

Off-grid systémy (ostrovní systémy)

Tyto systémy se používají tam, kde není k dispozici rozvodná síť a je potřeba střídavého napětí 230 V. Obvykle se instalují tam, kde není účelné nebo možné vybudovat elektrickou přípojku. Důvod je zejména ekonomický – tzn. náklady vybudování přípojky jsou srovnatelné s náklady na fotovoltaický systém. Off-grid systémy se dále dělí na systémy s přímým napájením, hybridní systémy a systémy s akumulací elektrické energie. U systémů s přímým napájením se jedná o prosté propojení solárního panelu a spotřebiče. Hybridní ostrovní systémy se používají tam, kde je nutný celoroční provoz se značným vytížením. Z fotovoltaiky se v zimě získává podstatně méně elektrické energie než v letních měsících. Proto, abychom zaručili plynulý provoz i v zimě, je fotovoltaika doplňována alternativním zdrojem energie (kogenerační jednotka, větrná elektrárna, malá vodní elektrárna, apod.). To s sebou nutně nese značné zvýšení nákladů.

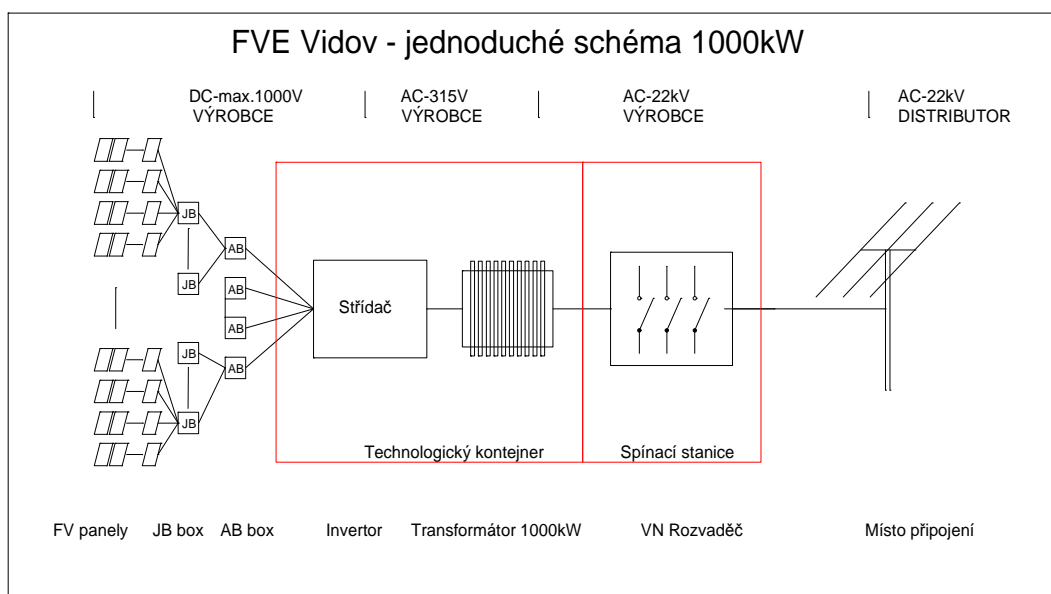
On-grid systémy (síťové systémy)

Tyto systémy jsou nejvíce uplatňovány v oblastech s hustou sítí elektrických rozvodů. V případě dostatečného slunečního svitu jsou spotřebiče v budově napájeny vlastní „solární“ energií a případný přebytek je dodáván do veřejné rozvodné sítě. Naopak při nedostatku je elektrická energie z rozvodné sítě odebírána. Sem můžeme zařadit FV elektrárny.

Drobné aplikace

Můžeme sem zařadit všechny solární články menších rozměrů, u kterých nepředpokládáme vysoké výkony. Patří sem například solární články v kapesních kalkulačkách, solární nabíječky baterií, aplikace na střeších automobilů k dobíjení akumulátorů, informačních tabulí, semaforů, ohradníků pro dobytek (Řehák a kol., 1998).

Schema FVE - popis jednotlivých součástí



* Obrázek č. 2 - popis schématu – na schématu můžeme vidět základní součásti FVE. Pro účely této práce postačí blíže specifikovat tyto součásti FVE: Nosnou konstrukci, FTV panely, DC strana (stejnoseměrná část od panelů ke střídači), střídač, transformátor, síť (Jakubes a Šváb, 2010).

Nosná konstrukce

Nezanedbatelnou částí fotovoltaické elektrárny je bezesporu nosná konstrukce pro panely. Konstrukční systémy se dají rozdělit podle typu instalace na:

Konstrukce pro sedlové střechy

Vhodná pro malé instalace na rodinné domy se sedlovou střechou se sklonem přibližně 35° a orientací k jihu nebo jihozápadu. Nosným prvkem zde jsou hliníkové profily přichycené speciálními háky ke konstrukci střechy. K profilům jsou připevněny fotovoltaické panely. Tato konstrukce je snad vůbec nejpopulárnější, zejména pro její jednoduchost, snadnou montáž a nízkou cenu.

Konstrukce pro ploché střechy

Tyto konstrukce jsou většinou tvořeny ocelovými pozinkovanými profily trojúhelníkového tvaru, které jsou vzájemně „zavětrované“ a podélně spojené hliníkovým profilem pro uchycení fotovoltaických panelů. Konstrukce se ke střeše připevňuje buď napevno chemickými kotvami, nebo se zatíží betonovými bloky či dlaždicemi. Toto řešení je pracnější a nákladnější než konstrukce na sedlové střeše. Nejmodernějším řešením pro ploché střechy je využití speciálních odlehčených konstrukcí, které se podstatně méně přitěžují. Je využíváno podtlakového efektu pro pevnou pozici konstrukce a systém je proto vhodný pro střechy s velmi malým statickým zatížením.

Konstrukce pro volná prostranství

Stejné řešení jako u plochých střech se používá u větších elektráren postavených na volných prostranstvích pouze s tím rozdílem, že konstrukce se spojuje pevně se zemí a to buď závrtnými šrouby, pozinkovanými profily zatlačenými do země, nebo betonovými základy. Tyto konstrukce bývají komplikované a nákladné, protože musejí odolávat mnohem tvrdším povětrnostním podmínkám a vlivům, pohybu podzemních vrstev, tlaku podzemní vody a zejména pak silnému větru (<http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/> „staženo dne 11. 11. 2014“).

Fotovoltaické články

Fotovoltaické články první generace jsou vyrobené z destiček monokrystalického křemíku, v nichž je vytvořen velkoplošný P – N přechod. Tento typ se používá především pro velké instalace. K přednostem patří dobrá účinnost a dlouhodobá stabilita výkonu. Mezi nevýhody tohoto typu patří velká spotřeba čistého křemíku a náročná výroba.

Fotovoltaické články druhé generace jsou vyrobené z polykrystalického, mikrokrystalického nebo amorfního křemíku. Při vývoji těchto panelů bylo snahou snížit obsah křemíku, proto se vyrábí tenkovrstvé články. Používají se i jiné materiály než křemík. Výhodou článků je jejich ohebnost a pružnost. Používají se

např. jako izolační folie pro izolace střech. Nevýhodou je nižší účinnost a menší stabilita výkonu.

Fotovoltaické články třetí generace - pro oddělení nábojů jiné metody a často také jiné materiály než polovodiče. Jsou to např. fotoelektrochemické články, polymerní články, nanostruktury ve formě uhlíkových nanotrubiček či nanotyčinek nebo kvantových teček nanosených na vhodnou podložku. Výhodou článků je možnost vyladění optických a elektrických vlastností.

Nevýhodou je nízká účinnost, menší stabilita výkonu a životnost. Proto se v praxi téměř nepoužívají s výjimkou organických polymerů.

Fotovoltaické články čtvrté generace jsou složeny z jednotlivých vrstev, díky nimž mohou využít širší spektrum slunečního záření. Každá vrstva dokáže zachytit světlo o určitém rozsahu vlnových délek – tím je dosaženo co nejvyšší efektivity (Libra a Poulek, 2009).

DC strana (stejnoseměrná strana od panelů ke střídači)

Z FTV panelů jsou NN kabely svedeny do Junction boxů (viz. Obr. č. 2) paralelními větvemi (tzv. stringy). Jednotlivé stringy jsou propojeny solárními kabely (určenými pro tento druh montáže) a poté svedeny do JB boxů. Ty jsou osazeny na nohách konstrukcí. JB boxy jsou po skupinách svedeny kabely do tzv. Array boxů. Ty jsou osazeny na konstrukci (stolech panelů). Výkon z Array boxů je vyveden kabely do střídače na stranu DC. Při dimenzování kabelů z AB do investorů je zohledněn dovolený úbytek napětí max. 2 %, norma ČSN 33 2000-5-523ed.2 a katalogové listy výrobce kabelů (Jakubes a Šváb, 2010).

Invertor neboli střídač

Jelikož výstupem fotovoltaického panelu je stejnosměrný proud, je nutné jej převést na proud střídavý, o parametrech elektrické sítě (230/400V 50Hz). Tuto přeměnu zajišťuje střídač. U malých elektráren kromě funkce přeměny proudu a napětí také zajišťuje funkci ochrannou, kdy monitoruje napětí a frekvenci sítě a v případě výpadku nebo nedodržení kvalitativních požadavků na vyrobenou elektřinu elektrárnu od sítě odpojí. Každý kvalitní střídač dnes obsahuje jeden nebo více MPPT (maximal power point trackers), což je funkce aktivního hledání

optimálního pracovního bodu změnou vstupního odporu střídače a tím získání nejlepšího výkonu fotovoltaického panelu při daném ozáření. Čím lepší a propracovanější je algoritmus MPPT, tím vyšší bude výnos z fotovoltaického systému. Maximální účinnost dnešních střídačů se pohybuje kolem 96% (EU účinnost, což je účinnost při částečném zatížení, kolem 93%). Lepší účinnosti dosahují beztransformátorové střídače, které jsou vhodné zejména pro nízkonapěťové systémy složené z tenkovrstvých modulů. Střídače osazené transformátorem sice dosahují nižší účinnosti, ale na druhou stranu dosahují kvalitnějšího výstupu (Jakubes a Šváb, 2010).

Transformátor

Transformátor je měnič střídavého proudu. Skládá se ze tří hlavních částí: vinutí, magnetického obvodu, izolačního systému.

Primární vinutí slouží k převodu elektrické energie na magnetickou. Procházejícím proudem se vytváří magnetický tok Φ [Fí]. Tento tok je veden magnetickým obvodem (jádreem) k sekundární cívce. Účelem magnetického obvodu většiny transformátorů je zajistit, aby co nejvíce magnetických siločar procházelo zároveň primární a sekundární cívkou.

V sekundární cívce se podle principu Faradayova indukčního zákona:

$$u_2 = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

indukuje elektrické napětí. Proto transformátor pracuje jen na střídavý nebo pulsující proud, protože u stejnosměrného proudu se nemění magnetický tok (tj. derivace konstantního toku je nulová) a na sekundárním vinutí nevzniká žádné napětí. Transformátory dělíme na chlazené vzduchem (suché) a olejem (olejové) (Cihelka, 1994).

Sít'

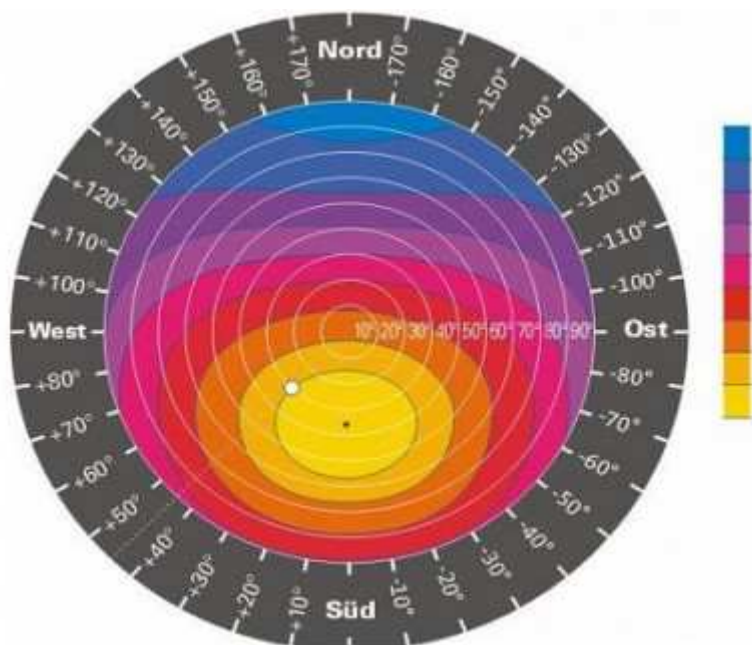
Velkoplošné FTV elektrárny patří mezi on-grid – síťové systémy. Připojení k síti podléhá schvalovacímu řízení rozvodných závodů. Špičkový výkon FTV systémů připojených k rozvodné síti je v rozmezí jednotek kilowatt až jednotek megawatt. Veškerá produkce FVE je prodávána do sítě za tzv. výkupní tarify (Jakubes a Šváb, 2010).

2.2 Možnost využití FVE pro získávání sluneční energie

Technologická omezení a klimatické faktory

Umístění FV elektrárny a vyvarování se nepříznivým vlivům je rozhodujícím faktorem pro její budoucí výnosy. Optimálním umístěním fotovoltaického systému rozumíme takovou orientaci a sklon, která nám zajistí maximální výnos ze systému v průběhu celého roku.

V podmínkách České republiky se jedná o sklon cca 35 st. a orientaci přímo k jihu. Neznamená to ovšem, že pokud budou panely situovány např. k západu a sklon bude o 20 st. menší, nebude takový systém ekonomický vůbec přínosný. Výnosy z takových systémů budou samozřejmě nižší (<http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/> „staženo dne 11. 11. 2014“).



*Obrázek č. 3 - diagram vlivu sklonu a orientace fotovoltaických panelů na energetický výnos (<http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/> „staženo dne 11. 11. 2014“)

Slunce nesvítí 24 hodin denně, v našich klimatických podmínkách je celková doba slunečního svitu v rozmezí 1400-2200 hodin za rok. Tzn., vezmeme-li průměrnou hodnotu 1800 hod/rok, získáváme necelých 5 hodin slunečního záření za den při započítání tmy, zatažených dnů, atd. V našich podmínkách dle ČHMÚ bývá nejmlžnějším dnem listopad a počet zamlžených dnů se pohybuje okolo 90 (<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/oez99/99embil.html> „staženo dne 5. 3. 2015“).

Technologická omezení:

Rozdíly v elektrické charakteristice jednotlivých panelů (napětí - proud)

Vliv rozdílné impedance jednotlivých panelů má za následek úbytky energie vyrobené panely při předávání této energie směrem k invertoru. Optimalizační systém vyhodnocuje údaje z jednotlivých panelů (proud, napětí, teplota) a s využitím připojeného datového centra vypočítává optimální MPP a do každého modulu předává instrukce pro optimální nastavení. Každý optimalizační modul pak zajišťuje nastavení virtuální impedance tak, aby bylo dosaženo největšího výstupního výkonu. Pro nejslabší panely je pak zajištěn „proudový tunel“ tak, aby proud ve stringu byl určován nejsilnějšími panely a nedocházelo k omezení „nejslabším článkem řetězu“. Průměrná účinnost optimalizace se v současné době liší v závislosti na použité technologii (DC/DC konvertor, mikroinverter, impedanční optimalizace) v rozsahu cca 95,5 % (mikroinverory) až cca 99,6% (impedanční přizpůsobení) (<http://www.cne.cz/fotovoltaiicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/> „staženo dne 11. 11. 2014“).

Vliv teploty

S růstem teploty výrazně klesá výstupní výkon panelu díky poklesu napětí na jednotlivých článcích. Rozdíl v teplotě (a tedy i v elektrických vlastnostech panelu) přitom může být velmi rozdílný i mezi panely jednoho stringu (<http://www.cne.cz/fotovoltaiicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/> „staženo dne 11. 11. 2014“).

Defekt by-pass diody

Pokud dojde k poruše jedné z by-pass diod umístěných na panelu (obvykle 3 diody celkem 3 diody) dojde následně i výraznému poklesu napětí i výkonu daného panelu (o cca 1/3). Tento pokles má následně vliv na všechny panely v sérii (stringu), protože vadný panel se stává „úzkým hrdlem“ celého stringu (<http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/> „staženo dne 11. 11. 2014“).

Zastínění kolektorů

Důležitým faktorem pro výnosy z fotovoltaické elektrárny je vliv zastínění. Je třeba brát na zřetel všechny potencionální vlivy zastínění, jako jsou sloupy, stromy, antény nebo i dráty elektrického vedení. Podstatný vliv zastínění na výnosy je dán hlavně fyzikální podstatou funkce FV článku. Pokud dojde k zastínění byť jen jediného článku na fotovoltaickém panelu, začne se tento článek chovat jako odpor a „brzdí“ tok elektrické energie ve všech ostatních člancích, případně panelech spojených v jedné větvi (sérii).

Zastínění a tím snížení výkonu může vyvolat i nadměrné znečištění panelů např. pylem, prachem, spadáním listů, ale i sněhem nebo ptačím trusem. Fotovoltaické panely mají samočistící schopnost, je i přesto doporučeno provádět průběžnou kontrolu znečištění FV panelů v průběhu celého roku a případně panely očistit nejlépe proudem vody (<http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/> „staženo dne 11.11.2014“).

2.3 Ekologický přínos FVE a legislativa

Legislativní rámec

Vzhledem k vysoké pořizovací ceně začala být výstavba solárních fotovoltaických systémů ekonomicky zajímavá a výhodná až po přijetí Zákona o obnovitelných zdrojích energie č.180/2005 Sb., respektive po vyhlášení výkupních cen a zelených bonusů pro výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie Energetickým regulačním úřadem (ERÚ) koncem roku 2005. V této práci se věnuji fotovoltaickým elektrárnám uvedených do provozu v roce 2010, proto se i legislativně budu zabývat tímto obdobím.

Výkupní cena elektrické energie z fotovoltaických systémů uvedených do provozu v roce 2010 a výkonem nad 30 kW podle Cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 5/2009 ze dne 23. listopadu 2009 činilo v námi sledované době 12 150 Kč/MWh, případně zelený bonus 11 180 Kč/MWh (ten bylo možno nárokovat při využití vyrobené elektřiny pro vlastní spotřebu nebo při prodeji silové elektřiny za tržní cenu). Výkupní cena či zelený bonus nastavoval ERÚ tak, aby běžný systém splňující indikativní parametry dosahoval průměrně diskontované návratnosti investice ve výši 15 let. Úroveň výkupní ceny byla zaručena po 20 let od realizace projektu (dle vyhlášky č. 364/2007 Sb. a §2 odstavec 9 vyhlášky č. 140/2009 Sb.), podle kterého byl navíc zaručen meziroční nárůst výkupní ceny s ohledem na index cen průmyslových výrobců minimálně o 2 % a maximálně o 4 %. Výrobci dále náležel příplatek za decentralizovanou výrobu elektřiny podle Cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.7/2009 ze dne 25. listopadu 2009, který pro výrobce elektřiny, jehož zařízení je připojeno do napěťové hladiny VN distribuční soustavy, činil 27 Kč/MWh skutečně dodané elektřiny do distribuční soustavy. Celková výkupní cena pro rok 2010 včetně příplatku za decentralizovanou výrobu byla tedy ve výši 12 177 Kč/MWh. (Jakubes a Šváb, 2010)

Ekologický přínos FVE

Výhody a nevýhody FVE

Výstavba fotovoltaické elektrárny s sebou nese jak významné výhody, tak i úskalí. Mezi hlavní plusy patří bezpečnost – výroba elektrického proudu pomocí fotovoltaiky je naprosto bezpečná, nenáročná na údržbu a nevede ke vzniku škodlivých látek (např. CO₂). Fotovoltaické systémy dodávají potřebnou elektrickou energii až 3 desetiletí bez velkého snížení účinnosti, což vede ke stálosti výkonu. Jako další výhodu pak můžeme uvažovat nezávislost systému – fotovoltaikou lze vyrábět el. proud i v oblastech, kde nejsou k dispozici jiné zdroje energie. Pakliže je státem fotovoltaika rozumně dotována, vykazuje významné zhodnocení finančních prostředků, stává se tedy vyhledávanou investicí. Výroba elektrického proudu bez zátěže životního prostředí pak vede také k významné úspoře fosilních paliv jakožto systémového zdroje. Zde je pak uvažován i příspěvek ke snižování globálního oteplování.

Hlavními nevýhodami při výstavbě fotovoltaických elektráren se dlouhodobě ukazuje několik aspektů. Především cena – instalace fotovoltaických systémů je velmi drahá. Proto státy, které chtějí fotovoltaiku podpořit, přenášejí zákonnými úpravami tyto náklady na daňové poplatníky nebo spotřebitele elektřiny. Dále pak jako určitou nevýhodu můžeme uvažovat imobilitu fotovoltaických systémů, které nelze přemístit, pokud se majitel např. odstěhuje. Ve srovnání s cenou energie systémových zdrojů je cena fotovoltaicky vyrobené energie velmi drahá, což významně ovlivňuje výhodnost výstavby. Další úskalí, se kterým při výstavbě musí být uvažováno, je nestálost dodávky – solární energie není k dispozici v noci, je velmi nespolehlivá za špatného počasí (děšť, mlha, sníh). Výkon FVE se výrazně snižuje, pokud jsou panely pod vrstvou sněhu. Solární panely produkují stejnosměrný proud, který se pomocí střídače převádí na proud střídavý. Toto způsobuje další finanční a zdrojové ztráty. V neposlední řadě pak musí být pamatováno na ekologickou likvidaci panelů, která je velmi nákladná. (Staněk, 2007)

Snížení emisí CO₂

Jedním z hlavních argumentů při pořizování FVE je snížení emisí škodlivých plynů, zejména CO₂. Pro účely posouzení enviromentálních přínosů se provádí porovnání s ekvivalentním systémovým zdrojem, resp. porovnání ekvivalentního množství vyrobené elektrické energie. Pro vyhodnocení snížení emisí CO₂ úsporou systémové elektřiny se využívá v souladu s přílohou 8 vyhlášky 425/2004 Sb. Tzv. emisní faktor ve výši 1,17 t CO₂/MWh. Vzhledem k tomu, že platná legislativa neudílí emisní faktory pro znečišťující látky vzniklé výrobou systémové elektřiny, pro vyhodnocování snížení znečišťujících látek je běžnou praxí využívat emisní faktory výchylek z analýz z databází (např. REZZO 1999). Tyto analýzy zahrnují kompletní portfolio systémových energetických zdrojů (<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/oez99/99embil.html> „staženo dne 5. 3. 2015“).

REZZO 1999 Emisní bilance České republiky 1999 kategorie zdrojů znečišťování ovzduší

Podle zákona č. 309/91 Sb. ve znění zákona č. 211/94 Sb. o ochraně ovzduší před znečišťujícími látkami se zdroje znečišťování člení na zdroje stacionární a mobilní. Zdroje stacionární jsou dále členěny podle tepelného výkonu, míry vlivu technologického procesu na znečišťování ovzduší nebo rozsahu znečišťování. Zdroje emitující do ovzduší znečišťující látky jsou celostátně sledovány v rámci tzv. Registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO). Stacionární zdroje jsou zahrnuty v dílčích souborech REZZO 1 - 3, mobilní zdroje jsou začleněny v dílčím souboru REZZO 4 (<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/oez99/99embil.html> „staženo dne 5. 3. 2015“).

Rozdělení stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší

REZZO 1 - Velké zdroje znečišťování: stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu vyšším než 5 MW a zařízení zvlášť závažných technologických procesů

REZZO 2 – Střední zdroje znečišťování: stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW, zařízení závažných technologických procesů, uhelné lomy a plochy s možností hoření, zapaření nebo úletu znečišťujících látek

REZZO 3 – Malé zdroje znečišťování: stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu nižším než 0,2 MW, zařízení technologických procesů, nespádajících do kategorie velkých a středních zdrojů, plochy, na kterých jsou prováděny práce, které mohou způsobovat znečišťování ovzduší, skládky paliv, surovin, produktů a odpadů a zachycených exhalátů a jiné stavby, zařízení a činnosti, výrazně znečišťující ovzduší

Správou databáze REZZO za celou Českou republiku je pověřen ČHMÚ. Jednotlivé dílčí databáze REZZO 1-4, které slouží k archivaci a prezentaci údajů o stacionárních a mobilních zdrojích znečišťování ovzduší, tvoří součást Informačního systému kvality ovzduší (ISKO) provozovaného rovněž ČHMÚ jako jeden ze základních článků soustavy nástrojů pro sledování a hodnocení kvality ovzduší ČR.

Výchozím podkladem pro emisní bilanci látek znečišťujících ovzduší za rok 1999 pro velké zdroje (celkem 2220 zdrojů) byly údaje Souhrnného vyhodnocení provozní evidence zdrojů znečišťování ovzduší za rok 1999, ověřované Českou inspekcí životního prostředí (ČIŽP). Aktualizace databáze REZZO 1, t.j. dalších technických údajů o zdrojích a jejich provozu (údaje o kotlích, palivu, technologiích a odlučovačích), byla provedena ve spolupráce s ČIŽP z údajů formulářů předložených provozovateli zdrojů podle přílohy č. 7 vyhlášky MŽP č. 117/97Sb.

Aktualizace údajů o emisích středních zdrojů byla provedena pro jednotlivé okresy ČR z údajů Souhrnného vyhodnocení provozní evidence zdrojů

znečišťování ovzduší za rok 1999 (mimo Prahu a Plzeň – údaje za rok 1998), ověřovaných referáty životního prostředí okresních úřadů.

Pro zpřesnění emisní bilance malých zdrojů byl využit model pro aktualizaci dat, využívající údaje ze Sčítání lidu, domů a bytů provedeného FSÚ v roce 1991, jehož výstupem jsou údaje o spotřebě základních druhů fosilních paliv spalovaných v domácnostech. Tyto údaje byly ve spolupráci s regionálními dodavateli paliv a energií (regionální plynárenské a energetické společnosti a teplárenské podniky) aktualizovány na rok 1999

(<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/oez99/99embil.html> „staženo dne 5. 3. 2015“).

Obnovitelný zdroj

Hlavním hnacím motorem rozvoje obnovitelných zdrojů energie je jejich ekologická šetrnost. V kategorii tzv. obnovitelných zdrojů energie (vodní, větrná, geotermální, tepelná čerpadla, biomasa) má mimořádné postavení energie solární, získávaná z planety Slunce. Sluneční záření můžeme zužitkovat po jeho přeměně několika různými způsoby na teplo nebo elektřinu. Tato přeměna se děje v rámci solárních systémů pasivních, ale zejména aktivních.

Pasivní solární systémy jsou založeny na přeměně slunečního záření na teplo vhodným architektonickým řešením budovy (podobně jako funguje skleník). Hlavní formou jsou aktivní solární systémy, založené na přeměně slunečního záření na teplo pomocí kolektorů (kapalinových, vzduchových), nebo přeměně slunečního záření na elektrickou energii, a to - solárně termickým způsobem - prostřednictvím fotovoltaických článků.

Česká republika má poměrně dobré podmínky pro využití energie slunečního záření. Celková doba slunečního svitu, tj. bez oblačnosti, se pohybuje od 1400 do 1800 hod./rok. Energie, jež dopadá kolmo na 1 m² plochy, je 800 až 1000 Wh. Proto je možné při dobré účinnosti solárního systému získat z poměrně malé plochy dosti velký výkon. Průměrné množství slunečního záření na území ČR se pohybuje v rozmezí 1100 – 1200 kWh/m²/rok. V těchto podmínkách lze

poměrně efektivně využívat solární energii pasivními, ale zejména aktivními solárními systémy (Anonym, (1994).

Likvidace panelů

Životnost fotovoltaických panelů je výrobci udávána na 25 až 30 roků, ovšem po uplynutí této doby je třeba řešit otázku, co s nimi. Množství panelů určených k recyklaci je v současnosti malé – v rámci celé EU se jedná pouze o několik stovek tun ročně, např. v roce 2008 se v Evropě zlikvidovalo 3 800 t solárního odpadu. Prognózy však předpokládají dvou až čtyřnásobný nárůst vysloužilých panelů každý rok, a to až do 40 000 t za rok. Pořízení kvalitních recyklovatelných panelů i jejich ekologická recyklace či likvidace znamenají náklady.

Problém, co s dosloužilými fotovoltaickými panely, je v současné době řešen dvěma způsoby – ekologickou likvidací nebo recyklací. Zatímco první způsob za sebou zanechává odpad, i když ekologicky upravený, u recyklace je procento odpadu sníženo na minimum. Díky opětovné využitelnosti většiny komponent panelů při další výrobě klesá výrobní cena nových produktů. Podstatnou součástí při výrobě modulů je křemík, jehož pořizovací cena výrazně ovlivňuje prodejní cenu nových panelů. Při recyklaci se podstatná část křemíku získává zpět.

Systém recyklace byl nejprve vyvinut pro krystalické moduly, které jsou na tento postup méně náročné. Dříve bylo snahou recyklovat celé články, a to tak, že moduly byly rozebrány, jednotlivé části důkladně chemicky očištěny a následně použity pro výrobu nových modulů. Takto vzniklé články mají fyzikální vlastnosti shodné s produkty, u nichž byla využita přírodní surovina. Navíc se energetická návratnost modulů z recyklovaných materiálů – tedy doba, za kterou modul vyrobí tolik energie, kolik jí bylo spotřebováno při jeho výrobě – snížil ze šesti a půl roku na dva roky. Tento proces ale naráží na hranici danou tloušťkou článků. Novější články jsou stále tenčí a při jejich čištění hrozí velké riziko zničení. Přednost před recyklací článků proto dostává využití recyklovaných surovin. Křemík či různé

kovy, včetně stříbra jsou při rozumných finančních nákladech upravovány do maximálně čisté formy.

Recyklací již mohou procházet také tenkovrstvé moduly, i když poměr jejich využití v České republice je oproti krystalickým zatím výrazně menší. Nutnost vypořádat se s indiem, teluriem či kadmii má za následek větší náročnost recyklačního procesu, zpracování těchto prvků však recyklační proces podstatně zhodnotí

(http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=42037 , „staženo dne 11. 11. 2015“).

Ekonomika FVE

V této práci se detailně zabývám problematikou účinnosti FVE a jejím ekologickým přínosem tj. konkrétním ušetřením CO₂ oproti mixu z konvenčních zdrojů. Jelikož je toto téma velice rozsáhlé, dotknu se ekonomiky provozu pouze okrajově.

Celkové náklady na FVE

I bez toho, abychom znali konkrétní sumu celkových nákladů, které solární boom způsobil, je jasné, že se nejedná o zanedbatelnou částku. Jelikož převážnou část z ní ponese státní rozpočet, tedy respektive každý z nás, není od věci si tyto celkové výdaje shrnout a vyčíslit. Časovou rovinou bude v tomto případě období 2010 až 2030. V těchto letech uběhne převážná část dvacetileté životnosti tří ročníků, které byly co do počtu zprovozněných FVE nejpočetnější, a tudíž jsou pro veřejné výdaje nejdražší. Konkrétně se jedná o ročníky 2009, 2010 a 2011 a jen FVE zprovozněné v těchto letech představují cca 80 % přímých, potažmo celkových nákladů za toto období.

Pro konkrétnější představu, v prvním roce financování FVE pomocí povinných výkupů, tedy v roce 2002, dosahovaly tyto přímé náklady na FVE 0,54 mld. Kč. Tato částka byla v roce 2009 téměř šestinásobná, konkrétně 3,09 mld. Kč,

což je ale prakticky zanedbatelná částka v porovnání s výdaji, které v letech nejvyšších nákladů budou dosahovat až cca 33 mld. Kč/rok.

Celková suma pouze přímých nákladů za následujících 20 let pak dosáhne hodnoty cca 510 mld. Kč. Nutno dodat, že přestože odhad této částky pochází z roku 2010, tak počítá i s novelou zákona č. 180/2005 Sb., která roku 2011 výrazně, dá se říct téměř o polovinu, snížila výkupní ceny elektřiny z FVE.

Při započtení ostatních zjištěných nákladů se tato částka vyšplhá do závratných výšin. Zaprvé připočítáme náklady na zajištění podpůrných služeb, které jsou stanoveny ve výši 48 mld. Kč a dalších 80 mld. Kč za náklady na dodatečnou regulační energii. Stále se přitom tyto hodnoty drží časové roviny 2010 až 2030. Dalšími uvažovanými náklady jsou náklady na připojení FVE, jenž dosahují částky 25 mld. Kč. Je třeba ovšem brát v úvahu i dodatečné náklady na údržbu, obnovu a rozvoj sítě, které musí každoročně platit provozovatelé distribučních soustav a ČEPS. Zde není možné provést přesnou predikci, jelikož závisí pouze na jejich vůli, v jakých částkách se tyto náklady budou pohybovat. Přesto, že budoucí plány ČEPSu jsou dle jeho prohlášení investovat až 4,5 mld. Kč ročně, budu ve výpočtu vycházet z výše investice za rok 2010, tedy 2,5 mld. Kč. To dělá v uvažovaném období celkem 52,5 mld. Kč (Zajíček a Zeman, 2010; Ampapová, 2012).

Náklady na FVE v praxi

Po konzultaci s několika soukromými majiteli fotovoltaických elektráren a ze zkušeností, které z touto problematikou mám, lze obecně říci toto:

Bez jakýchkoli dotací nebo motivací státu by byla výstavba fotovoltaiky vysoce ztrátová, největší zátěž pak představují vstupní investice – tj. nákup pozemku, nákup technologií, dále pak jsou významnou položkou servisní činnosti a ekologická likvidace panelů. S dobře aplikovanými motivacemi od státu se pak s počítanou 20 letou výkupní cenou stává fotovoltaika zajímavou investicí, kdy zhruba po dvanácti letech splácení vstupů začíná fotovoltaika vydělávat. Pakliže se ale systém dotování zvolí špatně, a to ať vinou politikaření, špatného rozpočtování či spekulací nemusí stačit na splácení elektrárny ani zmiňovaných 20 let. Co se

záboru krajiny týká, není již aktuálním problémem – boom FVE již přestal a výstavba nových elektráren je již jen sporadická. Aktuálně daleko větší nebezpečí záboru půdy hrozí spíše z tzv. brownfields – tj. velkých halových komplexů stavěných většinou na okrajích velkých měst.

2.4 Posouzení z hlediska ochrany životního prostředí

Pro účely posouzení enviromentálních přínosů se provádí porovnání s ekvivalentním množstvím elektrické energie vyrobené ve výchozím stavu v systémových zdrojích. Pro vyhodnocení snížení emise CO₂ úsporou systémové elektřiny se používá emisní faktor v souladu s přílohou 8 vyhlášky 425/2004 Sb. ve výši 1,17 t CO₂/MWh.

Vzhledem k tomu, že platná legislativa neudává emisní faktory pro znečišťující látky vzniklé výrobou systémové elektřiny, pro vyhodnocení snížení znečišťujících látek se používají emisní faktory vycházející z detailních analýz na základě databáze REZZO 1999, které zahrnují kompletní portfolio systémových energetických zdrojů (Jakubes a Šváb, 2010).

	Systémová elektřina
	kg/MWh
Tuhé látky	0,0933
SO ₂	2,0718
NO _x	1,437
CO	0,1415
CO ₂	1170

* Tabulka č.1 - emisní faktory, vycházející z detailních analýz na základě databáze REZZO 1999 (Jakubes a Šváb., 2010)

Hodnocení energetických přínosů

Pro posouzení dosažitelné výroby energie se používá např. profesionální dynamický simulační model PVSYST verze 5.05 (www.pvsyst.com), vyvíjený na Univerzitě v Ženevě a používaný jako průmyslový standard v oblasti posuzování fotovoltaických instalací. Model je používán jak pro posuzování typických řešení, tak i pro posouzení komplikovanějších technických řešení FVE, kdy je nutno uvažovat s efekty stínění. Tento model zahrnuje návrh, kontrolu konfigurace a dynamickou simulaci systému na základě podrobné databáze jednotlivých komponent systému, nastavení a ověření vhodnosti konfigurace systému a výpočet roční výroby se zahrnutím všech klíčových proměnných systému na základě detailních (hodinových) meteorologických dat lokality. Model rovněž umožňuje detailní návrh geometrické konfigurace systému včetně 3D simulace stínění a vlivů stínění na fotovoltaický systém (Silverman a kol., 2014).

Vstupy a hlavní parametry modelového výpočtu

Základními vstupy pro modelové vyhodnocení dosažitelné výroby energie jsou:

Měsíční sumy globálního a rozptýleného záření (interpolovaná data pro posuzovanou lokalitu) a data o průměrných měsíčních teplotách z databáze Meteororm. Geometrická konfigurace systému (geografické umístění, azimut a sklon panelů, umístění jednotlivých polí panelů, umístění a rozměry budov způsobujících stínění, zapojení stringů v polích panelů).

Konfigurace systému na základě projektové dokumentace a nabídky dodavatele ověřena v modelu PVSYST (kompatibilita panelů a invertorů, zapojení jednotlivých polí a dimenzování invertorů) (Silverman a kol., 2014).

Další použité parametry:

Ztráty

Ztráty odrazem světla od plochy panelů – jsou zahrnuty přímo v algoritmu výpočtového modelu s použitím modelového algoritmu.

Ztráta odchylkou reálných parametrů od údajů deklarovaných výrobcem = 1,5% (vzhledem k poměrně úzké výkonové toleranci panelů).

Ztráta nestejnými parametry panelů v řetězci (mismatch loss) = 2% (předpokládáno je předtřídění panelů podle výsledků flashtestu).

Ztráta znečištěním panelů (soiling loss) = 1% (v souladu s doporučeními výrobců panelů pro nastavení parametrů modelu PVSYST).

Ztráta ve stejnosměrných kabelech – počítaná výpočtovým modelem na základě nastavení průřezu a průměrné délky kabeláže. Průřezy stejnosměrných kabelů se nastavují tak, aby celková ztráta nepřesahovala 1,5%.

Ztráta ve střídavé části kabeláže a spínacích prvcích je stanovena odborným odhadem ve výši max. 1 % při jmenovitých parametrech a 0,4% při provozním zatížení.

Ztráta při transformaci na úroveň 22 kV = 1,6% (vypočtené ztráty v nízko ztrátových transformátorech 800 kVA při zatížení fotovoltaickým systémem).

Vlastní spotřeba inverterů je zahrnuta do ztrát v invertorech.

Vlastní spotřeba ostatních prvků elektrárny (monitorovací systém, EZS, osvětlení, apod.) je v poměru k výrobě zanedbatelná. Náklady na vlastní spotřebu jsou zakalkulovány v nákladech na údržbu a provoz (Jakubes a Šváb, 2010).

Zisky

Zisky odrazem od země při pokrytí sněhovou pokrývkou – je uvažováno albedo okolního povrchu 20% mimo měsíců ledna a února, kdy je uvažovaná sněhová pokrývka a albedo 80% (Jakubes a Šváb, 2010).

2.5 Klimatická data

Z hlediska klimatických podmínek jsou pro posouzení fotovoltaického solárního systému důležité především údaje o dopadajícím globálním slunečním záření (pro posouzení energetických zisků) a průměrných venkovních teplotách (pro posouzení teplotních ztrát panelů), v případě detailnějšího posouzení i o dopadajícím rozptýleném (difúzním) záření a rychlostech větru (Jakubes a Šváb, 2010).

Globální záření

Sestává se z přímé a rozptýlené složky reprezentující sumu dopadajícího záření za dané časové období. Nejčastěji je prezentováno a používá se globální záření na horizontální plochu, prezentované jako dlouhodobý průměr za určité časové období. Tento parametr je možno přepočítat matematickými vztahy na libovolně orientovanou rovinu a má přímý vztah k výrobě energie ve fotovoltaických systémech (Jakubes a Šváb, 2010).

Teplota vzduchu

Prezentovaná jako denní nebo měsíční průměr - má přímý vztah k teplotním ztrátám fotovoltaických systémů vzhledem k závislosti účinnosti fotovoltaických panelů na teplotě.

Rozptýlené záření

Neboli poměr rozptýleného / globálnímu záření. Zlepšuje modelování FV systémů zejména v podmínkách částečného zatížení a zpřesňuje odhad vlivu spektrálních ztrát (Jakubes a Šváb, 2010).

Rychlost větru

Umožňuje uvažovat a přesněji simulovat efekty chlazení solárních panelů (čímž jsou částečně kompenzovány jejich teplotní ztráty účinnosti) (Jakubes a Šváb, 2010).

Pro posouzení lokality z hlediska klimatických dat budu vycházet ze dvou nezávislých databází dostupných na internetu:

Databáze Meteororm

Databáze Meteororm je komplexní meteorologický nástroj zahrnující databázi meteorologických dat (z více než 8000 meteorologických stanic po celém světě) a výpočetní postupy pro solární aplikace a návrh systému na libovolné požadované lokalitě na světě.

Databáze je založena na více než 23 leté zkušenosti s vývojem meteorologických databází pro energetické aplikace, určena pro inženýry, architekty, učitele, projektanty a zájemce o solární energii a klimatologie.

Meteorologická databáze má data z periody jednoho roku. Jsou zaznamenány v hodinovém intervalu. Nachází se tam globální a difusní radiace, exteriérová teplota, vlhkost vzduchu, rychlost a směr větru. TMY – je databáze charakteristických meteorologických hodnot pro danou lokalitu vytvořenou na základě vyhodnocení dlouhodobého sledování počasí (www.meteororm.com „staženo dne 11. 11. 2014“).

Atlas slunečního záření PVGIS

Dalším zdrojem dat o dopadajícím slunečním záření a průměrných teplotách, který je volně dostupný na Internetu, je aplikace PVGIS - Evropský atlas slunečního záření.

PVGIS je dynamická GIS aplikace zpracovaná Společným výzkumným centrem (Joint Research Centre) Evropské komise. Aplikace je k dispozici na adrese <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis> a je možno s její pomocí získat interpolovaná data pro jakoukoliv lokalitu v Evropě na základě jejich zeměpisných souřadnic a interpolace s použitím satelitních dat a dat z pozemních stanic. PVGIS využívá výsledky projektu Heliostat-3, který využívá data z měření satelitu Meteosat. Z PVGIS je možno získat data za jakoukoliv lokalitu v Evropě na základě geografických souřadnic a interpolace s využitím satelitních dat, která jsou verifikována daty z pozemních stanic. Data z databáze PVGIS odpovídají dlouhodobým průměrům za období 1981-2000 (Šúri a kol., 2006).

Pro simulace fotovoltaických systémů je jak autory databáze Meteonorm, tak i například autory simulačního modelu PVSYST doporučováno přebírat jako reprezentativní pouze klimatická data z pozemních stanic, jejíž „klimatická vzdálenost“ je od posuzované lokality nižší, než cca 20 km. Klimatická vzdálenost (D klimatická) je definována následovně:

$$D \text{ klimatická} = \sqrt{D \text{ horiz}^2 * (100 * D \text{ výšková})}$$

** kde $D \text{ horiz}$ = horizontální vzdálenost stanice od cíle, $D \text{ výšková}$ = převýšení mezi stanicí a cílem*

Průměrná statistická odchylka (MBE - mean bias error) dat z PVGIS ve srovnání s naměřenými daty z pozemních stanic je cca 0,3%, systematická odchylka (RMSD – root mean square deviation) je cca 3,7% (www.meteonorm.com „staženo dne 11. 11. 2014“).

3. Cíle práce

Hlavním cílem této práce je porovnání účinností (tj. dodávky kWh/měsíc/m²) fotovoltaických elektráren, respektive ekologického přínosu (přepočet ušetřeného CO₂) mezi jednotlivými lokalitami v ČR a to v Jihočeském, Jihomoravském, potažmo Ústeckém kraji.

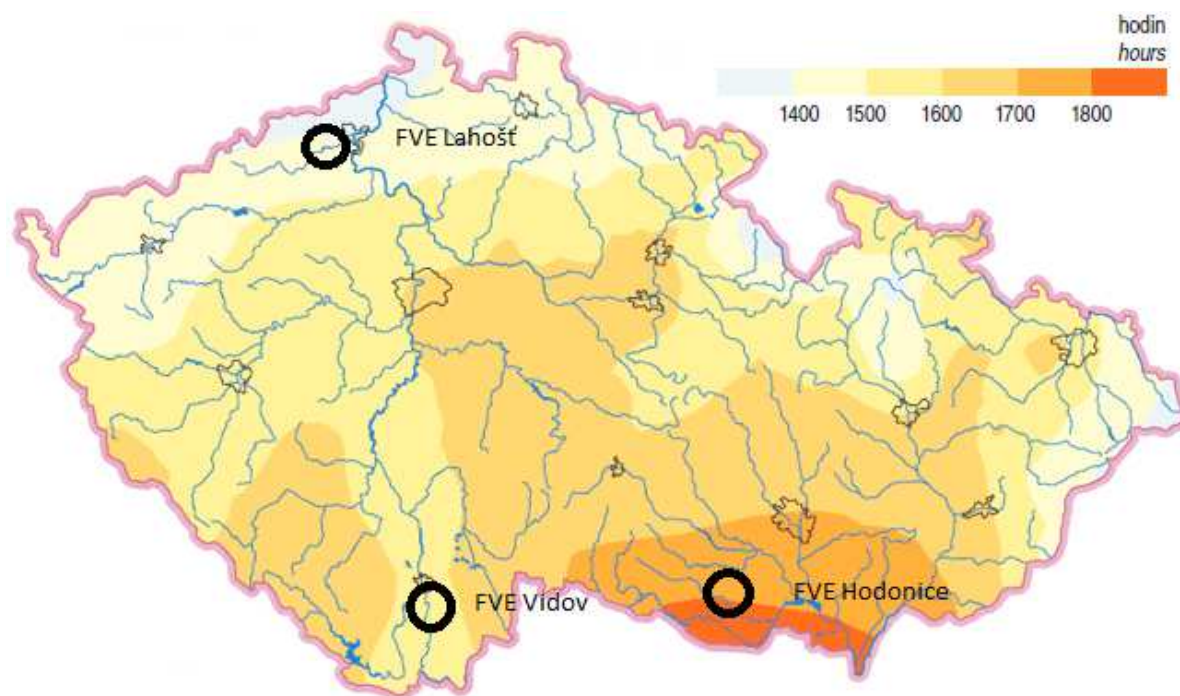
Výchozí hypotézou pro tuto práci byl předpoklad, že dle teplotních a osvitových parametrů oblastí bude na jižní Moravě účinnost využití solární energie výrazně vyšší, než v Jihočeském nebo Ústeckém kraji, kde se účinnost vzhledem ke klimatickým podmínkám lokality považuje za nejmenší.

K dosažení potvrzení či vyvrácení této hypotézy jsem využil hodnoty z energetických auditů jednotlivých fotovoltaických elektráren (data byla získána za pomoci veřejně dostupného dynamického simulačního modelu PVSYST a globálního solárního systému SOLARGIS – opět veřejně dostupný). Porovnával jsem je se skutečně naměřenými hodnotami odečtenými fyzicky z elektroměrů přímo na fotovoltaických elektrárnách. Data byla sledována po měsících ve tříletém horizontu a to v letech 2012 - 2014.

Dalším z cílů této práce pak je diskutovat a ověřit přesnost simulačního modelu PVSYST odhadujícího účinnost využití solární energie. Toho jsem dosáhl porovnáním hodnot z tohoto systému s reálnými naměřenými hodnotami 2012 - 2015. Hodnoty, se kterými program PVSYST modeloval, byly získány z databází METEONORM a PVGIS (zjištěny z energetických auditů společnosti Lumen, a.s.). Reálné hodnoty pak byly fyzicky odečteny v průběhu tří let z elektroměrů na jednotlivých fotovoltaických elektrárnách. Výchozím předpokladem bylo, že simulační model PVSYST je navržen přesně.

4. Metody

4.1 Charakteristika jednotlivých lokalit FVE



* Obrázek č.4 - mapa globálního záření na ČR s vyznačením lokality FVE Vidov, FVE Hodonice a FVE Lahošť (Jakubes a Šváb , 2010)

FVE Vidov

Fotovoltaická elektrárna s pevně orientovanými panely o výkonu panelů 749,89 KWp (technologie polykrystalický křemík) je umístěna na pozemcích pro zemědělskou činnost o celkové rozloze cca 16 654 m². k.ú. Vidov, okres České Budějovice v Jihočeském kraji.

Geografické souřadnice (geometrický střed pozemku FV elektrárny):

Zeměpisná šířka: 48°55'24" N
Zeměpisná délka: 14°29'36" E
Nadmořská výška: 395 m. n. m.

Z hlediska dopadajícího slunečního záření se jedná o oblast s průměrnými podmínkami v rámci ČR. Dle Atlasu podnebí ČR (<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/oez99/99embil.html> „staženo dne 5. 3. 2015“) se průměrný roční úhrn dopadajícího globálního záření na horizontální plochu pohybuje v rozmezí 3700 – 3800 MJ/m², z toho podíl přímé složky představuje cca 1700 -1800 MJ/m². Doba slunečního svitu se dle Atlasu podnebí ČR pohybuje mezi 1600 h/rok. Data z Atlasu podnebí ČR jsou použitelná pouze pro orientaci a pro porovnání situace v lokalitě se zbytkem ČR (Jakubes a Šváb, 2010).

Nejbližší meteostanice ČHMÚ s dostupnými měřeními údaji o dopadajícím globálním záření, jejíž data jsou dostupná v rámci databáze Meteororm, se nachází v lokalitě Kramolín - Košetice (ve vzdálenosti cca 85 km). Nejbližší meteostanice s dostupnými teplotními daty se nachází na Temelíně (23 km).

Vzhledem ke vzdálenosti nejbližších pozemních stanic od posuzované lokality, které výrazně přesahuje limit 20 km, je vhodnější použít interpolovaná data z několika nejbližších meteostanic. Pro interpolaci je použit interní algoritmus v rámci databáze Meteororm. Pro lokalitu Vidov jsou proto prezentována data o globálním a rozptýleném záření za období 1981-2000, která byla interpolována z dat pro stanice ČHMÚ Passau (84 km), Kramolín -Košetice (85 km), Kuchařovice (116 km). Teplotní data jsou v databázi Meteororm interpolována z dat pro stanice Temelín (33 km), Litschau (39 km), Zwettl (62 km) reprezentují dlouhodobý průměr za období 1996 – 2005 (www.meteororm.com „staženo dne 11. 11. 2014“).

Na základě dostupných meteorodat (viz. Příloha 1), lze konstatovat, že roční suma globálního záření se pohybuje mezi cca 1049 – 1103 kWh/m²/rok. Rozdíl mezi oběma použitými zdroji dat je poměrně významný - cca 4,9%, přičemž data z databáze PVGIS reprezentují konzervativnější předpoklad. Lze však předpokládat, že interpolovaná data z databáze Meteororm se blíží více reálným předpokladům z posledního desetiletí, kdy dochází k mírnému nárůstu ročních sum globálního záření – jen mezi lety 2000 – 2005 o cca 2,5% (Jakubes a Šváb, 2010).

Celková dodávka energie do sítě v roce uvedení do provozu byla stanovena na 705 593 kWh/rok, což odpovídá dodávce 940,9 kWh na 1 kWp instalovaného výkonu nebo využití špičkového instalovaného výkonu ve výši 941 h/rok (Jakubes a Šváb, 2010).

FVE Vidov snížení zátěže životního prostředí			
Znečišťující látka	Výchozí stav t/rok	Stav po realizaci t/rok	Rozdíl t/rok
Tuhé látky	0,066	0	-0,066
SO ₂	1,462	0	-1,462
NO _x	1,014	0	-1,014
CO	0,1	0	-0,1
CO ₂	825,544	0	-825,544

* Tabulka č.2 - vyhodnocení z hlediska ochrany životního prostředí (předpoklad) FVE Vidov (Jakubes a Šváb, 2010)

Náhradou systémové elektřiny vyrobené v mixu fosilních, jaderných a obnovitelných zdrojů elektřinou vyrobenou čistě na bázi obnovitelných zdrojů energie dojde ke snížení emisí CO₂ cca o 825 t ročně. Tento údaj je vypočten vynásobením celkové dodávky energie za rok a hodnot emisních faktorů vycházející z detailních analýz na základě databáze REZZO 1999 (Jakubes a Šváb, 2010).

FVE Hodonice

Lokalita se nachází na území Jihomoravského kraje, v k. u. Hodonice, okres Znojmo. Celková plocha disponibilních částí pozemků na základě informací od zadavatele energetického auditu je cca 20 958 m².

Geografické souřadnice (geometricky střed plochy pro umístění FV elektrárny) jsou následující:

Zeměpisná šířka: 48°50'01"N

Zeměpisná délka: 16°10'52"E

Nadmořská výška 205 m. n. m.

Z hlediska dopadajícího slunečního záření se jedná o oblast s nadprůměrnými podmínkami v rámci ČR. Dle Atlasu podnebí ČR (<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/oez99/99embil.html> „staženo dne 5. 3. 2015“) se průměrný roční úhrn dopadajícího globálního záření na horizontální plochu pohybuje přes 4000 MJ/m² (1 111 kWh/m²), z toho podíl přímé složky přesahuje 2000 MJ/m². Doba slunečního svitu se dle Atlasu podnebí ČR pohybuje mezi 1800 – 1900 h/rok.

Data z Atlasu podnebí ČR jsou použitelná pouze pro orientaci a pro porovnání situace v lokalitě se zbytkem ČR. Orientační srovnání globálního záření a hodin slunečního svitu se zbytkem ČR je zřejmé z následujícího obrázku (Šváb, 2011).

Nejbližší meteostanice ČHMÚ s dostupnými měřenými údaji o dopadajícím slunečním záření v rámci databáze Meteonorm se nachází v Kuchařovicích ve vzdálenosti cca 9 km. Vzhledem ke vzdálenosti nejbližší pozemní stanice od posuzované lokality, která v případě globálního záření nepřesahuje výše uvedený limit, což znamená, že lze bez výrazných omezení použít data z této stanice jako reprezentativní data i pro lokalitu Hodonice. Prezentovány jsou dlouhodobé průměry teplot za roky 1996-2005 a globálního záření za roky 1986-2002 pro stanici Kuchařovice z databáze Meteonorm (www.meteonorm.com „staženo dne 11. 11. 2014“).

Na základě dostupných meteorologických dat (viz. Příloha 1) lze konstatovat, že roční suma globálního záření se pohybuje mezi cca 1092 – 1110 kWh/m²/rok. Rozdíl mezi oběma použitými zdroji dat je cca 1,7 %, přičemž data z databáze PVGIS reprezentují mírně konzervativnější předpoklad, interpolovaná data z databáze Meteororm se blíží více reálným předpokladům z posledního desetiletí, kdy dochází k mírnému nárůstu ročních sum globálního záření – mezi lety 2000 – 2005 o cca 2,5% (Šváb, 2011).

Celková dodávka energie do sítě v roce uvedení do provozu byla stanovena na 1 096 932 kWh/rok, což odpovídá dodávce 1013 kWh na 1 kWp (Šváb, 2011).

FVE Hodonice snížení zátěže životního prostředí			
Znečišťující látka	Výchozí stav t/rok	Stav po realizaci t/rok	Rozdíl t/rok
Tuhé látky	0,101	0	-0,101
SO ₂	2,233	0	-2,233
NO _x	1,549	0	-1,549
CO	0,152	0	-0,152
CO ₂	1260,872	0	-1260,872

*Tabulka č.3 - vyhodnocení z hlediska ochrany životního prostředí (předpoklad) FVE Hodonice (Šváb., 2011)

Náhradou systémové elektřiny vyrobené v mixu fosilních, jaderných a obnovitelných zdrojů elektřinou vyrobenou čistě na bázi obnovitelných zdrojů energie dojde ke snížení emisí CO₂ cca o 1261 t ročně. Tento údaj je vypočítán vynásobením celkové dodávky energie za rok a hodnot emisních faktorů vycházející z detailních analýz na základě databáze REZZO 1999 (Šváb, 2011).

FVE Lahošť

Lokalita se nachází na území Ústeckého kraje v k.ú. Lahošť na pozemcích o výměře 2,4 ha.

Geografické souřadnice (geometricky střed pozemku FV elektrárny) jsou na následující:

Zeměpisná šířka: 50°37'15" N

Zeměpisná délka: 13°45'48" E

Nadmořská výška 218 m. n. m.

Z hlediska dopadajícího slunečního záření se jedná o oblast s průměrnými podmínkami v rámci ČR. Dle Atlasu podnebí ČR (<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/oez99/99embil.html> „staženo dne 5.3.2015“) se průměrný roční úhrn dopadajícího globálního záření na horizontální plochu pohybuje v rozmezí 3500 – 3600 MJ/m², z toho podíl přímé složky představuje cca 1500 -1600 MJ/m². Doba slunečního svitu se dle Atlasu podnebí ČR pohybuje okolo 1400 h/rok.

Nejbližší meteostanice ČHMÚ s dostupnými měřenými údaji o dopadajícím globálním záření, jejíž data jsou dostupná v rámci databáze Meteororm se nachází v lokalitě Zinnwald (ve vzdálenosti cca 31 km). Nejbližší meteostanice s dostupnými teplotními daty se nachází v Ústí nad Labem (20 km).

Vzhledem ke vzdálenosti nejbližších pozemních stanic od posuzované lokality, která přesahuje limit 20 km, je vhodnější použít interpolovaná data z několika nejbližších meteostanic. Pro interpolaci je použit interní algoritmus v rámci databáze Meteororm. Pro lokalitu Lahošť jsou proto prezentována data o globálním a rozptýleném záření za období 1981-2000, která byla interpolována z dat pro meteostanice Dresden/Wahnsdorf (56 km), Praha (69 km) a Zinnwald (31 km). Teplotní data jsou v databázi Meteororm interpolována z dat pro stanice Doksany (33 km), Tušimice (39 km), Ústí nad Labem (20 km), reprezentují dlouhodobý průměr za období 1996 – 2005 (www.meteororm.com „staženo dne 11. 11. 2014“).

Na základě dostupných meteorologických dat (viz. Příloha 1) lze konstatovat, že roční suma globálního záření se pohybuje mezi cca 999 – 1007 kWh/m²/rok. Rozdíl mezi oběma použitými zdroji dat je nevýznamný - cca 0,8%, přičemž data z databáze PVGIS reprezentují konzervativnější předpoklad. Lze však předpokládat, že interpolovaná data z databáze Meteorologická se blíží více reálným předpokladům z posledního desetiletí, kdy dochází k mírnému nárůstu ročních sum globálního záření – jen mezi lety 2000 – 2005 o cca 2,5% (Jakubes, 2011).

Celková dodávka energie do sítě v roce uvedení do provozu byla stanovena na 886 051 kWh/rok, což odpovídá dodávce 886,4 kWh na 1 kWp (Jakubes, 2011).

FVE Lahošť snížení zátěže životního prostředí			
Znečišťující látka	Výchozí stav t/rok	Stav po realizaci t/rok	Rozdíl t/rok
Tuhé látky	0,083	0	-0,083
SO ₂	1,836	0	-1,836
NO _x	1,273	0	-1,273
CO	0,125	0	-0,125
CO ₂	1036,677	0	-1036,677

* Tabulka č.4 - vyhodnocení z hlediska ochrany životního prostředí (předpoklad) FVE Lahošť (Jakubes., 2011)

Náhradou systémové elektřiny vyrobené v mixu fosilních, jaderných a obnovitelných zdrojů elektřinou vyrobenou čistě na bázi obnovitelných zdrojů energie dojde ke snížení emisí CO₂ cca o 1037 t ročně. Tento údaj je vypočten vynásobením celkové dodávky energie za rok a hodnot emisních faktorů vycházející z detailních analýz na základě databáze REZZO 1999 (Jakubes, 2011).

4.2 Výpočet porovnávání účinností a snížení emisí CO₂

Zjistil jsem předpokládané účinnosti FVE a předpokládané hodnoty snížení emisí CO₂ – ty jsem získal z energetických auditů, které si každý majitel FVE před výstavbou elektrárny nechal zpracovat. Předpoklad dodávky elektrické energie do distribuční soustavy vychází z energetického auditu na základě hodnot získaných z dynamických modelů PVSYST a SOLARGIS. V prvním roce je výkon panelů brán jako 100%, protože jde o první rok po zprovoznění FVE a tedy panely nejsou opotřebovány. Z každým rokem se účinnost panelů snižuje o zhruba 1% a toto je při plánování výnosů uvažováno. Poté jsem si stanovil sledované období na roky 2012 – 2014. Jsou to první tři roky kontinuálního provozu zmiňovaných elektráren.

Skutečné hodnoty účinností fotovoltaických elektráren jsem pak získal z databází společnosti Lumen, a.s., která se zabývá spravováním fotovoltaik pro investory. Data byla získána fyzickým odečtením z jednotlivých elektroměrů a poslána na dispečink, kde jsem data zjišťoval já. Dále jsem pak provedl rozdíl mezi předpokládanou a skutečnou hodnotou (kWh) a vyjádřil procentuálně. Výpočet reálného snížení emisí CO₂ úsporou systémové elektřiny jsem provedl vynásobením skutečné dodávky elektřiny a koeficientu 1,17 (REZZO 1999). Výsledek jsem pak porovnal s předpokládanou hodnotou a rozdílem těchto dvou údajů jsem získal porovnání mezi realitou a modelem.

4.3 Statistické vyhodnocení dat

Pro porovnání skutečných výkonů mezi stanicemi v letech 2012 – 2014 byla použita Anova s interakcemi. Anova je parametrický test, je dost robustní vůči narušení předpokladu normality. Testován byl efekt měsíce, stanice a interakce mezi nimi. Rozdíly mezi stanicemi byly následně testovány posthoc Tukey - HSD testem.

Pro porovnání rozdílů mezi skutečnou a předpovídanou účinností byla také použita Anova s interakcemi a posthoc Tukeyův test. Testován byl efekt měsíce, stanice a interakce mezi nimi. Statistické vyhodnocení dat bylo provedeno v rámci programu Statistika (StatSoft. Inc., 2013).

5. Výsledky

5.1 Porovnání skutečných dodávek do distribuční sítě s předpokládanými na jednotlivých FVE

rok	Předpokládaná dodávka (kWh)	Skutečná dodávka (kWh)	Rozdíl skutečné a předpokládané dodávky (kWh)	Rozdíl skutečné a předpokládané dodávky (%)	Snížení emisí CO ₂ (t)
2012	697001	792744	95743	113,74%	927,51
2013	691099	714892	23793	103,44%	836,42
2014	685299	744501	59202	108,64%	871,07

*Tabulka č.5 - výpočty reálné účinnosti a snížení emisí CO₂ Fve Vidov 2012 -2015

V prvním sledovaném roce (2012) dodala fotovoltaická elektrárna do sítě celkem 792 744 kWh, což je o 95 743 kWh (13,74%) více, než bylo předpokládáno energetickým auditem. Snížení emisí úsporou systémové elektřiny bylo stanoveno na 927.51 tuny, tzn., že oproti předpokladu stanovenému energetickým auditem na 825 tun bylo ušetřeno o 102.51 tun (snížení emisí CO₂) více. Nejlepší účinnost měla FVE v březnu a květnu (v porovnání s předpokladem), nejhorší pak v únoru a prosinci.

Ve druhém sledovaném roce (2013) dodala fotovoltaická elektrárna do sítě celkem 714 892 kWh, což je o 23 793 kWh (3,44 %) více, než bylo předpokládáno energetickým auditem. Snížení emisí úsporou systémové elektřiny bylo stanoveno na 836,42 tuny, tzn., že oproti předpokladu stanovenému energetickým auditem na 825 tun bylo ušetřeno o 11,42 tun (snížení emisí CO₂) více. Nejlepší účinnost měla FVE v červenci a v prosinci (v porovnání s předpokladem), nejhorší pak v lednu a v únoru.

Ve třetím sledovaném roce (2014) dodala fotovoltaická elektrárna do sítě celkem 744 501 kWh, což je o 59 202 kWh (8,64 %) více, než bylo předpokládáno energetickým auditem. Snížení emisí úsporou systémové elektřiny bylo stanoveno na 871,07 tuny, tzn., že oproti předpokladu stanovenému energetickým auditem na 825 tun bylo ušetřeno o 46,07 tun (snížení emisí CO₂) více. Nejlepší účinnost měla FVE v březnu a v červnu (v porovnání s předpokladem), nejhorší pak v lednu a v prosinci.

rok	Předpokládaná dodávka (kWh)	Skutečná dodávka (kWh)	Rozdíl skutečné a předpokládané dodávky (kWh)	Rozdíl skutečné a předpokládané dodávky (%)	Snížení emisí CO ₂ (t)
2012	1084301	1260348	176047	116,24%	1474,61
2013	1075101	1117000	41899	103,90%	1306,89
2014	1066000	1094991	28991	102,72%	1281,14

*Tabulka č.6 - výpočty reálné účinnosti a snížení emisí CO₂ Fve Hodonice 2012 -2014

V prvním sledovaném roce (2012) dodala fotovoltaická elektrárna do sítě celkem 1 260 348 kWh, což je o 176 047 kWh (16,26 %) více, než bylo předpokládáno energetickým auditem. Snížení emisí úsporou systémové elektřiny bylo stanoveno na 1474,61 tun, tzn., že oproti předpokladu stanovenému energetickým auditem na 1 261 tun bylo ušetřeno o 213,61 tun (snížení emisí CO₂) více. Nejlepší účinnost měla FVE v lednu a březnu (v porovnání s předpokladem), nejhorší pak v říjnu a červenci.

Ve druhém sledovaném roce (2013) dodala fotovoltaická elektrárna do sítě celkem 1 117 000 kWh, což je o 41 899 kWh (3,9 %) více, než bylo předpokládáno energetickým auditem. Snížení emisí úsporou systémové elektřiny bylo stanoveno na 1306,89 tun, tzn., že oproti předpokladu stanovenému energetickým auditem na 1 261 tun bylo ušetřeno o 45,89 tun (snížení emisí CO₂) více. Nejlepší účinnost měla FVE v červenci a říjnu (v porovnání s předpokladem), nejhorší pak v lednu a únoru.

Ve třetím sledovaném roce (2014) dodala fotovoltaická elektrárna do sítě celkem 1 094 991 kWh, což je o 28 991 kWh (2,72 %) více, než bylo předpokládáno energetickým auditem. Snížení emisí úsporou systémové elektřiny bylo stanoveno na 1281,14 tun, tzn., že oproti předpokladu stanovenému energetickým auditem na 1 261 tun bylo ušetřeno o 23,14 tun (snížení emisí CO₂) více. Nejlepší účinnost měla FVE v březnu a prosinci (v porovnání s předpokladem), nejhorší pak v říjnu a listopadu.

rok	Předpokládaná dodávka (kWh)	Skutečná dodávka (kWh)	Rozdíl skutečné a předpokládané dodávky (kWh)	Rozdíl skutečné a předpokládané dodávky (%)	Snížení emisí CO ₂ (t)
2012	877110	1005888	128778	114,68%	1176,89
2013	868300	896057	27757	103,20%	1048,39
2014	859500	919713	61213	107,01%	1076

*Tabulka č.7 - výpočty reálné účinnosti a snížení emisí CO₂ Fve Lahoš' 2012

V prvním sledovaném roce (2012) dodala fotovoltaická elektrárna do sítě celkem 1 005 888 kWh, což je o 128 778 kWh (14,68 %) více, než bylo předpokládáno energetickým auditem. Snížení emisí úsporou systémové elektřiny bylo stanoveno na 1176,89 tun, tzn., že oproti předpokladu stanovenému energetickým auditem na 1 037 tun bylo ušetřeno o 139,89 tun (snížení emisí CO₂) více. Nejlepší účinnost měla FVE v únoru a březnu (v porovnání s předpokladem), nejhorší pak v listopadu a prosinci.

Ve druhém sledovaném roce (2013) dodala fotovoltaická elektrárna do sítě celkem 896 057 kWh, což je o 27 757 kWh (3,2 %) více, než bylo předpokládáno energetickým auditem. Snížení emisí úsporou systémové elektřiny bylo stanoveno na 1048,39 tun, tzn., že oproti předpokladu stanovenému energetickým auditem na 1 037 tun bylo ušetřeno o 11,39 tun (snížení emisí CO₂) více. Nejlepší účinnost měla FVE v červenci a říjnu (v porovnání s předpokladem), nejhorší pak v lednu a únoru.

Ve třetím sledovaném roce (2014) dodala fotovoltaická elektrárna do sítě celkem 919 713 kWh, což je o 61 213 kWh (7,01 %) více, než bylo předpokládáno energetickým auditem. Snížení emisí úsporou systémové elektřiny bylo stanoveno na 1076 tun, tzn., že oproti předpokladu stanovenému energetickým auditem na 1 037 tun bylo ušetřeno o 39 tun (snížení emisí CO₂) více. Nejlepší účinnost měla FVE v březnu a červnu (v porovnání s předpokladem), nejhorší pak v únoru a listopadu.

5.2 Statistické výsledky

Výsledky Anovy – významnost efektu měsíce, stanice a interakce mezi nimi na hodnoty měsíčních účinností (bez ohledu na rok sledování) jednotlivých stanic.

Faktory	F	
Efekt měsíce	89,42	P < 0,01
Efekt stanice (FVE)	7	P < 0,05
Interakce měsíc*stanice	0,16	P > 0,05

* Tabulka č.8 - Anova s interakcemi

Efekt měsíce byl průkazný na hladině významnosti menší než 0,01 a efekt stanice (FVE) byl také průkazný na úrovni významnosti menší než 0,05. Interakce mezi oběma efekty nebyla průkazná.

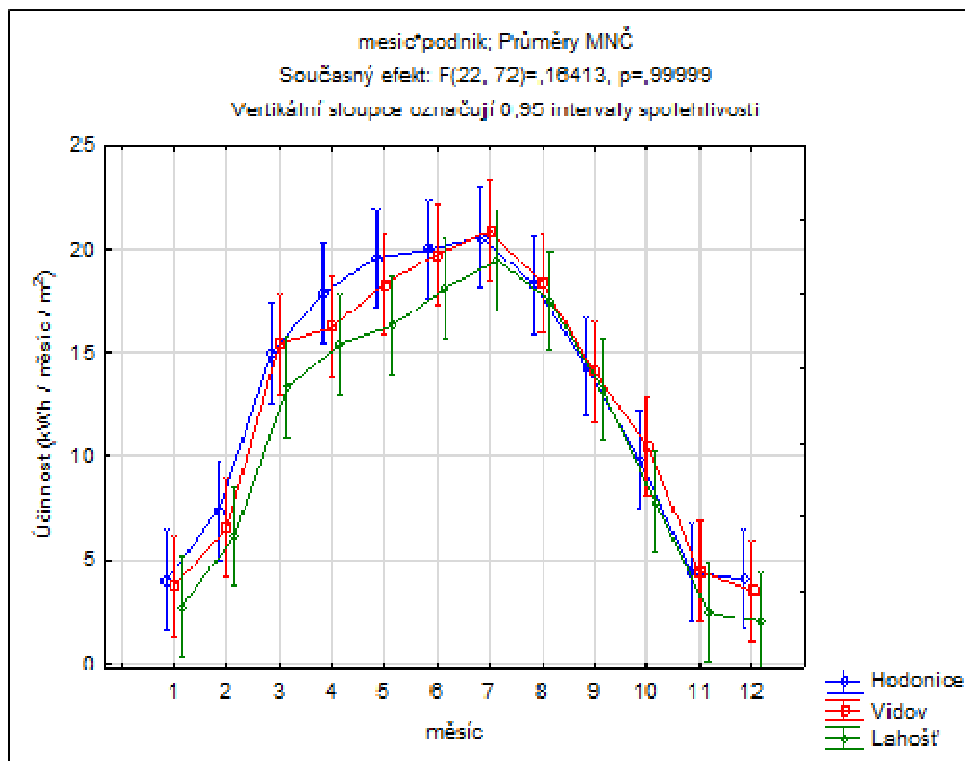
Výsledky párového porovnání (posthoc Tukey HSD test) účinností jednotlivých stanic. Uvedeny jsou hodnoty hladiny významnosti P.

FVE	Hodonice	Vidov	Lahošť
Hodonice		0,819398	0,002388
Vidov	0,819398		0,013776
Lahošť	0,002388	0,013776	

* Tabulka č.9 - posthoc Tukeyův test

Z Tabulky č. 9 je zřejmé, že se liší účinnost FVE Lahošť od účinnosti FVE Hodonice (P < 0,01). Dále se pak liší účinnost FVE Lahošť od účinnosti FVE Vidov (P < 0,01). Účinnosti FVE Hodonice a FVE Vidov se od sebe neliší (P>0,05). Z těchto výsledků je tedy patrné, že účinnost fotovoltaiky umístěné na jižní Moravě a fotovoltaiky v jižních Čechách je podobná. Kdežto fotovoltaika

v Ústeckém kraji se liší jak od jihočeského Vidova, tak od jihomoravských Hodonic.



* Obrázek č. 5 - Průměry (vypočítané metodou nejmenších čtverců v rámci programu Anova) měsíčních účinností ze tří sledovaných let na jednotlivých FVE a jejich 95% intervaly spolehlivosti

Z Obrázku č. 5 je patrné, že účinnost na FVE Lahošť se lišila od zbývajících dvou elektráren – její účinnost byla nižší. Největší rozdíly zaznamenáváme v období leden až červenec. V tomto období účinnost rostla na všech třech fotovoltaikách. Zbytek měsíců byl patrný pokles na všech třech měřených elektrárnách. Párové porovnání zde ale není možné.

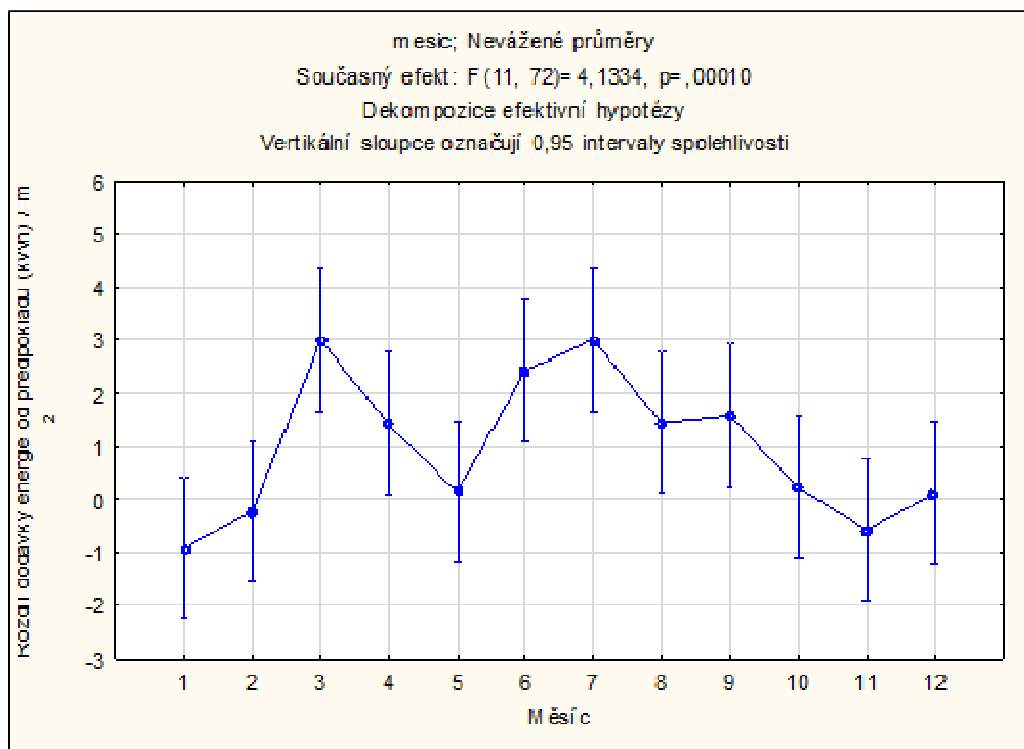
Konkrétně pak se měsíční účinnosti fotovoltaických elektráren v měsících lednu, listopadu a prosinci pohybují v intervalu 0 – 5 kWh/m², v měsících únoru a říjnu v intervalu 5 – 12 kWh/m², v měsících březnu a září na hranici 15 kWh/m² a v měsících dubnu, květnu, červnu, červenci a srpnu v hodnotách v intervalu 15 – 20 kWh/m². V případě FVE Vidov a FVE Hodonice v měsíci červenci dokonce účinnosti dosahují nad hranici 20 kWh/m².

Porovnání mezi skutečnou účinností FVE a předpovědními modely

Faktor	F	P
Efekt stanice	F= 0,186	P > 0,05
Efekt měsíce	F= 4,133	P < 0,001
Interakce měsíc*stanice	F= 0,329	P > 0,05

* Tabulka č.10 - statistická významnost efektu stanice, měsíce a interakce mezi nimi pro porovnání rozdílů mezi předpokládanou a skutečnou účinností tří stanic mezi lety 2012 - 2014.

Statisticky průkazný efekt pro porovnání rozdílů mezi předpokládanou účinností a skutečnou účinností byl zjištěn u efektu měsíce ($P < 0,001$), efekt stanice průkazný nebyl ($P > 0,05$), ani interakce mezi nimi ($P > 0,05$).



* Obrázek č. 6 - průběh rozdílů dodávky skutečné energie od předpokladu v EA

Z výsledků Posthoc Tukeyova testu (Obrázek č. 6) je patrné, že oproti předpokladu předpovědního modelu v měsících lednu, únoru a listopadu byla účinnost fotovoltaických elektráren nižší. Měsíce březen, červen a červenec pak vykazují vyšší účinnost, než jim předpovědní model přiřadil. Konkrétně pak se liší měsíc březen od ledna a února. Měsíc červen od ledna, dále pak měsíc červenec od ledna a února a listopad od března a července. Ostatní páry měsíců se neliší.

Ze všech těchto výsledků lze dokázat, že předpovědní model pro roky 2012 – 2014 hůře odhadl osvitové podmínky v měsících březnu, červnu a červenci (odhad byl směřován k nižším účinnostem).

5.3 Výpočet ekologického přínosu z hlediska ušetřených emisí CO₂

	FVE Vidov	FVE Hodonice	FVE Lahošť	Chyba průměru
Průměrná roční dodávka el. energie (kWh/m ² /rok)	151,3	154,3	134	0,1
Průměrná roční dodávka el. energie na 1kWp instalovaného výkonu (kWh/1kWp/rok)	1001,09	1068	940,8	0,01
Průměrné roční snížení emisí CO ₂ náhradou konv. zdrojů na 1 m ² panelů (t /m ² /rok)	0,177	0,181	0,157	0,001

* Tabulka č. 11 - porovnání celkových účinností FVE dle lokality

Z Tabulky č. 11 je patrné, že fotovoltaická elektrárna Hodonice ušetřila za rok na 1m² panelové plochy 0,181 t emisí CO₂, FVE Vidov ušetřila 0,177 t/m² emisí CO₂. Oproti tomu FVE Lahošť ušetřila 0,157 t/m² emisí CO₂, což je na 1m² panelové plochy o 0,024 t méně než FVE Hodonice a o 0,02 t méně než FVE Vido

6. Diskuze

Mým prvním cílem bylo osvětlit, jaká může být účinnost fotovoltaických elektráren vzhledem k umístění lokality v České republice, její závislosti na počasí, potažmo na slunečním osvětlení. Jelikož je úspora ušetřených emisí CO₂ náhradou konvenčních zdrojů v přímé úměře k účinnosti, bylo mým cílem zároveň zjistit, jak výrazně je na umístění lokality v České republice závislý ekologický přínos.

Při snaze o co nejpřesnější určení předpokládaného osvětlení a výkonu FVE jsem narazil na velmi zajímavý úkaz. Jak předpovědní modely Meteonorm a PVGIS, tak i informace z odborné literatury se dost podstatně liší. Tento poznatek uvádějí (Petera a Heřman, 2015). V České republice dopadne na 1 m² vodorovné plochy zhruba 950 – 1340 kWh energie. Roční množství slunečních hodin se pohybuje v rozmezí 1331 – 1844 h (ČHMÚ, 2015). Z hlediska praktického využití pak platí, že z jedné instalované kWp běžného systému (FV články z monokrystalického, popř. multikrystalického křemíku, běžná účinnost střídačů apod.) lze za rok získat v průměru 800 – 1100 kWh elektrické energie. (Staněk, 2007) uvádí, že je celkové množství slunečního záření dopadajícího na vodorovnou rovinu ve výši 1 018 kWh/m² za rok průměrnou hodnotou v rámci České republiky.

Fotovoltaická elektrárna Vidov, která se nachází v jižních Čechách, má předpokládaný dopad energie 1049 – 1103 kWh/m²/rok, což odpovídá dodávce 940,9 kWh na 1 kWp instalovaného výkonu a snížení emisí CO₂ o 825 tun. Realita pak je v tříletém průměru (2012 - 2014) takováto: průměrná dodávka 1001,09 kWh na 1 kWp instalovaného výkonu a snížení emisí CO₂ o 878 t/ r. Což je výrazně lepší výsledek.

Fotovoltaická elektrárna Hodonice, která je umístěna na jižní Moravě, a její hodnoty jsou : roční suma globálního záření se pohybuje mezi cca 1092 – 1110

kWh/m²/rok, což odpovídá dodávce 1013 kWh na 1 kWp a snížení emisí CO₂ o 1 261 t za rok. Ve skutečnosti je pak na FVE Hodonice tříletý průměr 1068 kWh na 1 kWp a snížení emisí CO₂ 1354,2 t za rok. Což je opět výrazně vyšší výsledek než se předpokládalo.

Fotovoltaická elektrárna Lahošť, která je umístěna v Ústeckém kraji, měla předpokládané hodnoty takovéto: roční suma globálního záření se pohybuje mezi cca 999 – 1007 kWh/m²/rok, což odpovídá dodávce 886,4 kWh na 1 kWp a snížení emisí úsporou systémové elektřiny o 1076 tun CO₂ za rok. Skutečný tříletý průměr byl: 940,8 kWh na 1 kWp a snížení emisí CO₂ 1100 t za rok. Což je opět lepší než předpoklad.

Porovnáním hodnot průměrné dodávky kWh na 1kWp jsem potvrdil hypotézu, že fotovoltaická elektrárna Hodonice umístěná na jižní Moravě si vedla nejlépe, fotovoltaika Vidov v jižních Čechách byla hodnotami druhá a fotovoltaika Lahošť byla na třetím místě. Což značí, že už na malém prostoru České republiky hraje osvit a přírodní podmínky značnou roli. Statistické testy dokládají, že fotovoltaika Vidov se účinností velmi blíží fotovoltaike Hodonice a v některých měsících ji i výrazně předčí. Co se vyhodnocení ekologického přínosu týká, je třeba dodat, že zde má vliv nestejný instalovaný výkon jednotlivých fotovoltaických elektráren, nicméně již porovnávaná účinnost je v přímé úměře s ušetřením emisí CO₂, a proto můžeme vyvodit závěr, že opět je nejvíce výhodné umístit FVE na jižní Moravě. Přesto ale výsledky všech fotovoltaiik předčily očekávání energetických auditů a objemy ušetřených škodlivých látek jsou z hlediska ekologického přínosu zajímavé.

Dalším z mých cílů bylo porovnat předpovědní model PVSYST, který vychází z databázi PVGIS (Šúri a kol., 2006) a Meteonorm (www.meteonorm.com „staženo dne 11. 11. 2014“), oproti reálně odměřeným datům z elektroměrů na jednotlivých fotovoltaikách. Došel jsem k výsledku, že předpovědní model se oproti skutečnosti liší. Odhadl účinnosti všech fotovoltaiik hůře, než v skutečně dopady. (Srdečný, 2011) uvádí, že v podzimních měsících jsou předpovědní modely v dobré shodě se skutečností a nejvýznamnější rozdíly jsou pro letní měsíce – výsledky modelů se mezi sebou liší, nejvýrazněji a kolísání skutečných hodnot je zde také největší. Toto se mi podařilo potvrdit. Model špatně simuloval především

měsíce březen, červen a červenec a to nezávisle na umístění stanice. Což je překvapivé, jelikož dle předpokladů toto jsou měsíce se silným osvitem a lze proto předpokládat, že účinnosti budou vysoké. Model pak nepřesně simuloval i měsíce leden, únor a listopad - tyto měsíce naopak vyhodnotil jako měsíce s lepším potenciálem, než ve skutečnosti byl.

Je třeba ale dodat, že toto jsou měsíce, kdy se fotovoltaické elektrárny většinou odpínají kvůli pravidelným kontrolám na vysokém napětí, či případným servisům jednotlivých součástí elektráren. Z teplotních dat (ČHMÚ, 2015, viz. Příloha 1), je pak vidět, že abnormalita počasí nebyla způsobena teplotami (ty jsou shodné s dlouhodobými průměry), ale s největší pravděpodobností byla způsobena větším osvitem, než se předpokládalo. Toto zjištění pak interpretuji tak, že předpovědní model neměl k dispozici přesně zadaná vstupní data - vychází z dlouhodobých průměrů zpracovaných na základě sítě měřících stanic. Průměrování vede poté k nejistotě a odchylce od skutečných hodnot.

7. Závěr

Problematika účinnosti fotovoltaických elektráren je úzce spjata s lokalitou, ve které se nachází. Účinnosti jednotlivých FVE se v závislosti na lokalitě průkazně lišily. Největší dodávku elektrické energie měla FVE Hodonice, proto v rámci České republiky lze doporučit k výstavbě fotovoltaických elektráren především území jižní Moravy. Rozdíl v ušetřených emisích CO₂ mezi FVE Hodonice a FVE Lahošť v Ústeckém kraji činí 0,024 t/m²/rok. Předpovědní model PVSYST pak simuloval špatně především měsíce březen, červen a červenec.

Zajímavých energetických potažmo ekologických výsledků (při šetření škodlivých emisí náhradou za konvenční zdroje) však můžeme dosáhnout i v například v jižních Čechách. Během let 2012 - 2015 byly podmínky pro výrobu solární energie příhodné v celé České republice a lze předpokládat, že i v příštích letech je tato technologie relevantní a použitelná. Lze také předpokládat větší výnosnost při zvolení modernějších technologií a zajímavou variantou může být i modernizování již stojících fotovoltaických elektráren. Klíčovým problémem fotovoltaiky je správně navolený mix technologického přizpůsobení dané lokalitě a finančních motivací státem a volba vhodné velikosti elektrárny. Pak může mít fotovoltaika nejen značný ekologický přínos, ale i nadále může být dobrou investicí.

8. Seznam použité literatury

Sluka P. (2009): Zhodnocení základních komponent pro solární tepelné systémy [bakalářská práce]. Plzeň, 49 s. Západočeská univerzita, Elektrotechnická fakulta, katedra elektroenergetiky a ekologie

<http://www.solarenavi.cz/slunecni-elektrarny/technicke-informace/historie-fotovoltaiky/> „staženo dne 11.11.2014“

<http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f8.htm> „staženo dne 11.11.2014“

Řehák J., Bártek J., Bařinka R.,(1998): Fotovoltaika a fotovoltaické systémy v podmínkách ČR a jejich navrhování , Praha , Česká energetická agentura, 61 s.

<http://www.cne.cz/fotovoltaiicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/> „staženo dne 11.11.2014“

Libra M., Poulek L., (2009): Fotovoltaika Teorie i praxe využití solární energie, Praha, ILSA, 160 s.

Jakubes J., Šváb M. (2010): Energetický audit projektu fotovoltaické elektrárny 750 kWp, v lokalitě Vidov, okres České Budějovice, ENA s.r.o., 67 s.

<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/oez99/99embil.html> „staženo dne 5.3.2015“

Anonym, (1994): Obnovitelné zdroje energie, Studijní materiály Fakulty životního prostředí Univerzity J.E.Purkyně, Ústí n.L., FCC PUBLIC, s.r.o.,

http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=42037 , „staženo dne 11.11.2015“

Zajíček M., Zeman K., (2010): Ekonomické dopady výstavby fotovoltaických a větrných elektráren v ČR : odborná studie, Praha, Oeconomica, 110 s.

Ampapová K. (2012): Problematika fotovoltaických elektráren pohledem financí [bakalářská práce]. Brno, 62 s., Masarykova univerzita, Ekonomicko - správní fakulta, katedra veřejné ekonomie

Meteonorm, Global Meteorological database, The Swiss federal office of energy supports the development of meteonorm, dostupné na: www.meteonorm.com „staženo dne 11.11.2014“

Šúri M., Huld T.A., Dunlop E.A., Ossenbrink H.A.,(2006): potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries, European Commission, DG Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Renewable Energies Unit, TP 450, via E. Fermi 1, I-21020 Ispra (VA), Italy, 11 s.

Staněk K., (2007): Dílčí výzkumná zpráva VZ04Č. 1 / 2007: Fotovoltaický systém o výkonu 40,9 kWp na Fakultě stavební, ČVUT v Praze vyhodnocení energetické produkce a ekonomického potenciálu, Praha, 36 s.

Silverman T.J., Jahn U., Friesen G., (2014): Characterisation of Performance of Thin-film Photovoltaic Technologies IEA PVPS Task 13, Subtask 3.1 Final Report IEA-PVPS T13-02:2014, 60 s.

[http:// europa.eu/geninfo/legal_notices_en.htm](http://europa.eu/geninfo/legal_notices_en.htm) „staženo dne 5.3.2015“

Šváb M. (2011): Technický posudek projektu fotovoltaické elektrárny 1087,2 kWp, v lokalitě Hodonice, okres Znojmo (aktualizace k 14.1.2011) , ENA s.r.o., 46 s.

Jakubes J. (2011): Doplnění energetického auditu projektu fotovoltaické elektrárny 999,57 kWp, v lokalitě Lahošť, Česká Republika (aktualizace k 17.1.2011), ENA s.r.o., 46 s.

Petera J., Heřman J., : Fotovoltaika dostupné na: <http://www.rescompass.org/IMG/pdf/Fotovoltaika.pdf> „staženo dne 11.11.2015“

Cihelka, (1994): Solární tepelná technika, Nakladatelství T. Malina, Praha

www.solarnienergie.cz/img/slunecni-kolektory „staženo dne 8.4.2009“

StatSoft, Inc. (2013): STATISTICA (data analysis software system), version 12. www.statsoft.com

Srdečný K., (2011): Vyšší výroba fotovoltaických elektráren nemusí být důvodem k optimismu. Energoblog, <http://www.energetika.cz/?id=71&cl=536> , 11.11.2015“

9. Přílohy

Příloha 1: Meteorologická data získaná z databází METEONORM A PVGIS

	PVGIS Globální záření (kWh/m ² /měs)	Meteonorm Globální záření (kWh/m ² /měs)	PVGIS Rozptýlené záření (kWh/m ² /měs)	Meteonorm Rozptýlené záření (kWh/m ² /měs)	Teplota (°C)	Teplota (°C)
leden	25,9	27	17,86	15	-1,9	-2,4
únor	42	47	26,46	25	0,7	-0,4
březen	78,7	82	46,46	42	4	2,9
duben	111	121	61,05	61	9	7,9
květen	149,1	159	79,03	69	14,4	13,6
červen	146,4	159	83,45	77	17,1	16,3
červenec	161,8	162	84,15	82	18,8	17,3
srpen	136,1	143	72,13	65	18,7	17,8
září	89,4	95	49,17	50	14,1	12,8
říjen	62	60	34,72	32	9,6	8,4
listopad	26	28	19,4	17	3,5	2,9
prosinec	19,5	20	14,62	14	-0,7	-1,4
Roční suma	1048	1103	588,49	549	8,9	8

*Tabulka č. 12 - meteorologická data FVE Vidov

	PVGIS Globální záření (kWh/m ² /měs)	Meteonorm Globální záření (kWh/m ² /měs)	PVGIS Rozptýlené záření (kWh/m ² /měs)	Meteonorm Rozptýlené záření (kWh/m ² /měs)	Teplota (°C)	Teplota (°C)
leden	25,42	25	17,8	17	-1,4	-2
únor	41,72	45	26,3	25	1,3	0,3
březen	79,98	82	46,4	46	4,7	3,8
duben	117,9	116	62,5	70	10,2	9,2
květen	155,62	158	80,9	78	15,3	14,7
červen	158,1	158	85,4	77	18,1	17,5
červenec	168,95	173	82,8	79	20	18,9
srpen	141,05	144	71,9	74	19,9	19,5
září	94,5	96	50,1	53	15,1	14,1
říjen	62,93	65	34,6	32	10,5	9,3
listopad	27,42	28	19,5	19	4,6	3,9
prosinec	18,51	20	14,1	15	-0,4	-1,3
Roční suma	1092,1	1110	592,2	585	9,8	9

*Tabulka č. 13 - meteorologická data FVE Hodonice

	PVGIS Globální záření (kWh/m ² /měs)	Meteonorm Globální záření (kWh/m ² /měs)	PVGIS Rozptýlené záření (kWh/m ² /měs)	Meteonorm Rozptýlené záření (kWh/m ² /měs)	Teplota (°C)	Teplota (°C)
leden	22,8	22	16,2	13	-0,7	-0,9
únor	38,6	38	24,7	26	1,4	1,1
březen	73,2	73	44,6	46	4	4,2
duben	109,5	110	61,3	56	9	9,2
květen	149,1	148	80,5	69	13,9	14,5
červen	143,1	148	84,4	83	16,7	17,2
červenec	152,2	150	83,7	81	18,7	18,5
srpen	130,2	134	71,6	74	18,7	19
září	83,7	87	47,7	51	14,5	14,1
říjen	56,4	56	23,7	35	10,2	9,3
listopad	24,1	25	17,6	16	4,3	3,7
prosinec	16,2	16	12,5	12	0,4	-0,2
Roční suma	999,2	1007	577,7	562	9,3	9,1

*Tabulka č. 14 - meteorologická data FVE Lahošť

Příloha 2: Teploty na zkoumaných fotovoltaických elektrárnách v letech 2012 – 2014

měsíc	rok		
	2012	2013	2014
leden	-0,2	-1,6	0,4
únor	-5,6	-2	1,3
březen	4,9	-0,7	5,4
duben	7,5	7,7	9
květen	13,4	11,3	11,3
červen	16,4	15,3	15,7
červenec	17,2	18,8	18,3
srpen	17,3	17,1	15
září	12,5	11,8	13,3
říjen	6,8	8,2	9,8
listopad	3,9	3,6	5,3
prosinec	-1	0,5	1,5
Roční průměr (°C)	7,8	7,5	8,9

*Tabulka č. 15 - teploty FVE Vidov (2012 - 2014)

měsíc	rok		
	2012	2013	2014
leden	0,4	-1,6	0,9
únor	-4,3	-0,1	2,8
březen	6,1	0,8	7,5
duben	9,9	9,7	10,8
květen	15,8	13,6	13,6
červen	18,6	17,2	17,8
červenec	20	20,9	20,7
srpen	19,9	19,5	17,1
září	15	13	14,9
říjen	8,7	9,8	10,6
listopad	5,9	5,1	7
prosinec	-1,7	1,7	2
Roční průměr (°C)	9,5	9,2	10,5

*Tabulka č. 16 - teploty FVE Hodonice (2012 - 2014)

měsíc	rok		
	2012	2013	2014
leden	0,9	-1,4	0,1
únor	-4	-1,4	1,8
březen	5,8	-1,3	6,4
duben	8,5	8,1	10,3
květen	14,7	11,9	12
červen	16,6	15,8	16
červenec	18	19,5	19,4
srpen	18,3	17,3	15,8
září	13,2	12	14,3
říjen	7,3	8,9	10,3
listopad	4,3	4	5,9
prosinec	-1,2	1,3	2
Roční průměr (°C)	8,5	7,9	9,5

*Tabulka č. 17 - teploty FVE Lahošť (2012 - 2014)

Příloha 3: Souhlasy s použitím dat

Souhlas s použitím údajů do diplomové práce

Tímto souhlasím s využitím technických dat z energetických auditů fotovoltaických elektráren firmy LUMEN a.s. do diplomové práce pana Bc. Petra Sluky:

Porovnání účinnosti a ekologického přínosu fotovoltaických elektráren v různých oblastech České republiky

Bc. Petr Sluka se zavazuje, že údaje nebudou zneužito, nebudou publikována žádná data finančního rázu a nebudou publikována nikde jinde vyjma diplomové práce a odborných článků s ní souvisejících a to opět a pouze p. Bc. Petrem Slukou.

Podpisy:

Tvůrce diplomové práce:



Bc. Petr Sluka

za Lumen a.s.:



Božumil Malý, manažer provozování FVE

Souhlas s použitím údajů do diplomové práce

Tímto souhlasím s využitím technických dat fotovoltaické elektrárny Hodonice do diplomové práce pana Bc. Petra Sluky:

Porovnání účinnosti a ekologického přínosu fotovoltaických elektráren v různých oblastech České republiky

Bc. Petr Sluka se zavazuje, že údaje nebude zneužito, nebudou publikována žádná data finančního rázu a nebudou publikována nikde jinde vyjma diplomové práce a odborných článků s ní souvisejících a to opět a pouze p. Bc. Petrem Slukou.

Podpisy:

Tvůrce diplomové práce:



Bc. Petr Sluka

za majitele FVE:



Ing. Jan Dichtl

Souhlas s použitím údajů do diplomové práce

Tímto souhlasím s využitím technických dat fotovoltaické elektrárny VIDOV do diplomové práce pana Bc. Petra Sluky;

Porovnání účinnosti a ekologického přínosu fotovoltaických elektráren v různých oblastech České republiky

Bc. Petr Sluka se zavazuje, že údaje nebude zneužito, nebudou publikována žádná data finančního rázu a nebudou publikována nikde jinde vyjma diplomové práce a odborných článků s ní souvisejících a to opět a pouze p. Bc. Petrem Slukou.


Podpisy:

Tvůrce diplomové práce:



Bc. Petr Sluka

za majitele FVE:



Petr Bareš

Souhlas s použitím údajů do diplomové práce

Tímto souhlasím s využitím technických dat fotovoltaické elektrárny LAHOŠŤ do diplomové práce pana Bc. Petra Sluky:

Porovnání účinnosti a ekologického přímosu fotovoltaických elektráren v různých oblastech České republiky

Bc. Petr Sluka se zavazuje, že údaje nebude zneužito, nebudou publikována žádná data finančního rázu a nebudou publikována nikde jinde vyjma diplomové práce a odborných článků s ni souvisejících a to opět a pouze p. Bc. Petrem Slukou.

Podpisy:

Tvůrce diplomové práce:



Bc. Petr Sluka

za majitele FVE:

