

FOTOVOLTAIKA v budovách

Karel Srdečný

dosavadní zkušenosti
pro budoucí rozvoj



Fotovoltaika v budovách

dosavadní zkušenosti pro budoucí rozvoj

Autor: Ing. Karel Srdečný

Fotografie na první straně obálky: Ministerstvo životního prostředí ČR

Fotografie na poslední straně obálky: Solartec, s. r. o.

Grafika: VLHAdesign, Klára Hiczková © 2009



Vydal:

EkoWATT, centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie

www.ekowatt.cz

www.energetika.cz

info@ekowatt.cz

Místo a rok vydání: Praha, 2009

ISBN: 978-80-87333-04-4

Praha:

Švábky 2, 180 00 Praha 8

tel: 266 710 247

e-mail: paha@ekowatt.cz

České Budějovice:


Žižkova 1, 370 01 České Budějovice

tel: 389 608 211, e-mail: cb@ekowatt.cz

Liberec:

Rumunská 655/9, 460 01 Liberec

tel: 486 123 478, e-mail: liberec@ekowatt.cz



Ministerstvo životního prostředí
České republiky

Projekt byl finančně podpořen v grantovém řízení MŽP.

Materiál nemusí vyjadřovat stanoviska MŽP.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| 1. O projektu | 4 |
| 2. Proč se zabývat fotovoltaikou? | 4 |
| 3. Proč umísťovat fotovoltaiku na budovy? | 5 |
| 4. Nevýhody fotovoltaiky umístěné na budovách | 6 |
| 5. Stanovení dopadající sluneční energie | 8 |
| 5.1. Přesnost měření | 9 |
| 5.2. Modely pro výpočet | 11 |
| 5.3. Porovnání modelů | 13 |
| 5.4. Výsledky modelů a naměřené hodnoty | 14 |
| 5.5. Přímé a difuzní záření | 15 |
| 5.6. Vliv sklonu a orientace | 17 |
| 6. Účinnost a ztráty | 23 |
| 6.1. Účinnost panelů | 23 |
| 6.2. Meziroční pokles výkonu | 25 |
| 6.3. Vliv znečištění | 25 |
| 7. Porovnání produkce s předpoklady modelů | 26 |
| 8. Zpětné modelování | 29 |
| 9. Závěr | 31 |
| 10. Poděkování | 31 |
| Seznam literatury | 31 |
| Dodatek–fotovoltaické systémy | 32 |
| Systém na budově MŽP ČR v Praze | 32 |
| Systém na budově FSV ČVUT v Praze | 33 |
| Systém na budově FEL ČVUT v Praze | 34 |
| Systém na budově MFF UK v Praze | 35 |
| Systém na budově ZČU v Plzni | 36 |
| Systém na budově UTB ve Zlíně | 37 |
| Systém na budově UJEP v Ústí nad Labem | 38 |
| Systém na budově SPŠE v Mohelnici | 39 |

Seznam zkratk:

| | |
|--------|--|
| ČHMÚ | Český hydrometeorologický ústav |
| ČR | Česká republika |
| ČVUT | České vysoké učení technické |
| FEL | Fakulta elektrotechnická |
| FSV | Fakulta stavební |
| FVE | Fotovoltaická elektrárna |
| MFF UK | Matematicko fyzikální fakulta Univerzity Karlovy |
| MŽP | Ministerstvo životního prostředí |
| SPŠE | Střední průmyslová škola elektrotechnická |
| TUL | Technická univerzita v Liberci |
| UJEP | Univerzita Jana Evangelisty Purkyně |
| UTB | Univerzita Tomáše Bati |
| ZČU | Západočeská univerzita |

1. O PROJEKTU

1. O projektu

Zájem drobných i velkých investorů o fotovoltaické elektrárny (FVE) rychle roste, ale zkušeností s jejich provozem v ČR je poměrně málo. Cílem tohoto projektu je využít několikaletých zkušeností z provozu FVE zejména k validaci výpočetních modelů, používaných pro návrh elektráren. Pro účely projektu se podařilo získat data z několika FVE především na univerzitách. Ne vždy však byla data pro účely projektu použitelná. Popis jednotlivých systémů je na konci publikace.

2. PROČ SE ZABÝVAT FOTOVOLTAIKOU?

2. Proč se zabývat fotovoltaikou?

Fotovoltaická zařízení mají za sebou velmi rychlý vývoj. Princip je známý již 170 let, ale teprve s rozvojem kosmického průmyslu od padesátých let minulého století se začaly fotovoltaické články rozvíjet rychleji. Umožnily získávat elektřinu ze slunečního záření přímo ve vesmíru, kam nebylo nutné dopravovat těžké baterie. Původně velmi drahá technologie se pak začala používat také pro napájení kalkulaček a jiných drobných spotřebičů, později i pro výrobu elektřiny v odlehlých místech, například na horských chatách.

S dalším vývojem s rostoucí výrobou se zvyšuje účinnost fotovoltaických panelů a klesá cena. Díky tomu (a díky různým podpůrným programům) se začaly zhruba před pěti lety masivněji stavět fotovoltaické elektrárny. Za posledních 30 let klesly náklady na kilowatthodinu vyrobenou z fotovoltaiky téměř desetkrát. Naproti tomu cena elektřiny ze sítě v této době



Obrázek 1: Údaje z provozu FVE na budově TUL v Liberci. Foto: EkoWATT

2. PROČ SE ZABÝVAT FOTOVOLTAIKOU?

několikanásobně vzrostla. Předpokládá se, že v roce 2030 bude elektřina z fotovoltaiky stejně drahá jako z konvenčních zdrojů.

V současnosti je podíl fotovoltaiky na celkové produkci elektřiny stále zanedbatelný a i přes rychlý rozvoj se v nejbližších letech se nedá čekat, že by fotovoltaika pokryla více než jednotky procent spotřeby elektřiny. Potenciál dopadající sluneční energie je však více než dostatečný – na území ČR dopadne 140x více energie, než činí spotřeba všech primárních zdrojů. Zdá se, že fotovoltaika bude v budoucnosti hrát stále větší roli.

I když zákon o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů z roku 2005 (č. 180/2006 Sb.) přinesl pro elektřinu z fotovoltaiky poměrně výhodné výkupní ceny, opravdový zájem o výstavbu fotovoltaických elektráren začal až v polovině roku 2008. Tehdy se totiž prodloužila doba výkupu za garantovanou cenu z 15 na 20 let. V tu chvíli začala být investice do fotovoltaiky zajímavá jak pro velké, tak i pro drobné investory, kteří jinak v energetice mnoho příležitostí investovat nemají.

V ČR bylo v letech 1998 až 2004 v rámci programu „Slunce do škol“ instalováno necelých 1000 FVE na základních a středních školách. Typicky šlo o instalaci dvou panelů s výkonem 100 W, zejména pro výukové účely. Byl zdůrazňován i demonstrační efekt, systémy mají vždy informační panel s údaji o výrobě FVE přístupný veřejnosti (viz obr. 1). V letech 2003 až 2006 bylo instalováno 12 větších FVE na univerzitách, typicky s výkonem 20 kW_p. Všechny tyto FVE byly instalovány s dotací, poslední z nich snad trochu symbolicky na budově Ministerstva životního prostředí v Praze. Lze říci, že tím éra dotovaných FVE skončila (určité dotační programy stále existují, ale jejich využitelnost je dosti omezená). Od roku 2008 už jsou FVE rentabilní i bez dotace.

3. PROČ UMISŤOVAT FOTOVOLTAIKU NA BUDOVY?

3. Proč umisťovat fotovoltaiku na budovy?

Nezabírá se zemědělská půda. Ačkoli ve skutečnosti je zábor půdy fotovoltaickou elektrárnou dočasný (na 20 let) a po této době se půda dá opět poměrně snadno vrátit do původního stavu, v současnosti je získání stavebního povolení pro FVE na volné ploše stále těžší. Instalace na budovy je tedy i určitým východiskem z nouze.

Elektrárnu lze snáze připojit k síti. V budově je vždy již zřízena přípojka elektřiny, obvykle tedy stačí úpravou v hlavní elektrorozvodné skříni zřídit další přípojné místo. Naproti tomu velké FVE na velké ploše se musí připojovat k síti nově budovaným vedením, často s trafostanicí. Vzhledem k řádově vyšším výkonům FVE na volných plochách je v současnosti mnohdy nemožné elektrárnu k síti připojit, protože kapacita sítě je již nedostatečná (resp. blokována jinými projekty). Naproti tomu FVE na budovách výkonem desítek kW kapacitu sítě příliš nezatíží.

Výhodou jsou vyšší výkupní ceny. Od roku 2009 dostávají FVE do 30 kWp vyšší výkupní cenu, i když jen o symbolických 0,1 Kč/kWh. Trend zvýhodňovat elektrárny na budovách je i v dalších zemích EU, lze tedy předpokládat že i v budoucnu budou mít nové FVE na budovách výhodnější ekonomické podmínky.

FOTOVOLTAIKA V BUDOVÁCH

3. PROČ UMISŤOVAT FOTOVOLTAIKU NA BUDOVY?

Elektrárna je méně přístupná vandalům a zlodějům. Oproti elektrárnám stavěným často doslova na zelené louce kdesi za vesnicí je FVE na budově hůře přístupná nezvaným návštěvníkům. Odpadají náklady na oplocení, případně na zabezpečovací systém. Výrazně nižší jsou i provozní náklady spojené s ostrahou elektrárny. Lze očekávat i výhodnější pojistku.

Může sloužit jako vlastní zdroj elektřiny. Pokud je v budově nutno zajistit provoz i při výpadku sítě (počítačové systémy, bezpečnostní systémy aj.), může fotovoltaika představovat vlastní nezávislý zdroj. Pokud FVE pracuje v režimu tzv. zelených bonusů, kryje se část spotřeby elektřiny v budově, což snižuje náklady na fakturu za elektřinu a významně vylepšuje ekonomiku provozu.

Snižuje ztráty v sítích. Tím, že se elektřina z FVE spotřebuje buď ihned ve vlastní budově, nebo ji spotřebují ostatní odběratelé v bezprostřední blízkosti, klesá objem elektřiny dopravované z velkých centrálních elektráren. Tím se snižují ztráty v síti (celkové ztráty v síti v ČR jsou 5,6 %).

Reprezentuje. Fasáda z fotovoltaických panelů je desetkrát dražší než obklad budovy z mramoru.



Obrázek 2: Fotovoltaický systém na fasádě na budově TUL v Liberci. Foto: EkoWATT

4. NEVÝHODY FOTOVOLTAIKY UMÍSTĚNÉ NA BUDOVÁCH

4. Nevýhody fotovoltaiky umístěné na budovách

Plocha pro instalaci je omezená. Ať už jde o panely na střeše nebo na fasádě, využitelná je pouze plocha daná architektonickým řešením budovy. Plocha je dále omezena případným zastíněním – ať už sousedními budovami, stromy nebo vlastní budovou (křídla, komíny, střešní nástavby atd.)

Orientace je daná budovou. Nejvyšších výnosů se dosahuje, jsou-li panely orientovány na jih, se sklonem 35° (pomineme-li systémy s automatickým natáčením panelů za sluncem). Odchytky od této polohy snižují výnosy, viz. kap. 5.6. To zhoršuje ekonomiku. Pouze u budov s dostatečně velkou plochou střechou lze panely umístit na konstrukci s optimálním sklonem a orientací.

4. NEVÝHODY FOTOVOLTAIKY UMÍSTĚNÉ NA BUDOVÁCH

Fotovoltaika může zhoršit vzhled budovy. Pohledná integrace panelů do budovy se někdy nepovede. Typickým problémem je umísťování obdélníkových panelů na trojúhelníkové plochy střech. U fasád je často problém najít panely, jejichž rozměry budovy ve vhodném poměru ke stávajícím oknům, totéž se týká i střešních oken a panelů na střeše.

Nutnost vyřešit kotvení panelů. U panelů na šikmé střeše lze obvykle bez problémů kotvit nosnou konstrukci panelů do krovu. Existují různé háky, které umožní průchod taškovou nebo jinou krytinou. Panely nikdy nepřesahují hřeben, což snižuje i namáhání konstrukce větrem. Přetížení je cca do 40 kg/m², což zejména pro starší budovy není problém.

U panelů na ploché střeše je nutno nosnou konstrukci panelů kotvit, zejména proti namáhání větrem (konstrukce musí odolat větru o rychlosti 130 km/h). U menších konstrukcí lze použít gravitační kotvení pomocí betonových závaží. Podmínkou je však dostatečná nosnost střechy. To bývá obvykle jednodušší u tzv. obrácených střech, kde je tepelná a hydroizolace překryta např. vrstvou oblázků nebo dlažbou.

U dvouplášťových střech (na většině panelových domů) není někdy vnější plášť dostatečně nosný. Pak je nutno konstrukci kotvit do stropních železobetonových panelů. Přitom hrozí poškození hydroizolace a následné zatékání. Jiným řešením je kotvit nosnou konstrukci fotovoltaických panelů do atiky.



Obrázek 3: Panely na střeše základní školy na konstrukci s gravitačním kotvením. Foto: EkoWATT



Obrázek 4: Panely na střeše MFF UK, kde kotvení konstrukce prochází hydroizolační vrstvou. Zdroj: Solartec s. r. o.

FOTOVOLTAIKA V BUDOVÁCH

4. NEVÝHODY FOTOVOLTAIKY UMÍSTĚNÉ NA BUDOVÁCH



Obrázek 5: Nosná konstrukce FVE na ZČU, kde konstrukce prochází hydroizolační vrstvou.
Zdroj: Solartec s. r. o.

5. STANOVENÍ DOPADAJÍCÍ SLUNEČNÍ ENERGIE

5. Stanovení dopadající sluneční energie

Sluneční záření, které dopadá na plochu pod vrstvou atmosféry, se skládá z přímého a z rozptýleného (difuzního) záření. Meteorologicky se množství celkového slunečního záření dopadajícího za jednotku času na jednotku plochy horizontálního zemského povrchu nazývá globální sluneční záření.

Pro výrobu elektřiny ze Slunce je nejdůležitějším parametrem celková energie dopadajícího slunečního záření na uvažovanou plochu za zkoumané časové období. Fyzikálně je tedy pro stanovení výroby důležitý celkový úhrn globálního slunečního záření na obecně položenou plochu na zemském povrchu za zkoumané časové období, obvykle den, měsíc či rok.

Meteorologické dlouhodobé sumy globálního slunečního záření jsou tedy měřeny na vodorovnou plochu a pro účely energetických výpočtů je nutné je přepočítat na plochu s danou orientací a sklonem. V současné době jsou sumy globálního slunečního záření měřeny pouze na šestnácti, difuzní záření na čtyřech pracovištích ČHMÚ, proto výpočty vycházejí ze sum přímého slunečního záření a ze skutečné doby slunečního svitu doplněné průměrnými hodnotami difuzního záření.

Skutečná doba slunečního svitu je měřena na území ČR na 79 pracovištích (ČHMÚ však zveřejňuje data jen ze 22 stanic), což dává dostatečný prostor a relativně vysokou přesnost pro stanovení místních odchylek globálního slunečního záření.

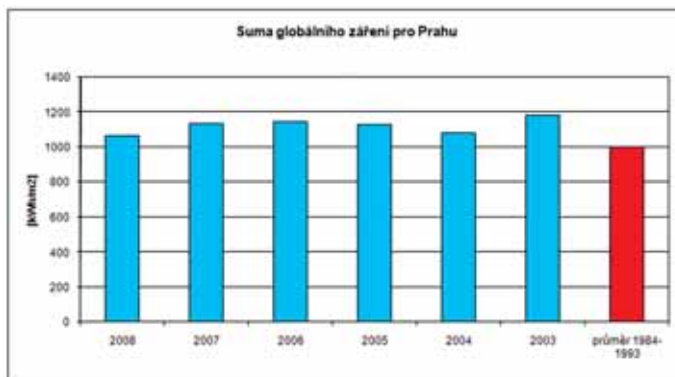
Podle Atlasu podnebí (viz. lit.), došlo k zajímavému jevu: od roku 1950 až cca do roku 1980 se množství dopadající energie snižovalo. Důvodem byla změna oblačnosti. Od roku 1990 se množství dopadající solární energie zvyšuje. Důsledkem je to, že pokud pro odhad produkce FVE použijeme delší časovou řadu, budou výsledky pesimističtější.

5. STANOVENÍ DOPADAJÍCÍ SLUNEČNÍ ENERGIE

Při modelování nesmíme zapomenout, že množství dopadající sluneční energie v jednotlivých letech kolísá vlivem oblačnosti, takže jednotlivé roky se od sebe mohou lišit o 10 % i více. Odchyłky jednotlivých měsíců jsou pak ještě mnohem vyšší. Viz také kap. 7.



Obrázek 6: Porovnání roční doby slunečního svitu s dlouhodobým a krátkodobým průměrem. Data: ČHMÚ



Obrázek 7: Porovnání celkové roční dopadající solární energie. Data: ČHMÚ, EkoWATT

5.1. Přesnost měření

V současnosti mnoho FVE vybaveno i měřením dopadající energie. Často jde o kalibrované fotovoltaické články. Jejich přesnost měření závisí na kvalitě článku a technickém provedení. Data získaná tímto způsobem nejsou vždy spolehlivá.

Tento způsob měření je však podstatně levnější než použití profesionálního pyranometru, které používají meteorologické stanice nebo výzkumná zařízení. Zde je přesnost měření 1 až 5 %.

Pro ilustraci můžeme porovnat měření ze čtyř nezávislých zdrojů v Praze. Rozdíly v měření nelze zdůvodnit rozdílnou geografickou polohou, jednotlivá místa jsou vzdálena do 5 km.

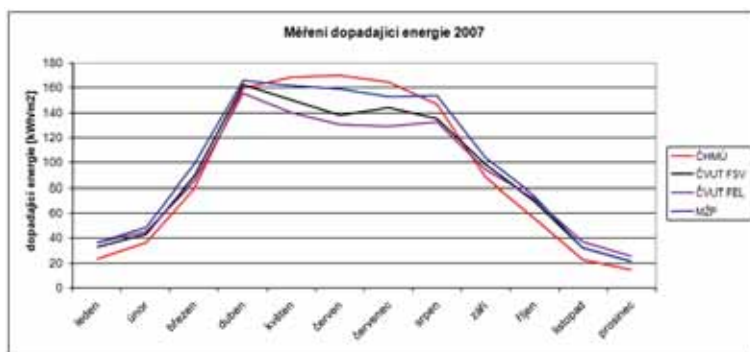
FOTOVOLTAIKA V BUDOVÁCH

5. STANOVENÍ DOPADAJÍCÍ SLUNEČNÍ ENERGIE

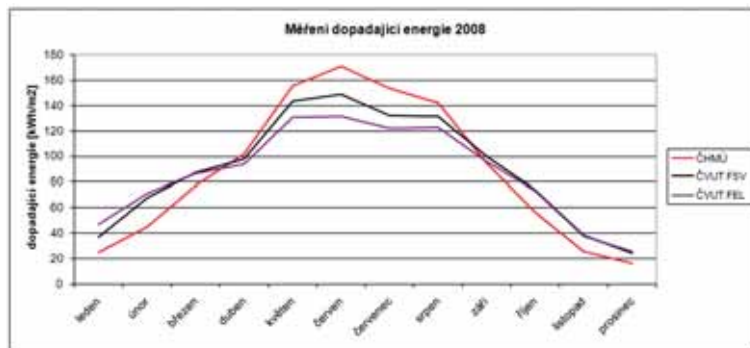
Výsledné křivky mají obdobný průběh, ale každá udává jiné hodnoty. To ukazuje na systematický rozdíl v měření. Zajímavé je, že křivky měření ČHMÚ mají výrazně jiný průběh než ostatní. Rovněž je zajímavé, že přes rozdílný průběh křivek v jednotlivých měsících se roční sumy dopadající energie liší jen málo, rozdíl je srovnatelný s přesností měření.

| | 2008 | | 2007 | | 2006 | |
|----------|--------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|
| | kWh/m ² | % | kWh/m ² | % | kWh/m ² | % |
| ČHMÚ | 1 065 | 100% | 1 132 | 100% | 1 144 | 100% |
| ČVUT FEL | 1 038 | 97% | 1 082 | 96% | 1 144 | 100% |
| ČVUT FSV | 1 081 | 102% | 1 118 | 99% | neúplná data | 98% |
| MŽP ČR | | | 1 209 | 107% | | |

Tabulka 1: Měření dopadající solární energie pro Prahu (na vodorovnou plochu).



Obrázek 8: Porovnání výsledků měření dopadající solární energie v roce 2007 pro Prahu.



Obrázek 9: Porovnání výsledků měření dopadající solární energie v roce 2008 pro Prahu.

5. STANOVENÍ DOPADAJÍCÍ SLUNEČNÍ ENERGIE

Vždy je potřeba rozlišit, zda se měří energie dopadající na vodorovnou plochu (tj. globální záření), nebo na plochu panelů PVE (např. se sklonem 35° a azimutem 0°). V prvním případě lze tyto údaje přepočíst na libovolně orientovanou a skloněnou plochu, ve druhém případě je přepočet složitější, což může být zdrojem chyb.

Zásadním problémem je však vlastní měření a zpracování dat. Při práci na této publikaci se ukázalo, že mnoho údajů o měření je zcela zjevně chybných a nepoužitelných.



Obrázek 10: Kalibrovaný fotovoltaický článek pro měření dopadajícího slunečního záření v rovině panelů (FSV ČVUT). Foto: EkoWATT

5.2. Modely pro výpočet

Pro výrobu elektřiny ze slunce je nejdůležitějším parametrem celková energie dopadajícího slunečního záření na uvažovanou plochu za zkoumané časové období. V této publikaci se podrobněji zaměříme na tři modely:

- PVGIS
- Meteonorm
- EkoWATT

5.2.1. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)

Model vytvořený výzkumným centrem Evropské komise. Je zaměřený přímo na využití pro fotovoltaické aplikace, umožňuje kalkulaci výroby elektřiny v konkrétním místě kdekoli v Evropě i v Africe. Je k dispozici on-line a zdarma. Výpočetní model využívá jak údaje ze satelitních měření, tak z pozemních meteostanic. Viz. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.

5.2.2. Meteonorm

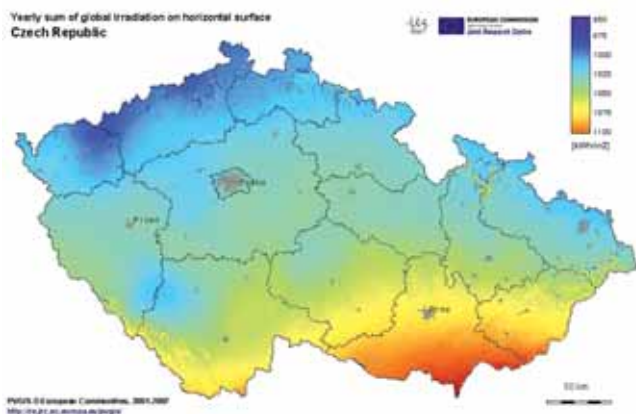
Jde o komerční nástroj, který umožňuje modelovat i další klimatické údaje, jako teplota, vlhkost vzduchu, rychlost a směr větru a další, navíc pro všechny kontinenty mimo Antarktidy. Meteonorm rovněž využívá data ze satelitních měření i z pozemních meteostanic. Na území ČR využívá 34 stanic, ale data o dopadajícím slunečním záření jsou měřena jen na osmi. To vede k tomu, že údaje o záření jsou často interpolována z poměrně vzdálených měřicích

5. STANOVENÍ DOPADAJÍCÍ SLUNEČNÍ ENERGIE

stanic. Pro příhraniční oblasti využívá i zahraniční meteostanice. Ve verzi 6.1 model počítá dopadající solární energii z dat za období 1981–2000.

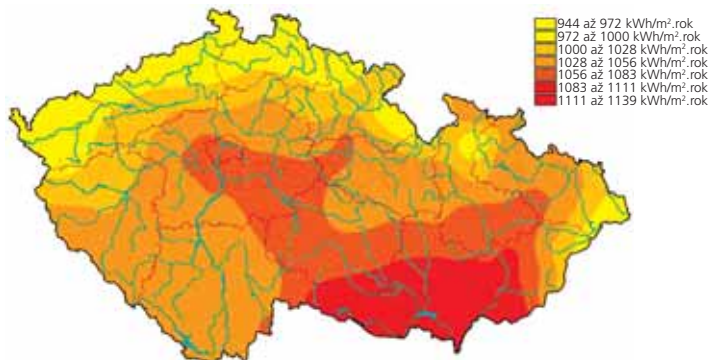
5.2.3. EkoWATT

EkoWATT vytvořil vlastní výpočetní model, který využívá data z meteorologických stanic ČHMÚ. Údaje z pozemních stanic jsou obecně přesnější než satelitní měření. Pokud však použijeme extrapolaci pro stanovení hodnot slunečního záření v lokalitě vzdálené od měřicí stanice, přesnost se snižuje. Roli hraje i nadmořská výška – například údaje z měřicí stanice na šumavském Churáňově (1118 m n. m.) lze jen s velkou opatrností použít třeba pro Vimperk (750 m n. m.), i když jsou obě místa vzdálená jen cca 12 km. Model EkoWATT počítá hodnoty na základě buď dlouhodobého průměru (1960-1990), nebo podle průměru posledních 10-ti let (1998–2008). Může spočítat i hodnoty pro konkrétní rok či měsíc.



Obrázek 11: Roční suma globálního záření dle PVGIS (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>).

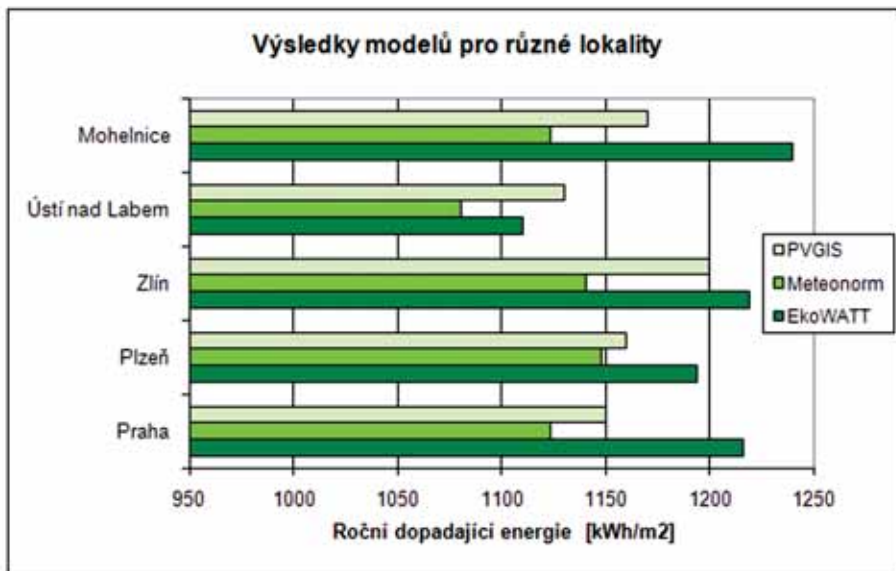
Zdroj: PVGIS © European Communities, 2001–2008



Obrázek 12: Roční suma globálního záření dle Atlasu podnebí ČR (<http://www.atlaspodnebi.cz/>).

5.3. Porovnání modelů

Jednotlivé modely dávají mírně odlišné výsledky. Rozdíly jsou dány metodikou výpočtu a různými vstupními daty.



Obrázek 13: Srovnání výsledků různých modelů pro plochu se sklonem 35° a orientací na jih.

| | | EkoWATT | Meteonorm | PVGIS |
|----------------|-----------------------------|---------|-----------|-------|
| Praha | dopadající energie [kWh/m²] | 1216 | 1124 | 1150 |
| | odchylka [%] | -5% | 3% | 1% |
| Plzeň | dopadající energie [kWh/m²] | 1194 | 1148 | 1160 |
| | odchylka [%] | -2% | 2% | 1% |
| Zlín | dopadající energie [kWh/m²] | 1219 | 1141 | 1200 |
| | odchylka [%] | -3% | 4% | -1% |
| Ústí nad Labem | dopadající energie [kWh/m²] | 1110 | 1081 | 1130 |
| | odchylka [%] | 0% | 2% | -2% |
| Mohelnice | dopadající energie [kWh/m²] | 1240 | 1124 | 1170 |
| | odchylka [%] | -5% | 5% | 1% |

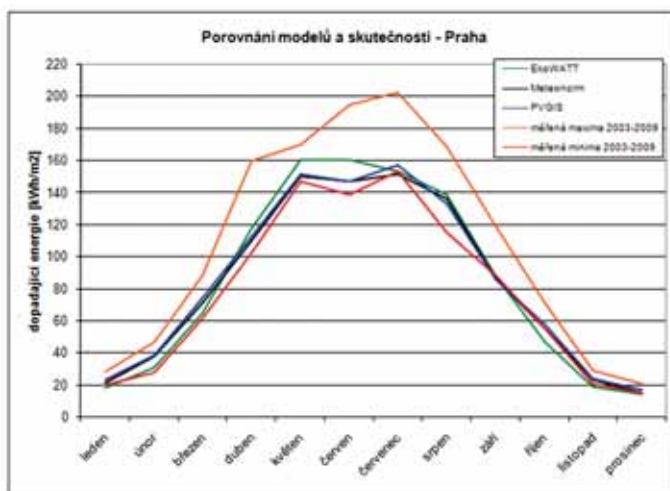
Tabulka 2: Výsledky modelů pro různé lokality pro plochu se sklonem 35° a orientací na jih.

5. STANOVENÍ DOPADAJÍCÍ SLUNEČNÍ ENERGIE

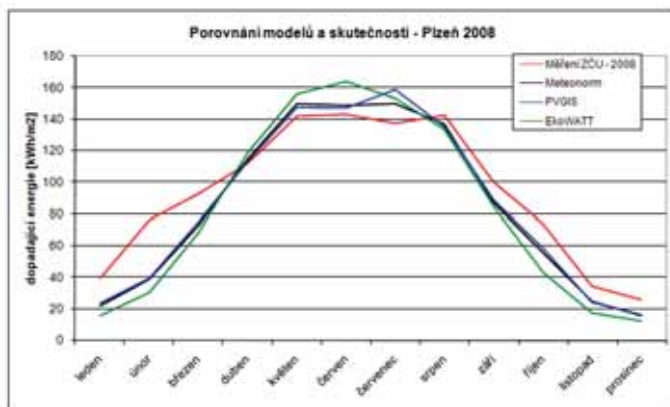
Lze říci, že shoda modelů je velmi dobrá, odchylky do 5 % jsou srovnatelné s přesností měření skutečně dopadající energie. V porovnání s kolísáním dopadající energie v jednotlivých letech, kdy se od sebe jednotlivé roky liší do 10 %, je přesnost modelů dostačující.

5.4. Výsledky modelů a naměřené hodnoty

Výsledky modelů lze porovnat se skutečně naměřenými hodnotami. Bohužel, k dispozici je jen málo dat.



Obrázek 14: Srovnání výsledků různých modelů pro Prahu s měřenými hodnotami z let 2003-2009.



Obrázek 15: Srovnání výsledků různých modelů pro Plzeň s hodnotami roku 2008.

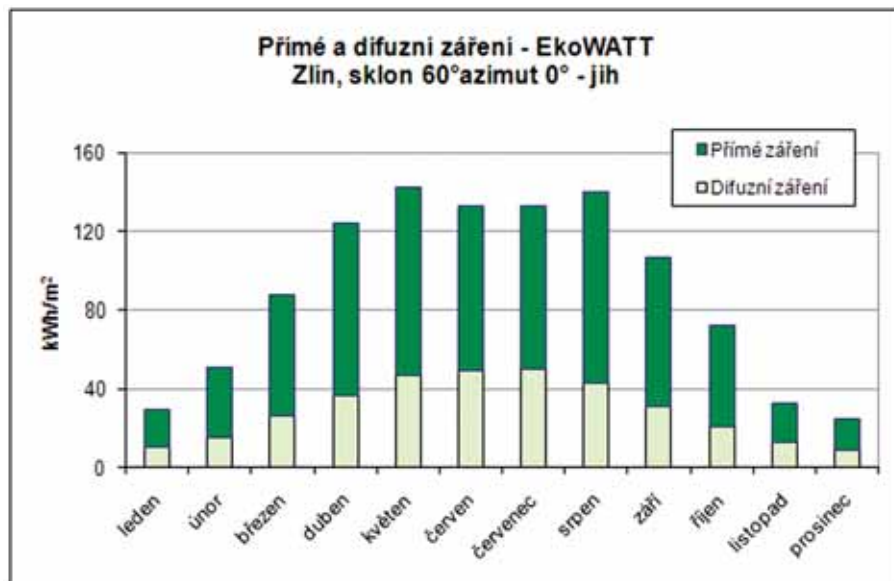
5. STANOVENÍ DOPADAJÍCÍ SLUNEČNÍ ENERGIE

Z obrázku 14 je dobře vidět, že zatímco shoda modelů je poměrně dobrá, rozptýl reálných hodnot jednotlivých let je výrazně větší. Je třeba zdůraznit, že roky 2003 až 2009 byly z hlediska dopadající sluneční energie nadprůměrné, přičemž v roce 2003 byly tyto hodnoty nejvyšší za posledních 10 let. Naopak rok 2008 (viz obr. 15) byl z tohoto hlediska jeden z nejslabších v poslední dekádě.

Lze říci, že modely dávají spíše horší výsledky, než lze ve skutečnosti očekávat. To je dáno trendem posledních let, kdy je sluneční energie více, než je dlouhodobý průměr. Je otázka, zda je tento trend trvalý, nebo jde o krátkodobé zvýšení. Používání pesimističtějších odhadů je na straně bezpečnosti výpočtu.

5.5. Přímé a difuzní záření

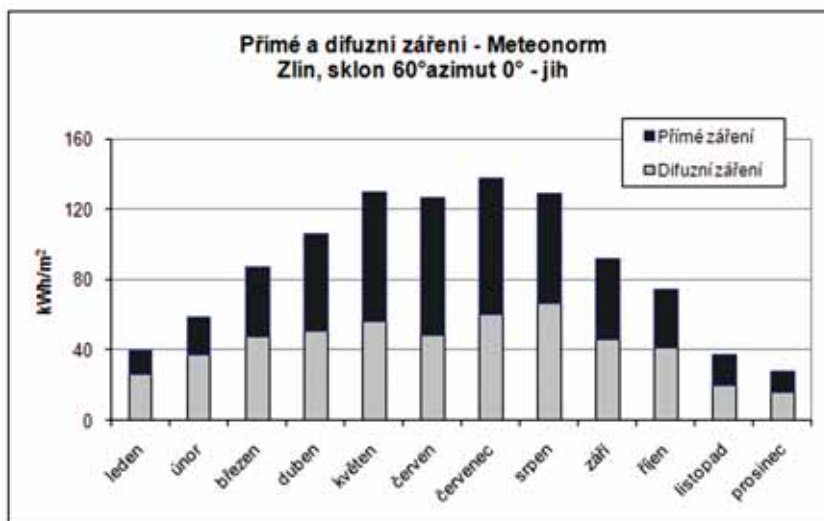
Jednotlivé modely se liší i při stanovení podílu přímého a difuzního záření. To je důležité při stanovování produkce s použitím fotovoltaiky na bázi amorfního křemíku. Pro srovnání modelů se skutečností byla porovnána data o produkci FVE na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně. K dispozici jsou však data pouze za několik měsíců roku 2009. V tomto roce byl nadprůměrně slunný duben, naopak únor a březen byly podprůměrné. Tomu odpovídá i poměr přímého a difuzního záření. Skutečně měřené hodnoty se spíše shodují s modely PVGIS a Meteonorm.



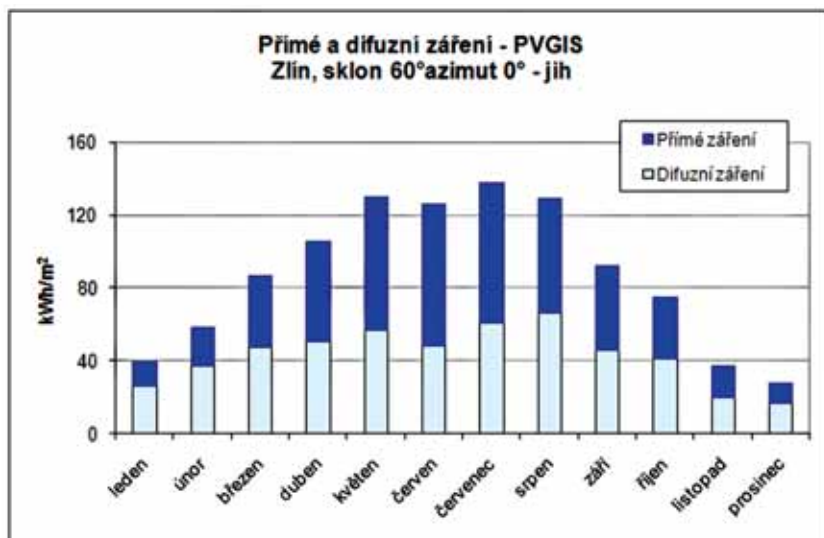
Obrázek 16: Poměr přímého a difuzního záření – model EkoWATT.

FOTOVOLTAIKA V BUDOVÁCH

5. STANOVENÍ DOPADAJÍCÍ SLUNEČNÍ ENERGIE

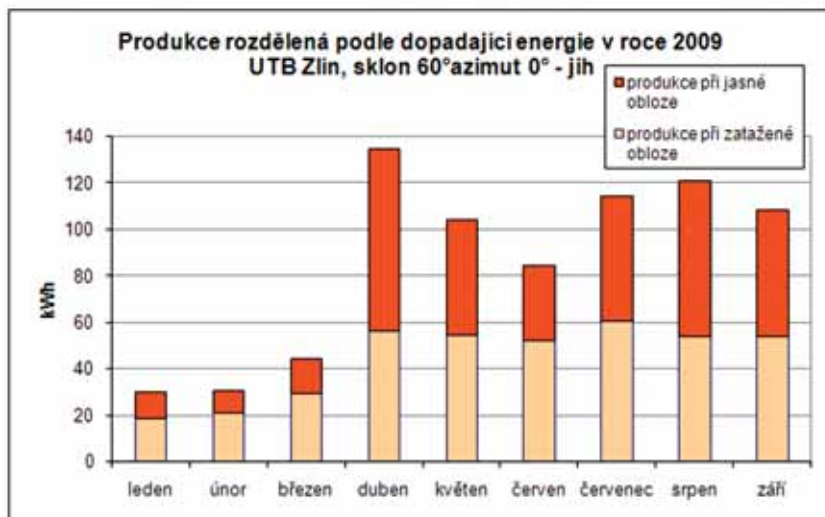


Obrázek 17: Poměr přímého a difuzního záření – model Meteonorm.



Obrázek 18: Poměr přímého a difuzního záření – model PVGIS.

5. STANOVENÍ DOPADAJÍCÍ SLUNEČNÍ ENERGIE



Obrázek 19: Poměr produkce připadající na přímé a difuzní záření.

| | EkoWATT | Meteonorm | PVGIS | produkce UTB v roce 2009 |
|---------------|---------|-----------|-------|--------------------------|
| leden | 0,38 | 0,67 | 0,70 | 0,39 |
| únor | 0,30 | 0,64 | 0,63 | 0,32 |
| březen | 0,31 | 0,55 | 0,60 | 0,35 |
| duben | 0,30 | 0,48 | 0,55 | 0,58 |
| květen | 0,33 | 0,44 | 0,54 | 0,48 |
| červen | 0,38 | 0,38 | 0,56 | 0,38 |
| červenec | 0,38 | 0,44 | 0,51 | 0,47 |
| srpen | 0,31 | 0,52 | 0,53 | 0,55 |
| září | 0,29 | 0,50 | 0,55 | 0,50 |
| říjen | 0,30 | 0,55 | 0,56 | |
| listopad | 0,39 | 0,54 | 0,70 | |
| prosinec | 0,39 | 0,60 | 0,76 | |
| Celkem za rok | 0,33 | 0,50 | 0,57 | |

Tabulka 3: Poměr difuzního a přímého záření pro různé modely a měřená skutečnost roku 2009.

5.6. Vliv sklonu a orientace

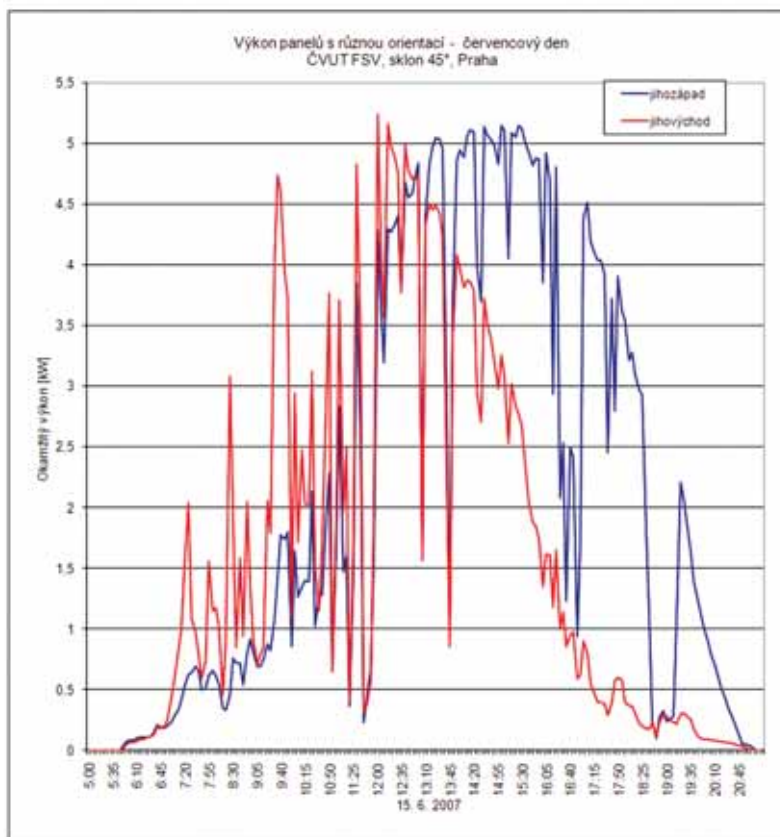
Pokud chceme zachytit maximum dopadajícího slunečního záření, musíme použít pohyblivou konstrukci (tracker), která bude panely natáčet za sluncem tak, aby záření dopadalo vždy kolmo na panely. Instalace trackerů na budovy se šikmou střechou nepřichází v úvahu. Montáž trackerů na plochou střechu je teoreticky možná. Problémem je však dostatečné ukotvení

FOTOVOLTAIKA V BUDOVÁCH

5. STANOVENÍ DOPADAJÍCÍ SLUNEČNÍ ENERGIE

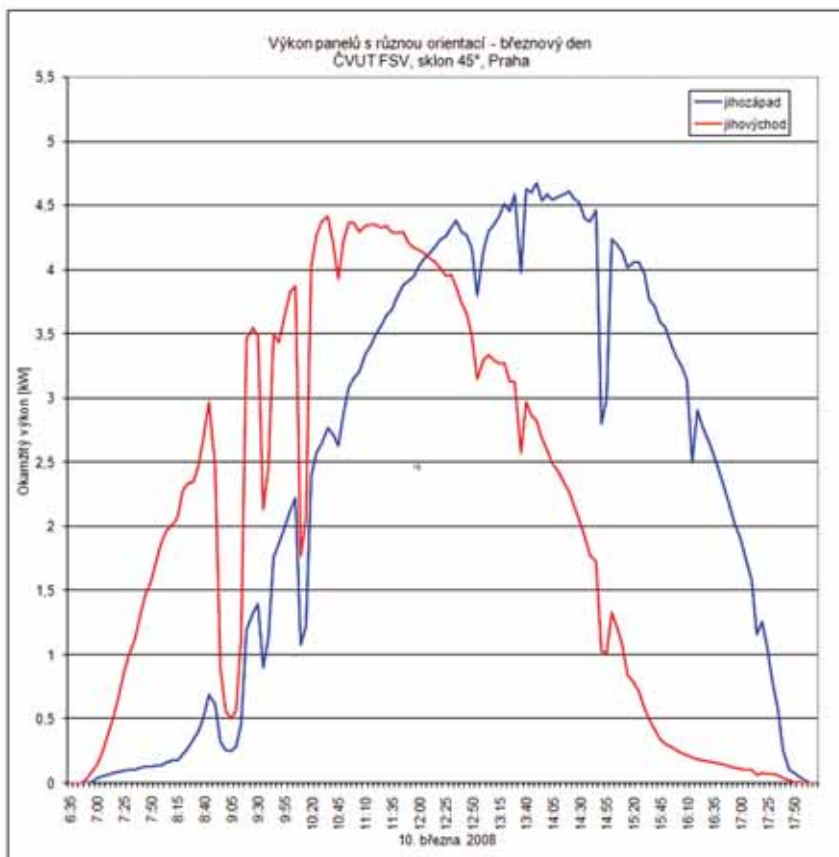
trackeru do střechy, kvůli silnému namáhání větrem, a zejména také zásadní změna vzhledu budovy. Větším problémem je změna vzhledu budovy. Kompromisem by v některých případech mohlo být použití jednoosého trackeru, s osou v daném sklonu, který naklápí panely během dne od východu k západu. V ČR se s takovou konstrukcí setkáváme zatím jen u instalací na volné ploše.

U budov tedy předpokládáme umístění FVE s pevnou orientací a sklonem. Pro celou ČR je optimální sklon 35° (rozdíl mezi nejsevernějším a nejižnějším místem lze zanedbat). Optimální orientace je na jih, přičemž odchyłka k západu je výhodnější než k jihovýchodu. To je dáno tím, že v dopoledních hodinách je obvykle větší oblačnost, takže dopadající energie je menší. Dobře je to vidět v grafech které porovnávají produkci FVE (umístěné na FSV ČVUT v Praze) s orientací na JV a JZ, obě FVE mají sklon 45° .



Obrázek 20: Výkon panelů s orientací JV a JZ za polojasného letního dne.

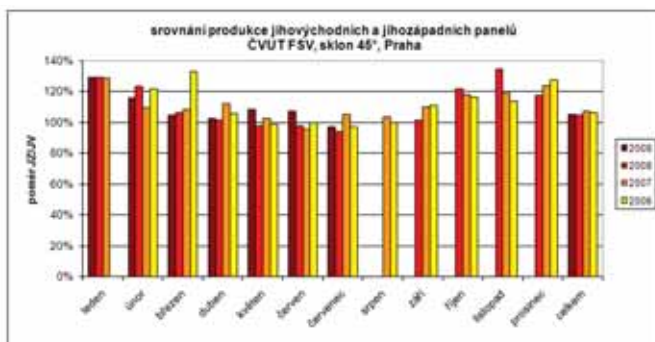
5. STANOVENÍ DOPADAJÍCÍ SLUNEČNÍ ENERGIE



Obrázek 21: Výkon panelů s orientací JV a JZ za jasného jarního dne.

Při dlouhodobějším srovnání produkce JV a JZ orientovaných panelů je vidět, že jihozápadní panely mají většinu roku vyšší produkci než jihovýchodní. Pouze v letních měsících je produkce jihovýchodních panelů vyšší nebo stejná jako u jihozápadních. To je dáno tím, že v odpoledních hodinách má venkovní vzduch vyšší teplotu, takže účinnost JZ panelů se snižuje. V celoročním srovnání pak mají jihozápadně orientované panely o 5 až 7 % vyšší produkci než jihovýchodní.

5. STANOVENÍ DOPADAJÍCÍ SLUNEČNÍ ENERGIE



Obrázek 22: Produkce panelů s různou orientací v jednotlivých letech-Praha.

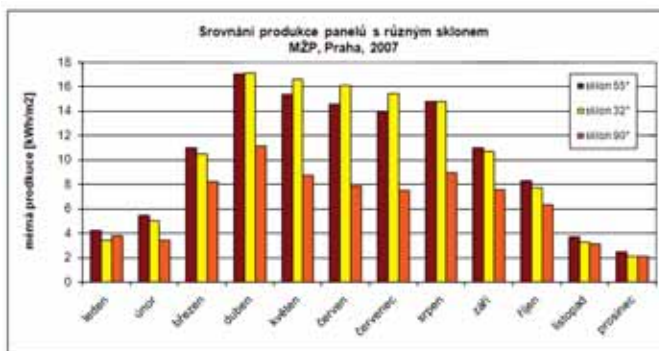
Podobně při porovnání produkce panelů se stejnou orientací, ale různým sklonem se ukazuje, že teoretický předpoklad ideálního sklonu 35° je správný. Při srovnání produkce různě skloněných panelů na FVE na budově MŽP v Praze se ukazuje, že snížení produkce panelů ve sklonu 55° je oproti panelům s ideálním sklonem 32° velmi malé, menší než je předpoklad modelů. Naopak produkce panelů umístěných svise je nižší, než by odpovídalo menší dopadající energii (dle předpokladu modelů). To je zřejmě způsobeno i zhoršením účinnosti panelů umístěných na fasádě, které se hůře ochlazují a proto mají vyšší teplotu a tím horší účinnost.

| | | sklon 32° | sklon 55° | sklon 90° |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| MŽP-Praha | poměr produkce v roce 2007 | 100% | 99% | 64% |
| poměr dopadající energie dle modelů | EkoWATT | 100% | 96% | 76% |
| | PVGIS | 100% | 92% | 68% |
| | Meteonorm | 100% | 92% | 70% |

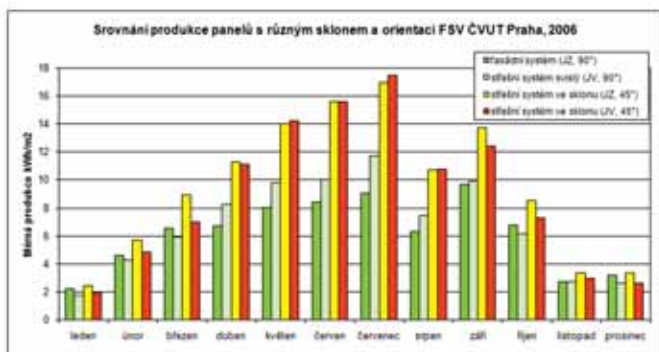
Tabulka 4: Srovnání vlivu různého sklonu panelů na budově MŽP-Praha.

FOTOVOLTAIKA V BUDOVÁCH

5. STANOVENÍ DOPADAJÍCÍ SLUNEČNÍ ENERGIE



Obrázek 23: Měrná produkce panelů se shodnou orientací a různým sklonem – MŽP ČR.



Obrázek 24: Měrná produkce panelů s různou orientací a různým sklonem – FSV ČVUT.

| PVGIS | | Sklon | | | | | |
|-----------|--------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|
| orientace | | 0° | 20° | 35° | 45° | 60° | 90° |
| Z | 90° | 88,8% | 86,2% | 82,9% | 79,2% | 71,7% | 51,0% |
| ZJZ | 67,5° | 88,8% | 91,4% | 89,7% | 87,1% | 80,4% | 56,7% |
| JZ | 45° | 88,8% | 95,7% | 94,8% | 93,1% | 87,1% | 63,9% |
| JJZ | 22,5° | 88,8% | 97,4% | 98,3% | 97,4% | 91,4% | 67,1% |
| J | 0° | 88,8% | 97,4% | 100,0% | 98,3% | 92,2% | 67,9% |
| JJV | -22,5° | 88,8% | 97,4% | 98,3% | 97,4% | 91,4% | 66,9% |
| JV | -45° | 88,8% | 95,7% | 94,8% | 93,1% | 87,1% | 63,8% |
| VJV | -67,5° | 88,8% | 91,4% | 89,7% | 87,1% | 80,3% | 58,4% |
| V | -90° | 88,8% | 86,2% | 82,9% | 79,2% | 71,7% | 50,9% |

Tabulka 5: Poměr dopadajícího záření pro různý sklon a orientaci panelů (Praha) – model PVGIS.

FOTOVOLTAIKA V BUDOVÁCH

5. STANOVENÍ DOPADAJÍCÍ SLUNEČNÍ ENERGIE

| Meteonorm | | Sklon | | | | | |
|-----------|--------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|
| orientace | | 0° | 20° | 35° | 45° | 60° | 90° |
| Z | 90° | 91,3% | 91,0% | 87,8% | 84,5% | 78,1% | 60,5% |
| ZJZ | 67,5° | 91,3% | 94,8% | 93,7% | 91,2% | 85,3% | 66,4% |
| JZ | 45° | 91,3% | 97,8% | 98,1% | 96,3% | 90,6% | 70,2% |
| JJZ | 22,5° | 91,3% | 99,2% | 100,3% | 98,6% | 92,9% | 71,2% |
| J | 0° | 91,3% | 99,0% | 100,0% | 98,2% | 92,3% | 70,0% |
| JJV | -22,5° | 91,3% | 97,4% | 97,5% | 95,4% | 89,2% | 67,5% |
| JV | -45° | 91,3% | 94,4% | 93,0% | 90,4% | 83,8% | 63,3% |
| VJV | -67,5° | 91,3% | 90,5% | 87,3% | 83,8% | 76,9% | 58,0% |
| V | -90° | 91,3% | 86,5% | 81,2% | 77,0% | 69,7% | 52,4% |

Tabulka 6: Poměr dopadajícího záření pro různý sklon a orientaci panelů (Praha) – model Meteonorm.

| EkoWATT | | Sklon | | | | | |
|-----------|--------|-------|-------|---------------|--------|-------|-------|
| orientace | | 0° | 20° | 35° | 45° | 60° | 90° |
| Z | 90° | 83,5% | 81,8% | 79,3% | 77,2% | 73,2% | 61,3% |
| ZJZ | 67,5° | 83,5% | 87,3% | 87,7% | 86,7% | 83,2% | 69,2% |
| JZ | 45° | 83,5% | 92,0% | 94,5% | 94,2% | 90,9% | 74,3% |
| JJZ | 22,5° | 83,5% | 94,9% | 98,7% | 98,7% | 95,3% | 76,3% |
| J | 0° | 83,5% | 95,8% | 100,0% | 100,1% | 96,4% | 76,5% |
| JJV | -22,5° | 83,5% | 94,8% | 98,6% | 98,5% | 95,0% | 76,0% |
| JV | -45° | 83,5% | 91,7% | 94,2% | 93,8% | 90,4% | 73,7% |
| VJV | -67,5° | 83,5% | 87,3% | 87,7% | 86,7% | 83,2% | 69,2% |
| V | -90° | 83,5% | 81,5% | 78,8% | 76,6% | 72,4% | 60,9% |

Tabulka 7: Poměr dopadajícího záření pro různý sklon a orientaci panelů (Praha) – model EkoWATT.

6. ÚČINNOST A ZTRÁTY

6. Účinnost a ztráty

Zatímco účinnost panelů a konvertorů je známa a pečlivě sledována, velikost ostatních ztrát se stanovuje více či méně přesným odhadem. Pokud výši ztrát podceníme, bude produkce elektřiny ve skutečnosti nižší. To vždy zhorší ekonomické parametry projektu, v nehorším případě může dojít i ke krachu.

Z dat, která jsou k dispozici z jednotlivých FVE lze určit pouze celkovou účinnost PVE, tj. poměr dopadající solární energie a vyrobené elektřiny. Rozlišit, která část připadá např. na ztráty odrazem, není z dostupných dat možné.

6.1. Účinnost panelů

U panelů s články z monokrystalického a polykrystalického křemíku se s rostoucí teplotou panelů zhoršuje jejich účinnost. U panelů z amorfního křemíku je pokles účinnosti s teplotou méně výrazný. Ve všech sledovaných FVE byly použity panely s články z monokrystalického křemíku.

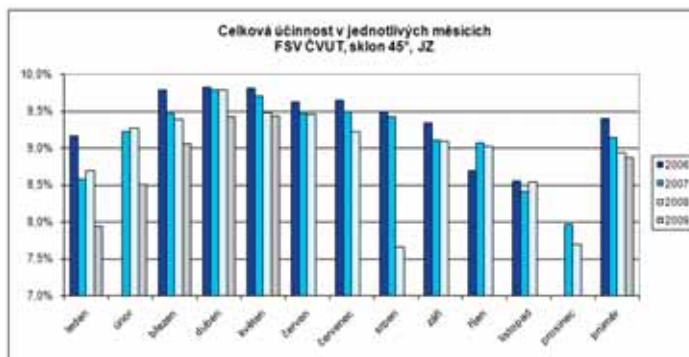
Data získaná z provozu FVE nejsou dostatečně přesná pro ověření skutečného průběhu účinnostní křivky. Lze vysledovat trend nižší produkce u panelů umístěných na fasádě oproti panelům s dobře ochlazovanou zadní stranou. Viz předchozí kapitola, obr. 24. Tento trend potvrzuje výše uvedený předpoklad poklesu produkce při vyšší teplotě.

Jiný trend ukazuje nižší účinnost panelů v zimních měsících, což ukazuje na skutečnost, že použité monokrystalické panely lépe zpracovávají přímé záření nežli difuzní, které v zimních měsících převažuje. Opět je však třeba zdůraznit, že provozní data nejsou dostatečně přesná pro jednoznačné závěry.

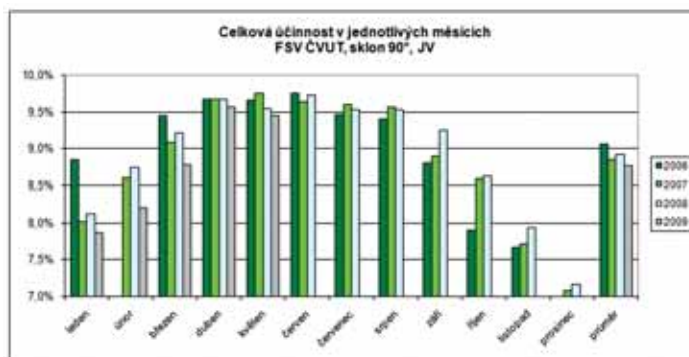


Obrázek 25: Příklad účinnostní křivky.

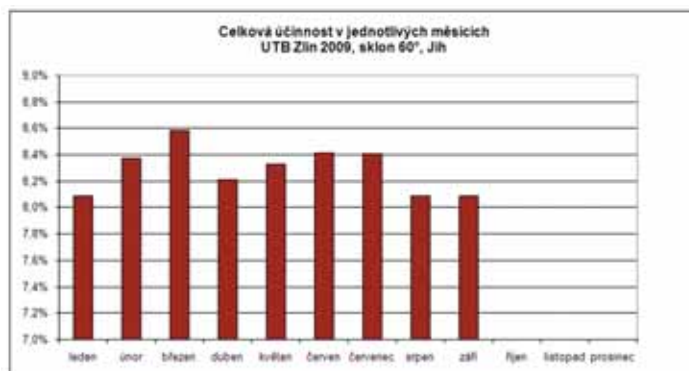
6. ÚČINNOST A ZTRÁTY



Obrázek 26: Průběh účinnosti v jednotlivých měsících – Praha - jihozápad.



Obrázek 27: Průběh účinnosti v jednotlivých měsících – Praha, sklon 90°, jihovýchod.



Obrázek 28: Průběh účinnosti v jednotlivých měsících - Zlín, sklon 60°, jih.

6. ÚČINNOST A ZTRÁTY

6.2. Meziroční pokles výkonu

Výrobce panelů použitých na sledovaných FVE uvádí pokles výkonu o 0,8 % ročně. Trend klesající účinnosti je vidět na obr.26a 27 v předchozí kapitole. Data, která jsou k dispozici nejsou dostatečně přesná, aby bylo možno potvrdit, zda je skutečný pokles lepší nebo horší než uvádí výrobce.

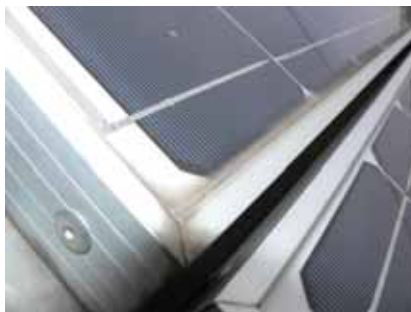
6.3. Vliv znečištění

U všech sledovaných elektráren neprobíhalo žádné čištění panelů od prachu a nečistot. Vliv na produkci nebyl pozorován. To potvrzuje i výzkumný projekt [3] prováděný společností Solartec s. r. o. v letech 2003–2005. Zde se porovnávala produkce dvou panelů téhož výkonu, umístěných ve stejných podmínkách. Na několika desítkách lokalit po celé ČR byly instalovány dva panely shodného výkonu, přičemž jeden z panelů se čistil jednou týdně ručním umytím a druhý panel se nečistil vůbec. Závěr projektu konstatoval, že vliv čištění panelů je malý. Průměrný rozdíl mezičištěným a nečištěným fotovoltaickým panelem byl 1,4%, se směrodatnou odchylkou 2,7 %.

Bylo konstатовáno, že „umytí“ panelů deštěm je z hlediska provozu dostatečné. Výjimkou je pouze holubí trus. Proto lze ve městech doporučit opatření proti holubům, např. instalaci bodců na horní hrany panelů.



Obrázek 29: Bodce proti holubům na FVE na budově MŽP ČR. Foto: EkoWATT



Obrázek 30: Nečistoty splavené deštěm vytvářejí pruh na spodní hraně panelu. Foto: EkoWATT

FOTOVOLTAIKA V BUDOVÁCH

6. ÚČINNOST A ZTRÁTY



Obrázek 31: Jeden z dvojice panelů, na kterých se testoval vliv znečištění. Foto: EkoWATT

7. POROVNÁNÍ PRODUKCE S PŘEDPOKLADY MODELŮ

7. Porovnání produkce s předpoklady modelů

Pokud porovnáme skutečnou produkci jednotlivých FVE s produkcí vypočtenou na základě jednotlivých modelů slunečního záření, můžeme ověřit přesnost těchto modelů.

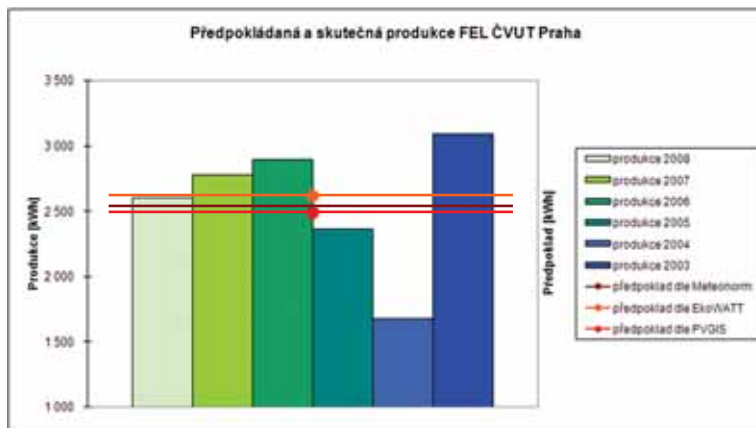
| | FEL ČVUT Praha | | MFF UK Praha | | SPŠE Mohelnice | | ZČU Plzeň | | FSV ČVUT Praha | | |
|------------|----------------|--------------|--------------|---------------|----------------|--------------|-------------|---------------|----------------|---------------|-------------|
| | [kWh] | [%] | [kWh] | [%] | [kWh] | [%] | [kWh] | [%] | [kWh] | [%] | |
| produkce | 2008 | 2 605 | 101% | 16 986 | 91% | 1 114 | 95% | 21 972 | 95% | 26 808 | 95% |
| | 2007 | 2 779 | 108% | 17 560 | 95% | 1 215 | 101% | 23 540 | 101% | 29 013 | 103% |
| | 2006 | 2 894 | 113% | 19 245 | 104% | 1 260 | 104% | 23 685 | 102% | 28 815 | 102% |
| | 2005 | 2 365 | 92% | 20 059 | 108% | 1 258 | 104% | 23 777 | 102% | | |
| | 2004 | 1 679 | 65% | 19 014 | 102% | 1 145 | 95% | | | | |
| | 2003 | 3 089 | 120% | | | 1 320 | 109% | | | | |
| | 2002 | | | | | 1 180 | 98% | | | | |
| | průměr | 2 569 | 100% | 18 573 | 100% | 1 186 | 100% | 23 244 | 100% | 23 244 | 100% |
| předpoklad | Meteororm | 2 490 | 97% | 18 678 | 101% | 1 201 | 99% | 22 334 | 96% | 27 722 | 98% |
| | EkoWATT | 2 616 | 102% | 18 856 | 102% | 1 263 | 104% | 21 998 | 95% | 28 578 | 101% |
| | PVGIS | 2 486 | 97% | 18 645 | 100% | 1 150 | 95% | 22 572 | 97% | 26 679 | 95% |

Tabulka 8: Porovnání modelů se skutečnou produkcí různých FVE.

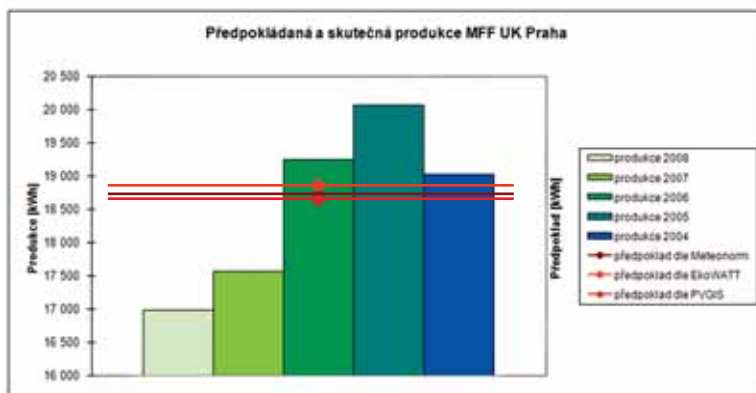
FOTOVOLTAIKA V BUDOVÁCH

7. POROVNÁNÍ PRODUKCE S PŘEDPOKLADY MODELŮ

Srovnávané modely dopadající sluneční energie se ve výsledcích liší nejvýše o $\pm 4\%$. Produkce srovnávaných PVE kolísá běžně v rozsahu -9% až $+8\%$. Je tedy zřejmé, že přesnost modelů je pro odhad budoucí produkce dostatečná.



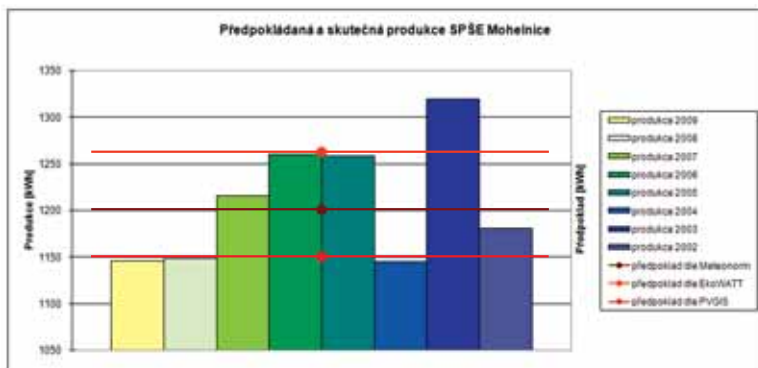
Obrázek 32: Srovnání modelu se skutečnou produkcí – FEL ČVUT Praha.



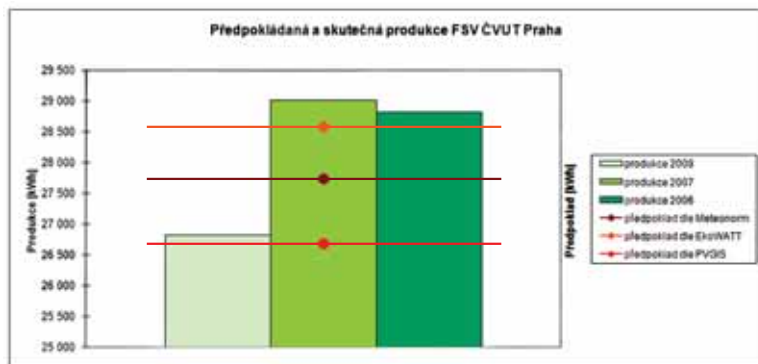
Obrázek 33: Srovnání modelu se skutečnou produkcí – MFF UK Praha.

FOTOVOLTAIKA V BUDOVÁCH

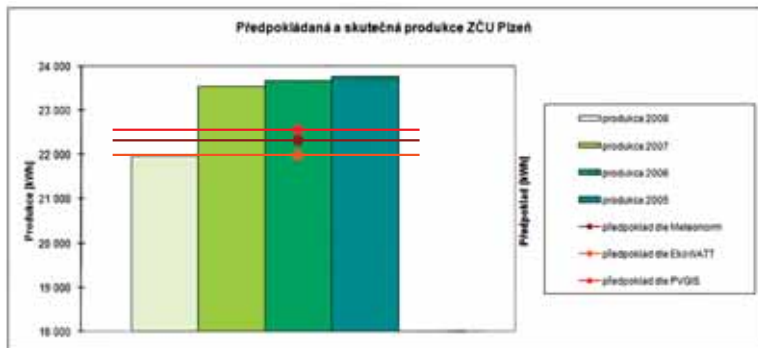
7. POROVNÁNÍ PRODUKCE S PŘEDPOKLADY MODELŮ



Obrázek 34: Srovnání modelu se skutečnou produkcí – SPŠE Mohelnice.



Obrázek 35: Srovnání modelu se skutečnou produkcí – FSV ČVUT Praha.



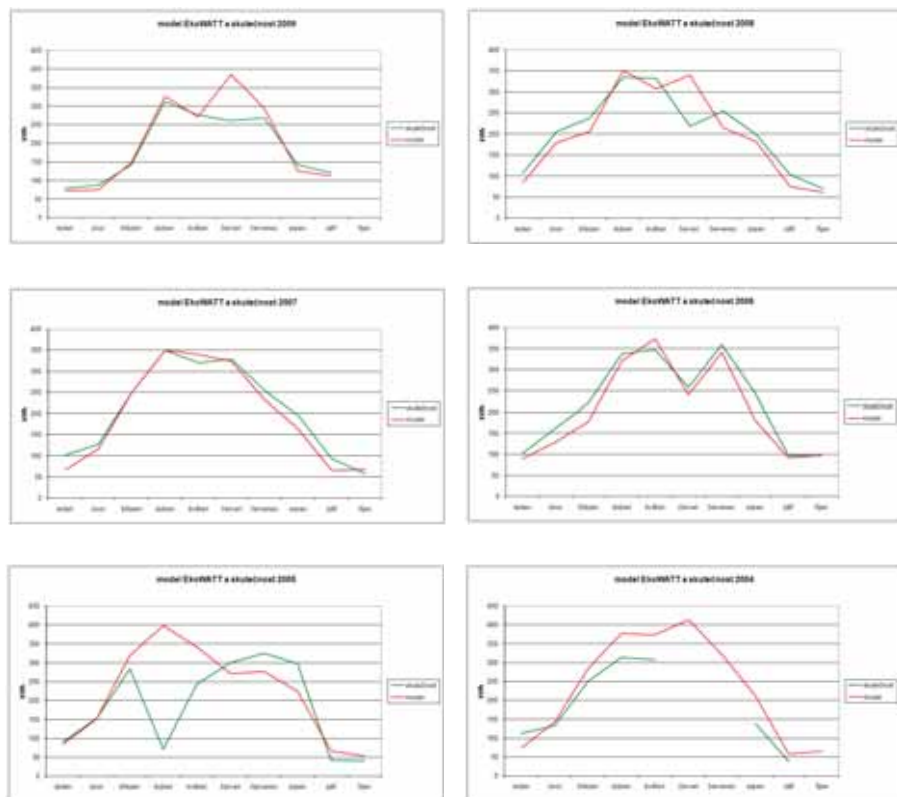
Obrázek 36: Srovnání modelu se skutečnou produkcí – ZČU Plzeň.

8. ZPĚTNÉ MODELOVÁNÍ

8. Zpětné modelování

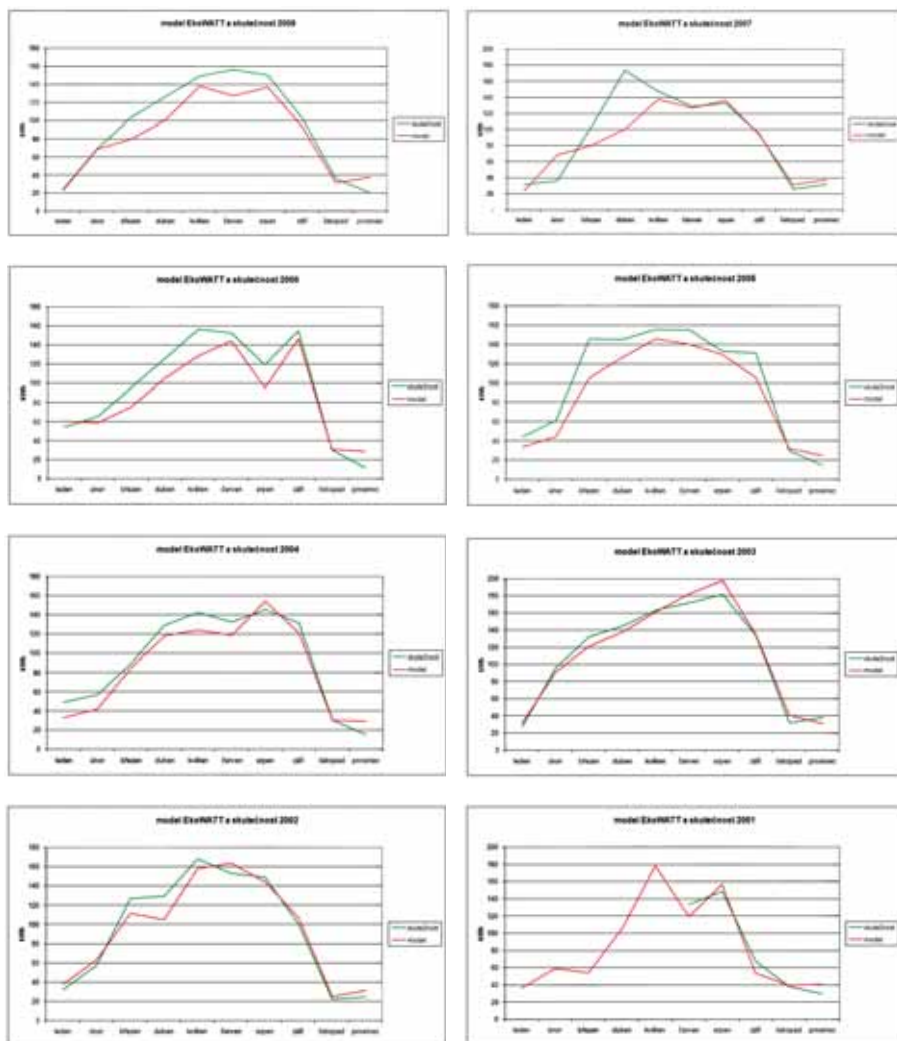
Někdy se lze setkat s požadavkem porovnat skutečnou produkci FVE s předpokladem výpočtu. Nejčastěji jde o případ, kdy se hotová FVE, která je v provozu několik měsíců, prodává novému majiteli. Ten potřebuje prověřit, zda proklamované výnosy v budoucnu skutečně nastanou.

V tomto případě lze použít zpětné modelování, kdy reálnou (měřenou) produkci FVE porovnáme se skutečností jednotlivých měsíců (podrobnější modelování po dnech nebo dokonce po hodinách není potřeba). Z uváděných modelů umožní zpětné modelování pouze model EkoWATT. Níže je uvedeno několik příkladů zpětného modelování, ze kterých je vidět, že shoda modelu se skutečnou produkcí je dostatečně přesná. Zpětné modelování lze použít i v případě, že nejsou k dispozici data z části roku. Z průběhu křivek lze snadno určit, kdy FVE nepracovala standardně. Model dokáže uspokojivě postihnout rozdílný průběh dopadající solární energie v konkrétním roce.



Obrázek 37: Zpětné modelování produkce – FEL ČVUT Praha.

8. ZPĚTNÉ MODELOVÁNÍ



Obrázek 38: Zpětné modelování produkce- SPŠE Mohelnice.

9. ZÁVĚR

9. Závěr

Informace získané z provozu stávajících FVE potvrdily, že modely používané pro návrh elektrárny pracují s dostatečnou přesností. Validace modelů zvyšuje spolehlivost energetických auditů a studií proveditelnosti. To zvyšuje jistotu investorů. Přesto lze doporučit, v rámci studie proveditelnosti zpracovat citlivostní analýzu na riziko nižší produkce.

Projekt dále potvrdil spolehlivost zpětného modelování, které lze využít pro ověření produkce FVE, která je v provozu pouze několik měsíců. Ukazuje se, že zpětné modelování lze využít i v případech, že z nějakého důvodu nejsou k dispozici kompletní data za určité časové období. Autor věří, že tyto a další informace v této publikaci pomohou dalšímu rozvoji fotovoltaických elektráren na budovách, protože právě zde je velký potenciál pro rozvoj.

10. PODĚKOVÁNÍ

10. Poděkování

EkoWATT děkuje za podporu Ministerstvu životního prostředí.

Autor děkuje za spolupráci na projektu (v abecedním pořadí):

Ing. Kamila Staňkovi z Fakulty stavební ČVUT v Praze

Doc. Ing. Janu Škorpilovi, CSc. ze Západočeské univerzity v Plzni

Doc. RNDr. Jiřímu Touškovi, CSc., z MFF UK v Praze

Ing. Martinu Vašinovi, PhD. z Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně

Mgr. Janu Vojtíškovi z Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem

Ing. Miroslavu Vránkovi z MŽP ČR

Seznam literatury

- [1] Vaniček, K. a kol.: Popis pole globálního záření na území České republiky v období 1984–1993. Národní klimatický program České republiky, Praha 1994.
- [2] Vaniček, K., Čeněk, J., Reichrt, J.: Sluneční záření na území ČSSR. MLVH ČR ve spolupráci a DT ČSVTS Pardubice, Pardubice 1985.
- [3] Tomíčková, M. a kol: Výzkum vlivu znečištění povrchů fotovoltaických panelů na generovaný výkon v podmínkách ČR, Solartec s. r. o. (zpráva s výsledkyřešení projektu VaV 320/13/03 „Výzkum vlivu znečištění atmosféry na snížení výkonu FV instalací a rozdílnost znečištění v regionech a městech ČR v závislosti na způsobu umístění FV instalací“).
- [4] Ing. Martin Molhanec ,M. Macháček, Z.: Sběr fotovoltaických dat ze solárních panelů na ČVUT FEL Praha.
- [5] Staněk, K.: Fotovoltaický systém ovýkonu 40,9 kW_p na Fakultě stavební, ČVUT v Praze (dílní výzkumná zpráva VZ04 č. 1 / 2007), ČVUT, Praha, 2007.
- [6] Staněk, K., Tywoniak, J.: Realizace FV systému na Fsv – energetické a stavebně-fyzikální souvislosti. ČVUT, Praha.
- [7] Kol.: Atlas podnebí Česka, ČHMÚ, 2006, Praha
- [8] Český hydrometeorologický ústav [online]: CHMÚ, 2009 [cit. 2009-04-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.chmi.cz>>.
- [9] PVGIS [online]: European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy, Renewable Energy Unit, 2008 [cit. 2008-11-08]. Dostupný z WWW: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>>.
- [10] Meteoronorm 6.1 [CD]: Meteotest, 2008 [cit. 2009-02-02].
- [11] Staněk, K.: Fotovoltaika pro budovy – přehled technologie. ČVUT, Praha, nedatováno.
- [12] Šúri M., Huld T.A., Dunlop E.D. Ossenbrink H.A., 2007. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. Solar Energy, 81, 1295–1305, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.

Systém na budově MŽP ČR v Praze

Celá elektrárna je tvořena několika poli fotovoltaických panelů. Nejmenší část panelů je umístěna svisle na fasádu budovy (střešní nástavba), další dvě části mají sklon 32° a 55°. Jsou umístěna konstrukci kotvené do atiky budovy. Konstrukce umožňuje otočení panelů na vnitřní stranu atiky, pro případ opravy.



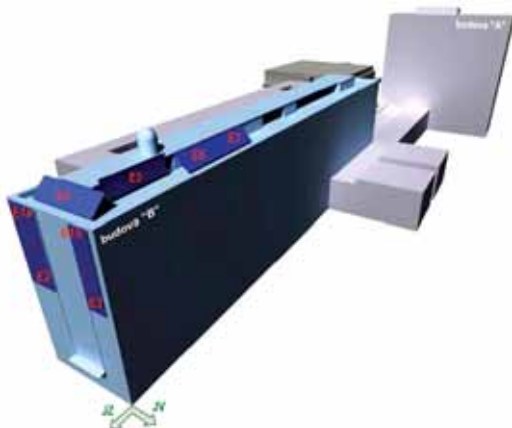
Obrázek 39: Fotovoltaický systém na budově MŽP ČR v Praze. Foto: EkoWATT

| pole | horní řady | dolní řady | fasáda | celkem |
|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
| poloha | JJV (-18°), 32° | JJV (-18°), 55° | JJV (-18°), 90° | |
| umístění | střecha | střecha | fasáda | |
| počet panelů [ks] | 100 | 100 | 44 | 244 |
| plocha [m ²] | 86,5 | 86,5 | 38,0 | 211 |
| instal. výkon [kW] | 10,6 | 10,6 | 4,6 | 25,8 |

System na budově FSV ČVUT v Praze

Jde o největší univerzitní fotovoltaický systém v ČR. Elektrárna je rozdělena do sedmi polí. První tři pole jsou na fasádě objektu, zbývající jsou na střeše a nosné konstrukci s různým sklonem a orientací. Díky tomu bylo možno porovnat např. rozdíl mezi jihovýchodní a jihozápadní orientací panelů.

| pole | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | celkem |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------|
| poloha | JZ, 90° | JZ, 90° | JZ, 90° | JZ, 45° | JV, 90° | JV, 45° | JV, 45° | |
| umístění | fasáda | fasáda | fasáda | střecha | střecha | střecha | střecha | |
| počet panelů [ks] | 56 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 30 | 386 |
| plocha [m ²] | 48 | 51,4 | 51,4 | 51,4 | 51,4 | 51,4 | 25,7 | 330,7 |
| instal. výkon [kW] | 5,936 | 6,360 | 6,360 | 6,360 | 6,360 | 6,360 | 3,180 | 40,916 |



Obrázek 40: Umístění jednotlivých polí FVE na budově FSV ČVUT v Praze. Zdroj: FSV ČVUT

Systém na budově FEL ČVUT v Praze

Jde o jeden z nejstarších univerzitních fotovoltaických systémů. Díky tomu jsou k dispozici data za relativně dlouhé období (od roku 2003). Data jsou na rozdíl od většiny ostatních univerzitních systémů přístupná on-line, viz: <http://andrea.feld.cvut.cz/fvs/>

| | |
|-------------------|---------|
| poloha | J, 45° |
| umístění | střecha |
| počet panelů [ks] | 30 |
| plocha [m²] | 26 |
| inst. výkon [kW] | 3 |



Obrázek 41: Instalace PV systému na FEL ČVUT v Praze. Foto: FEL ČVUT

System na budově MFF UK v Praze

System umístěný na konstrukci na střeše budovy, s orientací na jih a sklonem 45°. Data z provozu (od roku 2004) jsou na rozdíl od jiných univerzitních systémů přístupná on-line, viz: <http://kmf.troja.mff.cuni.cz/elektrarna2/>. Skládá se ze 192 panelů rozdělených na základní a experimentální část. Základní část je tvořena 162 panely o celkovém výkonu 17 kW_p, rozdělenými do 6 polí, z nichž každé je připojeno ke střídači dodávajícímu vyrobenou energii do sítě v budově objektu. Experimentální část je tvořena zbývajícími 30 panely a slouží především k účelům výuky a výzkumu.

| | základní | experimentální | celkem |
|--------------------------|----------|----------------|---------|
| poloha | J, 45° | J, 45° | J, 45° |
| umístění | střecha | střecha | střecha |
| počet panelů [ks] | 162 | 30 | 192 |
| plocha [m ²] | 139 | 26 | 165 |
| instal. výkon [kW] | 17 | 3 | 20 |



Obrázek 42: Instalace PV systému na MFF UK v Praze. Foto: EkoWATT

Systém na budově ZČU v Plzni

Systém je umístěn na konstrukci na střeše budovy, se sklonem 45°.Fotovoltaická elektrárna doplňuje další obnovitelné zdroje umístěné v těsné blízkosti.

| | |
|--------------------------|---------|
| poloha | J, 45° |
| umístění | střecha |
| počet panelů [ks] | 192 |
| plocha [m ²] | 166 |
| inst. výkon [kW] | 20 |



Obrázek 43: Fotovoltaický systém na budově ZČU v Plzni. Zdroj: Solartec s. r. o.

System na budově UTB ve Zlíně

System je umístěn na jižní fasádě budovy. Umístěním nad okny je vytvořena určitá markýza zastíňující okno zejména před letním osluněním. Panely mají sklon 60°. Při umístování bylo důležité, aby byl systém dobře viditelný.

| | |
|--------------------------|--------|
| poloha | J, 60° |
| umístění | fasáda |
| počet panelů [ks] | 12 |
| plocha [m ²] | 10,5 |
| inst. výkon [kW] | 1,2 |



Obrázek 44: Fotovoltaický systém na budově UTB ve Zlíně. Foto: UTB

Systém na budově UJEP v Ústí nad Labem

Systém je umístěn na konstrukci na střeše budovy, se sklonem 45°. Sestava panelů je rozdělena na 8 částí, z nichž každá je připojena ke svému střídači.

| | |
|--------------------------|---------|
| poloha | J, 45° |
| umístění | střecha |
| počet panelů [ks] | 192 |
| plocha [m ²] | 166 |
| inst. výkon [kW] | 20 |



Obrázek 45: Fotovoltaický systém na budově UJEP v Ústí nad Labem. Zdroj: Solartec s. r. o.

System na budově SPŠE v Mohelnici

System je umístěn na konstrukci na ploché střeše budovy, se sklonem 45°. System je výjimečný tím, že na rozdíl od drtivé většiny jiných zařízení pořízených v rámci programu „Slunce do škol“ zveřejňuje data z provozu on-line a do počátku provozu v roce 2001. Viz: <http://www.spsemoh.cz/>.

| | |
|--------------------------|---------|
| poloha | J, 45° |
| umístění | střecha |
| počet panelů [ks] | 12 |
| plocha [m ²] | 10,3 |
| inst. výkon [kW] | 1,2 |



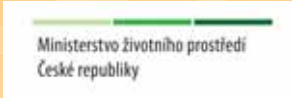
Obrázek 46: Fotovoltaický systém na budově SPŠE v Mohelnici. Foto: SPŠE



FOTOVOLTAIKA V BUDOVÁCH

**dosavadní zkušenosti
pro budoucí rozvoj**

Karel Srdečný


Ministerstvo životního prostředí
České republiky

**Projekt byl finančně podpořen
v grantovém řízení MŽP.
Materiál nemusí vyjadřovat
stanoviska MŽP.**

Vydal: **EkoWATT,**

centrum pro obnovitelné
zdroje a úspory energie

Švábky 2, 180 00 Praha 8

www.ekowatt.cz

978-80-87333-04-4

