

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**Přírodovědecká fakulta**

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (bakalářské studium)

Studijní obor: Geografie a kartografie



Tereza ENGLMAIEROVÁ

## **Analýza fotovoltaické využitelnosti vybraných území prostřednictvím nástrojů GIS**

**The Analysis of Photovoltaic Potential by Means of GIS in  
Model Area**

*Bakalářská práce*

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Brandýse nad Labem 22. května 2015

.....  
Tereza Englmaierová

### **Poděkování:**

Na prvním místě bych chtěla poděkovat vedoucímu mé práce Mgr. Jakubu Jarošovi za jeho věnovaný čas, cenné rady a připomínky. Dále bych chtěla poděkovat všem, kteří se velkou i menší měrou podíleli na získání potřebných dat k praktické části této práce. A v neposlední řadě svému příteli, rodině a přátelům, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

# **Analýza fotovoltaické využitelnosti vybraných území prostřednictvím nástrojů GIS**

## **Abstrakt**

Cílem bakalářské práce je prozkoumání problematiky fotovoltaické využitelnosti prostřednictvím nástrojů GIS. Teoretická část pojednává o fotovoltaike, fotovoltaičném jevu, podmínkách stavby fotovoltaičkých elektráren a o modelech GIS se zvláštním zaměřením na model Area Solar Radiation. Tento model je v praktické části uveden do praxe na třech testovacích územích v České republice. Metodika využívá nástrojů GIS, v programovém prostředí ArcGIS Desktop, volně dostupnou aplikaci PVGIS a databázi ČHMÚ.

**Klíčová slova:** fotovoltaika, solární elektrárna, GIS, model, Area Solar Radiation

## **The Analysis of Photovoltaic Potential by Means of GIS in Model Area**

### **Abstract**

The aim of the thesis is to investigate the issue of the photovoltaic utilization by means of tools of GIS. The teoretical part deals with photovoltaics, the photovoltaic effect, basic conditions and laws that need to be met in order to build a photovoltaic power station and the development and tools of GIS with special intend on Area Solar Radiation. The model is implementated in three test areas in the Czech Republic. The metodology uses tools of GIS in software environment ArcGIS Desktop, an open source application PVGIS and the ČHMÚ database.

**Keywords:** Photovoltaic, Photovoltaic Power Station, GIS, Model, Area Solar Radiation

# Obsah

Obsah.....	5
Přehled použitých zkratk.....	6
Seznam obrázků a grafů.....	7
Seznam tabulek.....	8
Seznam příloh.....	9
1 Úvod.....	10
2 Fotovoltaika.....	11
2.1 Princip fotovoltaické přeměny.....	11
2.2 Fotovoltaický panel.....	12
2.3 Základní FV systémy.....	12
2.4 Fotovoltaické elektrárny v ČR.....	12
3 Podmínky pro stavbu solárních elektráren v ČR.....	15
3.1 Fyzicko-geografické podmínky.....	15
3.2 Legislativní podmínky.....	18
3.3 Ostatní podmínky.....	19
4 Modely pro výpočet optimální lokality.....	20
4.1 Modely GIS.....	20
4.2 Area Solar Radiation.....	22
5 Aplikace geoinformatických metod na vybrané lokality.....	28
5.1 Zhodnocení současné situace zkoumaných elektráren.....	28
5.2 Aplikace modelu.....	29
5.3 Výsledky.....	32
6 Diskuse a závěr.....	39
6.1 Diskuse.....	39
6.2 Závěr.....	40
Seznam zdrojů.....	41
Přílohy.....	46

## **Přehled použitých zkratk**

**ČHMÚ** Český hydrometeorologický ústav

**ČR** Česká republika

**ČÚZK** Český Úřad Zeměměřický a Katastrální

**DEM** digital elevation model (digitální model terénu)

**EU** Evropská unie

**FV (PV)** fotovoltaický (z ang. photovoltaic)

**FVE** fotovoltaická elektrárna

**GIS** geografické informační systémy

**k. ú.** katastrální území

**OZE** obnovitelné zdroje energie

**QGIS** Quantum GIS

## Seznam obrázků a grafů

Obr. 1: Schéma fotovoltaického jevu.....	11
Obr. 2: Průměrný roční úhrn slunečního záření v České republice.....	13
Obr. 3: Globální záření a solární energetický potenciál – optimálně nakloněná plocha ....	14
Obr. 4: Roční průměrná doba slunečního záření v České republice.....	16
Obr. 5: Roční průměrný počet bezoblačných dní v České republice .....	18
Obr. 6: Sluneční mapa a viewshed .....	24
Obr. 7: Mapa oblohy .....	26
Obr. 8: Lokalizace vybraných území v rámci České republiky.....	32
Graf 1: Globální záření pro lokalitu 1 (a), lokalitu 2 (b) a lokalitu 3 (c) .....	33
Graf 2: Poměr difúzního a globálního záření pro lokalitu 1 (a), lokalitu 2 (b) a lokalitu 3 (c) .....	35
Graf 3: Trvání přímého záření.....	36
Graf 4: Optimální sklon panelu v průběhu roku podle PVGIS.....	38
Graf 5: Průměrné denní záření pro jednotlivé měsíce podle PVGIS.....	38

## Seznam tabulek

Tab. 1: Vstupní parametry modelu Area Solar Radiation .....	27
Tab. 2: Výstupy modelu Area Solar Radiation.....	27
Tab. 3: Vstupní parametry pro výpočet předpokladů aplikace PVGIS .....	30
Tab. 4: Charakteristika analyzovaných lokalit .....	31



## Seznam příloh

Příloha 1: Párový t-test v IBM SPSS 20 pro globální záření lokality 1.....	46
Příloha 2: Fotovoltaický potenciál lokality 1.....	47
Příloha 3: Fotovoltaický potenciál lokality 2.....	48
Příloha 4: Fotovoltaický potenciál lokality 3.....	49

# 1 Úvod

Podle Mezinárodní energetické agentury (IEA 2010) je solární energie komerčně dostupný a spolehlivý zdroj energie s významným potenciálem pro dlouhodobý růst v téměř všech regionech světa. V posledních letech se staví nejen malé fotovoltaické elektrárny na střechách budov, ale i rozsáhlé komplexy s vysokým energetickým výkonem. Mezinárodní energetická agentura předpokládá zvýšení poskytování energie z fotovoltaických zdrojů a to do roku 2030 na 5 % celosvětové produkce energie a roku 2050 na 11 %.<sup>1</sup> Sluneční záření je jeden z nešetrnějších způsobů výroby energie a lze s jeho využitím počítat i v budoucích letech. To jsou důvody, proč jsem si práci na toto téma vybrala. Cílem této práce je zhodnocení využitelnosti možností GIS k nalezení vhodné plochy pro stavbu velkých solárních elektráren a provést fotovoltaickou analýzu vybraných území právě pomocí GIS nástrojů.

Práce je rozdělena na dvě části. V první části práce jsou vysvětleny pojmy fotovoltaika, fotovoltaická přeměna a fotovoltaický panel. V dalších dvou kapitolách text pojednává o fotovoltaických elektrárnách a jejich omezeních při výstavbě. Jsou zde popsány fyzicko-geografické podmínky, dále legislativní úpravy, vliv ochrany životního prostředí a také vliv na zábor ploch, vše se zaměřením na Českou republiku. Čtvrtá kapitola představuje stávající solární modely pro prostředí GIS. Podrobněji je zde popsán model *Area Solar Radiation*, který zde bude hodnocen a v případě, že se ukáže jako spolehlivý, bude použit pro fotovoltaické hodnocení území v druhé části práce, kde bude také hodnocena současná poloha stávajících FVE.

Praktická část práce se zaměřuje na tři vybraná území v České republice. Jsou zde využita hodnocení z modelu *Area Solar Radiation*, *Point Solar Radiation*, volně dostupná aplikace *PVGIS* a data poskytnutá ČHMÚ.

---

<sup>1</sup> V roce 2010 poskytovala FV pouze 0,1 % z celkové výroby elektřiny.

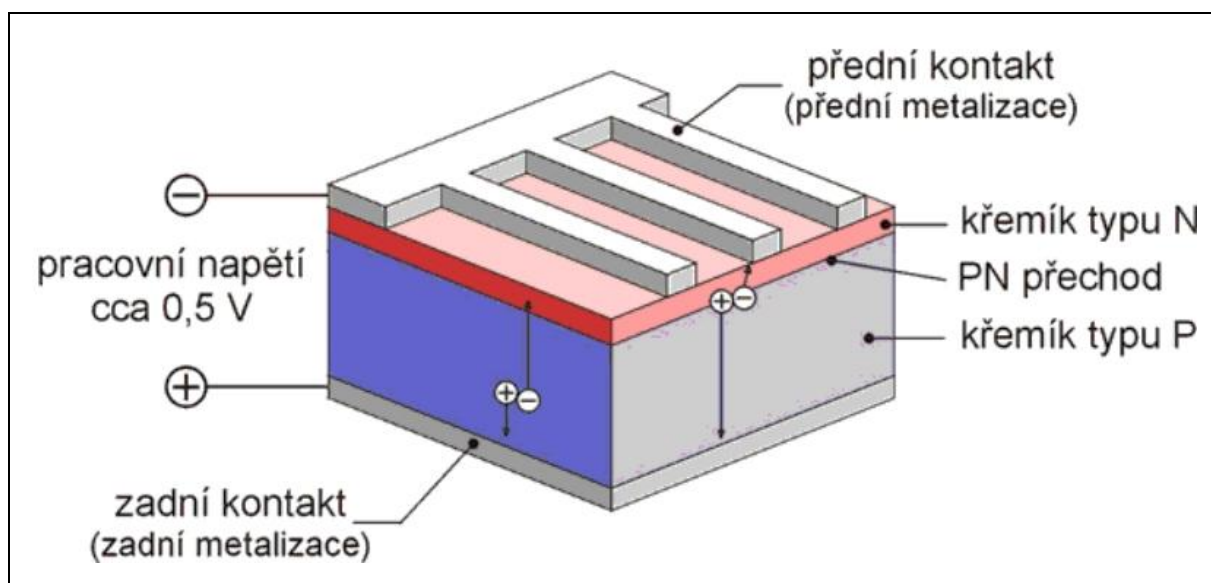
## 2 Fotovoltaika

Fotovoltaika je přímá metoda přeměny slunečního záření na elektřinu pomocí fotovoltaických článků a fotovoltaického jevu. Je jedním ze způsobů výroby elektrické energie s využitím obnovitelných zdrojů (EnerTec Solutions, s.r.o. 2014).

### 2.1 Princip fotovoltaické přeměny

Sluneční záření dopadá na destičky, nejčastěji křemíkové, s vodivostí typu P, na které je nanášena tenká vrstva polovodiče typu N (fotovoltaické články). Vzniká tedy přechod P-N, kde při osvětlení článku dochází k uvolňování záporných elektronů a vytváří se tak elektrické napětí. Napětí je dáno typem vodiče (např. u křemíkových destiček dosahuje napětí cca 0,5 V (Micronic 2009a)). Pro názornost je zde přiložen obrázek 1. Je-li třeba větší napětí nebo proud spojují se fotovoltaické články sériově či paralelně a vznikají fotovoltaické panely (Micronic 2009a, Česká agentura pro obnovitelné zdroje energie 2009).

**Obr. 1: Schéma fotovoltaického jevu**



Zdroj: Česká agentura pro obnovitelné zdroje energie (2009)

„Sluneční záření dopadající na povrch Země (po průchodu atmosférou) se skládá z fotonů různých vlnových délek...“ (Česká agentura pro obnovitelné zdroje energie 2009). „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 aspoň 1,12 eV. Této energii odpovídá tzv. mezní vlnová délka asi 1 105 nm - tedy infračervené záření. Fotony záření 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. Pokud je vlnová délka záření malá (fotony mají velkou energii), dochází k ohřevu a ztrátám.“ (Micronic 2009a).

## 2.2 Fotovoltaický panel

„Sériovým nebo i paralelním elektrickým propojením solárních článků vzniká po jejich zapouzdření fotovoltaický panel. Panel musí zajistit hermetické zapouzdření solárních článků, musí zajišťovat dostatečnou mechanickou a klimatickou odolnost (např. vůči silnému větru, krupobití, mrazu apod.). Konstrukce solárních panelů jsou značně rozmanité podle druhu použití. Obvykle jsou po obvodu FV panely opatřeny duralovými rámy pro zpevnění celé konstrukce fotovoltaického panelu a zároveň k usnadnění realizace uchycení panelů ke konstrukci FV systému. Přední krycí materiál je speciální kalené sklo, které odolává i silnému krupobití.“ (Česká agentura pro obnovitelné zdroje energie 2009). Průmyslově vyráběné solární panely můžeme rozdělit na čtyři druhy: monokrystalický článek, multikrystalický článek, polykrystalické substráty a tenkovrstvé články (Micronic 2009b).

## 2.3 Základní FV systémy

„Malé fotovoltaické systémy i větší elektrárny mohou být konstruovány jako ostrovní nebo síťové. Ostrovní PV systémy nejsou napojeny na rozvodnou síť a zásobují jen malou oblast, někdy to může být i jediný spotřebič. Spotřeba energie je potom limitována množstvím elektrické energie, kterou fotovoltaický systém vyrobí. Při konstrukci takového systému je třeba počítat s průměrnými hodnotami slunečního svitu v místě instalace, s celkovou spotřebou všech používaných zařízení i s účinností celého PV systému.“ (Libra a Poulek 2010, str. 32–33). Nemusíme se však spoléhat jen na průměrné hodnoty, ale je možné potenciál dané oblasti vypočítat relativně přesně pomocí GIS modelů.

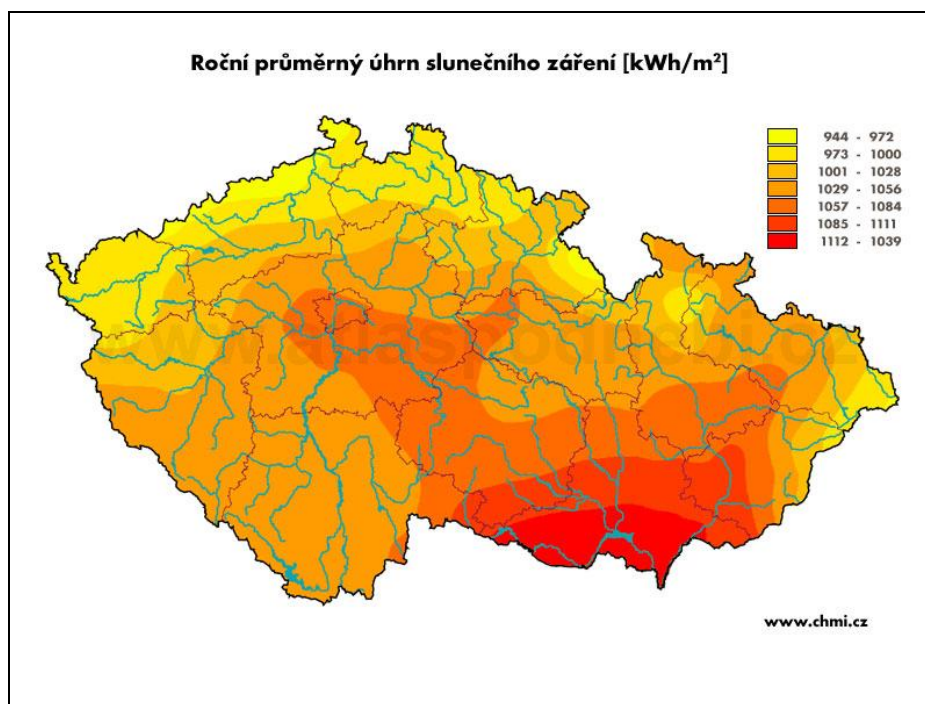
„Naproti tomu síťové PV systémy jsou napojeny na veřejnou rozvodnou síť, v době přebytku vlastního výkonu mohou ze sítě energii odebírat. Moderní síťové měniče renomovaných výrobců se samy automaticky sfázují se sítí (.....). Datový výstup umožňuje sledovat okamžitý dodávaný výkon (ve watttech) i celkové množství vyrobené elektrické energie (v joulech či kWh).“ (Libra a Poulek 2010, str. 33–34).

## 2.4 Fotovoltaické elektrárny v ČR

Solární elektrárny (výrobní elektrárny pomocí FV panelů) pracují v době, kdy v daném místě svítí Slunce. Množství dopadajícího slunečního záření je ovlivněno několika faktory,

např. zeměpisná šířka, roční doba, oblačnost, sklon povrchu, lokální podmínky a další. Jak nám ukazuje obrázek 2, ideální podmínky v České republice z energetického hlediska příjmu v globálním měřítku jsou především v okresech Znojmo, Břeclav a Hodonín.

**Obr. 2: Průměrný roční úhrn slunečního záření v České republice**

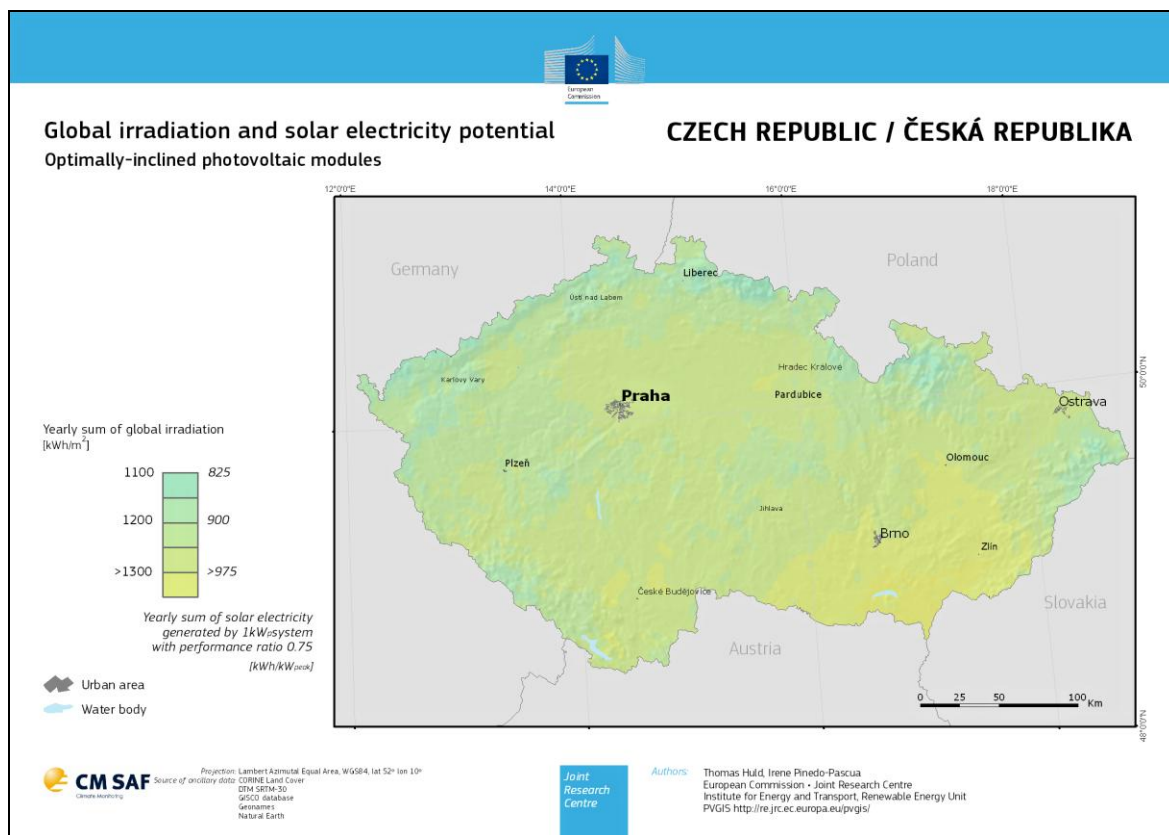


Zdroj: SOLARENVI a. s. (2014)

Poznámka: V České republice dopadne na 1 m<sup>2</sup> vodorovné plochy zhruba 950–1340 kWh energie, z toho největší část v letním období (cca 75 %).

Obrázek 3 nám ukazuje globální záření a energetický potenciál pro optimálně nakloněné plochy jak je vytvořila aplikace *PVGIS*. Podle mého názoru je tato ilustrace vhodnější pro detailnější zájem o území České republiky z hlediska fotovoltaické využitelnosti. Mapa dokazuje, že nejvhodnější území pro stavbu FV elektráren v problematice energetického příjmu není jen v oblasti jižně od Brna, ale i na dalších místech ČR, i když na meších souvislých plochách.

### Obr. 3: Globální záření a solární energetický potenciál – optimálně nakloněná plocha



Zdroj: JRC (2012c)<sup>2</sup>, vlastní úpravy

Poznámka: Data jsou průměrem hodnot z let 1998 – 2011. Všechny hodnoty jsou uvedeny v kWh/m<sup>2</sup>.

FV elektrárny jsou rozmístěny po celé České republice. Největší FV elektrárnou je *FVE Ralsko Ra 1* u Ralska v okrese Česká Lípa s celkovým výkonem téměř 40 MW (Fotovoltaické panely 2012). Druhou největší elektrárnou je *FVE Vepřek* s výkonem 35 MW a rozlohou 82,5 ha (Fotovoltaické panely 2012).

Mezi nesporné výhody FV elektráren obecně patří nízké provozní náklady, nevyčerpatelnost energie Slunce, úspory fosilních paliv či dlouhá životnost zařízení. Nevýhodami jsou vysoké prvotní investice, kolísání slunečního světla v čase a další (Solární energie.info 2014, Fotovoltaika 2014).

<sup>2</sup> Ochranná známka PVGIS © European Union, 2001-2012.

## 3 Podmínky pro stavbu solárních elektráren v ČR

Kromě fyzicko-geografických podmínek ovlivňují stavbu solárních elektráren technická vyspělost, legislativa a jiné. V následujících podkapitolách jsou popsány podrobněji.

### 3.1 Fyzicko-geografické podmínky

Při hodnocení lokality z hlediska fyzicko-geografických podmínek hrají důležitou roli dva základní přírodní faktory a to geomorfologické a solární podmínky.

„Při jasné a bezmračné obloze dopadá největší část slunečního záření na Zemi, aniž by změnilo směr. Toto záření se nazývá přímé. Rozptylem přímého záření v mracích a na částech v atmosféře vzniká záření difúzní, které na Zemi přichází ze všech směrů. Součet intenzity přímého a intenzity difúzního slunečního záření na horizontálním zemském povrchu se nazývá globální sluneční záření.

Z hlediska fotovoltaiky platí, že fotovoltaické panely složené z monokrystalických nebo polykrystalických fotovoltaických článků potřebují k dosažení maximální výtěžnosti zejména přímé záření, tedy přímé sluneční světlo. Tenkovrstvé fotovoltaické panely vyrobené na bázi amorfního křemíku, umějí dobře zužitkovat i záření difúzní, a proto v celoročním úhrnu vyrobí tenkovrstvý panel více energie (asi o 10%) než panel z mono či polykrystalických křemíkových článků.“ (Isofen Energy s. r. o. 2009). „Spektrum záření v ČR je zhruba z 40 % tvořeno difúzním světlem a zbytek tvoří světlo přímé.“ (Limberk 2009). V letních měsících, přesněji za slunečného počasí, je podíl přímého záření vyšší, naopak v zimních měsících, kdy je častěji zataženo, se podílí více difúzní záření. Při kolmém dopadu paprsků přímého záření je maximální výkon cca 1 000 W/m<sup>2</sup>, u difúzního záření pouze 100 W/m<sup>2</sup>, zřídka přes 200 W/m<sup>2</sup> (v zimě může klesnout při intenzivní oblačnosti až k 50 W/m<sup>2</sup>) (Bechník 2013).

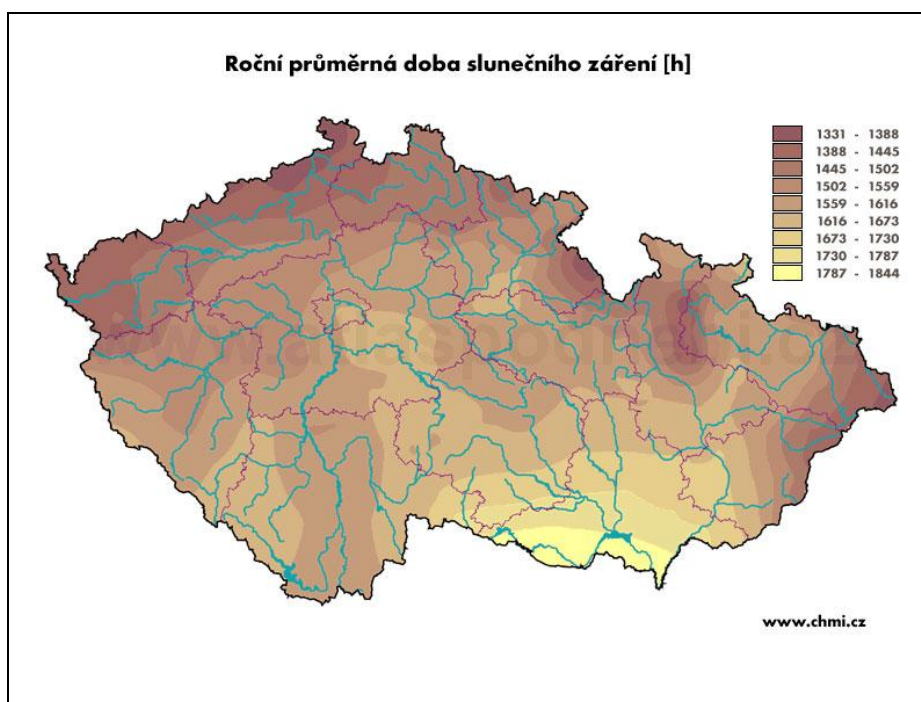
Podle Skeikera (2005) jsou hlavními činiteli ovlivňující úhrn globálního slunečního záření faktory **astronomické** (insolance, sluneční konstanta, deklinace, hodinový úhel, vzdálenost Země – Měsíc), **geografické** (nadmořská výška, zeměpisná šířka), **geometrické** (geomorfologické podmínky – sklon povrchu vůči vodorovné rovině, orientace ke světovým stranám, členitost území), **meteorologické** podmínky (především množství oblačnosti a odraz prostředí) a **fyzikální** faktory (rozptyl molekul vzduchu, obsah vodní páry v atmosféře, rozptyl prachu a O<sub>3</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> atd.).

#### **Astronomické a geografické faktory**

Zeměpisná šířka je úhel, který svírá rovina rovníku s normálou v určovaném bodě (elipsoid). Určuje polohu na povrchu Země směrem k severu nebo k jihu od rovníku

(Čapek 1992, str. 8, Zeměpis.eu 2010). Se stoupající zeměpisnou šířkou klesá intenzita slunečního záření (Škorpík 2013). Dokonce v rámci České republiky můžeme nalézt regionální rozdíly. Dle České agentury pro obnovitelné zdroje energie (2009) se doba přímého slunečního svitu pohybuje v rozmezí 1331 – 1844 hod/rok (údaje z ČHMÚ (obrázek 4)), odborná literatura však uvádí vyšší hodnoty 1600 – 2100 hod/rok. „Nejmenší počet hodin má severo-západ území, směrem na jiho-východ počet hodin narůstá. Lokality se od sebe běžně liší v průměru o +-10 %.“ (SOLARENVI a. s. 2014).

**Obr. 4: Roční průměrná doba slunečního záření v České republice**



Zdroj: SOLARENVI a. s. (2014)

Nejen zeměpisná šířka, ale i nadmořská výška je důležitým parametrem. Pro oblasti 700 – 2000 m n. m. je třeba počítat s nárůstem globálního záření až o 5 % (SOLARENVI a. s. 2014).

Délka slunečního svitu udává časový interval, po který svítí Slunce, např. doba mezi východem a západem Slunce. Měří se slunoměry (heliografy) a záznam se nazývá heliogram. Z jeho charakteru lze zjistit odhad intenzity slunečního záření (Meteocentrum 2014b). Délka slunečního svitu závisí na zeměpisné šířce, stejně jako úhel dopadu slunečního záření, který je dále závislý na denní době a ročním období. Nejvíce sluneční energie dopadá na plochu kolmou ke směru proudu paprsků. Čím menší je úhel dopadajících paprsků, tím menší počet jich v proudu je (při zachování hustoty paprsků



v proudu). Například v době letního slunovratu (21. – 22. 6.) je na 50° s. š. výška Slunce nad obzorem 63,5°, intenzita záření 89% a nejdelší délka světlého dne 16 h 23 min. V době zimního slunovratu (21. – 22. 12.) jsou na 50° s. š. hodnoty naopak nejmenší, a to výška Slunce nad obzorem 16,5°, intenzita záření 28% a délka světlého dne pouhých 8 h 4 min (Čapek 1992, str. 28–29, Brázdil 1988, str. 296).

### ***Geometrické faktory***

Ideálními podmínkami pro stavbu FV elektrárny jsou obecně rovná plocha a natočení panelů, tak aby byly co nejdelší část dne osvětlovány. Všechny důležité údaje pro zjištění výhodnosti vybraného území pro stavbu FVE lze zjistit, jak uvádí Tauš (2009), pomocí GIS aplikací nebo vlastním terenním průzkumem. V ČR je neefektivnější natočení panelů ve směru jih. Při odklonu do 20° od jihu na západ nebo na východ dochází k minimálnímu poklesu účinnosti systému. V případě nutnosti, jak dále zmiňuje, je lepší preferovat západní odklon, tedy jih-jihozápad. Další podmínkou je sklon plochy vůči vodorovné rovině, která by podle Tauše měla mít sklon do 30° (konstrukční hledisko), resp. 20° (z hlediska mechanizačního zabezpečení). Jako poslední podmínku uvádí co nejmenší členitost území.

### ***Meteorologické podmínky***

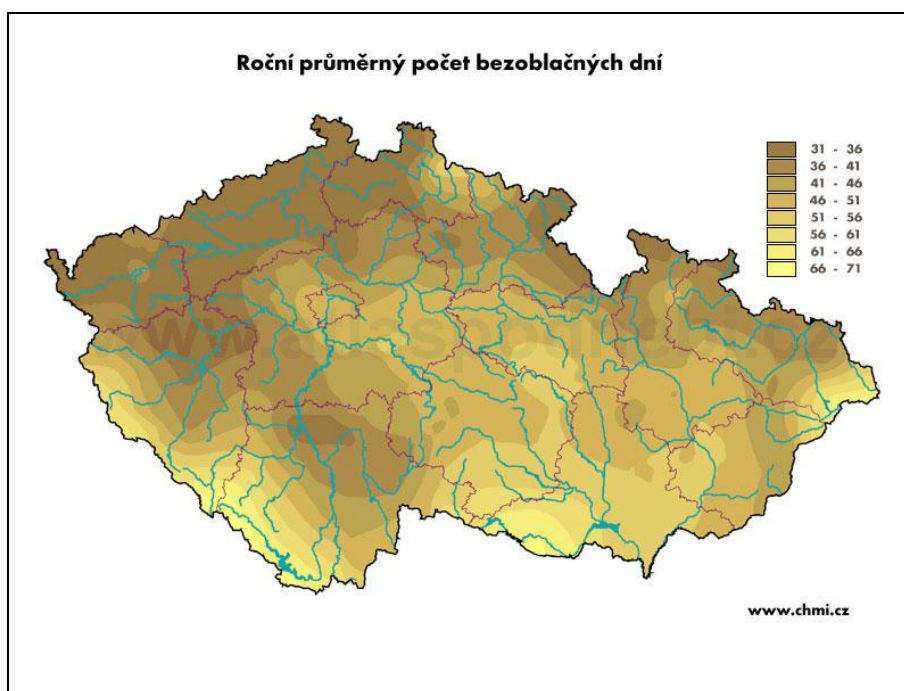
Vliv atmosféry na sluneční záření je z několika hledisek. Jednak zde hraje roli výška Slunce nad obzorem, kdy dochází k rozdílné délce dráhy slunečního paprsku při průchodu atmosférou. Dále pak nadmořská výška, kde hraje roli také vrstva vzduchu, míra znečištění atmosféry a oblačnost.

Oblačnost, neboli stupeň pokrytí oblohy mraky, nepřímo udává trvání slunečního svitu. Jak už bylo zmíněno výše, je jedním z meteorologických prvků. V synoptické meteorologii se vyjadřuje v osminách, v klimatologické v desetínách pokrytí oblohy mraky (Meteocentrum 2014a). V obou případech 0/8 i 0/10 znamená jasno (obloha bez mraků) a 8/8 či 10/10 zataženo (obloha zcela pokrytá mraky). Množství oblačnosti lze dále výjádřit v procentech. Pro planetu Zemi je globální hodnota oblačnosti cca 54 % (více než polovina povrchu Země), kdy 0 % je obloha bez mraků a 100 % je zcela pokryta mraky (Jelínek 2010).

Vliv oblačnosti je výrazný. Při bezoblačné obloze je výraznou složkou přímé záření, při zatažené dominuje difúzní. Mraky odrazí značnou část dopadajícího slunečního záření a dojde k jejich rozptýlení. Záření nedopadá ve směru Slunce, ale přichází celkem rovnoměrně ze všech směrů, dochází k záření difúznímu. Avšak difúzní

záření se vyskytuje při jasné i při zatažené obloze, záleží na intenzitě oblačnosti a množství aerosolu v atmosféře (Bechník 2013). Roční průměrný počet bezoblačných dní pro Českou republiku je zobrazen na obrázku 5. Hodnoty se pohybují podle údajů ČHMÚ v rozmezí 31 – 71 dní za rok, rozdíl mezi regiony tedy může být až 40 dní (SOLARENVI a. s. 2014).

**Obr. 5: Roční průměrný počet bezoblačných dní v České republice**



Zdroj: SOLARENVI a. s. (2014)

Poznámka: Bezoblačné dny jsou dny, kdy průměrná oblačnost je menší než 2 desetiny (ČHMÚ 2014).

### 3.2 Legislativní podmínky

V České republice fotovoltaika zažila v posledních letech velký boom. Snižovaly se investiční náklady, zvyšuje se životnost a efektivnost. V průběhu také vznikají nové legislativní úpravy. V roce 2005 byl schválen zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Podle České agentury pro obnovitelné zdroje energie (2009) se měla zlepšit a stabilizovat situace v podnikatelském prostředí v odvětví obnovitelných zdrojů. V důsledku dotační politiky bylo v letech 2009–2010 uvedeno do provozu nejvíce FV elektráren v České republice do dnešní doby. Koncem roku 2010 byl tento zákon upraven a na tyto elektrárny byla uvalena 26% daň a na bezplatné emisní povolenky darovací daň 32 %. Také se, jak dále uvádí ekolist.cz (2010), zvýšil poplatek za zábor zemědělské půdy. Snahou vlády bylo zamezení skokového zdražení elektřiny

v následujícím roce. Negativním dopadem byl krach některých investorů do fotovoltaiky. Nově platí od 1. 1. 2013 zákon č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie. Účel zákona zůstal stejný – podpora OZE, resp. ochrana životního prostředí a klimatu.

V důsledku členství v EU je Česká republika vázána i jejími legislativními úpravami. V roce 2001 Česká republika ratifikovala tzv. Kjótský protokol o změně klimatu. Zavázala se tak ke snížení skleníkových emisí, které jsou příčinou globálního oteplování. Za pětileté období (2008–2012) se v porovnání s rokem 1990 musely emise snížit o 5,2 %. Jak dále uvádí Ministerstvo životního prostředí (2012) v roce 2012 byl podepsán dodatek o pokračování a jeho druhé kontrolní období bylo stanoveno na osm let (2012–2020). Členské státy EU se navíc zavázaly snížit skleníkové plyny až o 20 % do roku 2020. Všechny tyto legislativní úpravy vedly k vytvoření zákonů v České republice a podpory OZE a tím i tedy rozvoji fotovoltaiky.

### **3.3 Ostatní podmínky**

„Přímé využití energie slunečního záření patří z hlediska ochrany životního prostředí k nejčistším a nejšetrnějším způsobům výroby elektřiny. Jde o energetický zdroj, kterého je a dlouho bude v přírodě dostatek.“ (ČEZ, a. s. 2014b). Naproti ekologickému a (relativně) tichému provozu, je zde nevýhoda v likvidaci panelů a jejich samotná výroba. Dalším problémem je, že „v současné době lze získat z jednoho metru aktivní plochy maximálně pouze 110 kWh elektrické energie za rok. Ve srovnání s ostatními zdroji energie je u nás výroba elektřiny s využitím slunečních energetických (fotovoltaických) systémů stále ještě příliš drahá.“ (ČEZ, a. s. 2014b). Bez státní podpory by fotovoltaika nebyla ekonomicky zajímavá.

Při stavbě FV elektrárny o velkém výkonu dochází k rozsáhlému záboru plochy. Proto jsou ideálními plochami nevyužívané prostory s nízkou využitelností v budoucích letech. Jsou to například bývalé vojenské areály, pouštní oblasti, znehodnocená půda, plochy v průmyslových areálech nebo jejich střechy. Mohou však zásobovat elektřinou i těžko dostupná místa (např. ostrovy). Výhodou je také blízká síť odběratelů.

## 4 Modely pro výpočet optimální lokality

V této kapitole bude uveden stručný přehled modelů solárního zařízení. Existuje několik stovek pozemních meteorologických stanic k měření slunečního záření v celé Evropě. Ke zpracování naměřených dat a vytvoření databází se používají různé interpolační metody, například funkce *spline*, vážené průměry nebo krigování. Hodnoty záření mohou být také odvozeny z meteorologických geostacionálních družic (např. Meteosat). Ovšem zpracování družicových dat poskytuje méně přesné výsledky ve srovnání s pozemním měřením. Výhodou však je pokrytí rozsáhlého území v časovém intervalu 0,5 – 24 hodiny (Hofierka a Šúry 2002). Dalším způsobem jsou solární modely začleněné do geografických informačních systémů. Modely potřebují pro své fungování znát parametry zájmového území. Berou tedy v úvahu sklon, orientaci svahu ke světovým stranám, roční dobu, zeměpisnou šířku a délku, lokální podmínky (např. zastínění) a další. Zájmovou plochou nemusí být myšlen pouze terén, ale i střecha budovy (Dubayah a Rich 1995). Kromě vhodnosti využití GIS pro fotovoltaiku mohou tyto systémy také přispět prostorovou analýzou. Doplní výsledky o další informace jako je výběr vhodných lokalit, analýza sítě odběratelů nebo další podmínky v předchozí kapitole.

### 4.1 Modely GIS

Modelů založených na GIS je dnes již několik. Mezi nejstarší patří model **SolarFlux**, vytvořený pro ARC/INFO GIS. *SolarFlux* se používá ke studiu heterogenity mikroklimatu (určuje kvalitu stanoviště). Dobře reflektuje vliv zastínění topografickou překážkou avšak díky průměrování některých hodnot je vhodný spíše pro menší území (Dubayah a Rich 1995, Hetrick a kol. 1993).

Dalším modelem je volně dostupný model **GIS Genasys**, který je aplikovatelný především v lesnictví, ekologii, biologii a zemědělství, kde je důležitější prostorová variace slunečního záření než kalibrované hodnoty. Model bere v potaz také parametry jako oblačnost a obsah vody v atmosféře. Je vhodný pro velké plochy a dlouhá časová období (Kumar a kol. 1997).

Model **Solei** fungující pod MS Windows, který taktéž vypočítá všechny tři složky slunečního záření (globální, přímé a difúzní), je dalším z modelů GIS. *Solei* je propojitelný s GIS softwarem IDRISI (Hofierka a Šúri 2002).

Všechny tři zmíněné modely používají jednoduché empirické vzorce. Některé z jejich parametrů jsou prostorově průměrované, a proto nejsou vhodné pro výpočty na velkých plochách. Více pokročilé metody jsou aplikovány v případě modelu **Area Solar Radiation**, který byl vyvinut jako modul rozšiřující software ArcGIS. Využívá se především

v oblastech ekologie a biologie (Hofierka a Šúri 2002). Aplikace bude v kapitole 5 uvedena do praxe.

Model **SRAD** byl navržen tak, aby modeloval složité interakce krátkovlnných a dlouhovlnných záření solární energie se zemským povrchem a atmosférou, kde vše je založeno na základech fyziky. Model byl navržen pro výpočty nad DEM. Jeho využití na velkých území jsou omezené (Hofierka a Šúri 2002). *SRAD* vypočítává odhady dopadajícího, odraženého a globálního záření, dále i povrchové a vzdušné teploty, pro každý bod digitálního modelu terénu v libovolném časovém intervalu od jednoho dne do jednoho roku. Oblačnost a jiné atmosférické podmínky jsou zohledněny do odhadu krátkovlnného záření. Stejně tak i vliv geomorfologických podmínek (sklon, orientace svahu) (McKenney a kol. 1999).

Model *r.sun* byl vyvinut pro prostředí open source GRASS GIS. Sada parametrů poskytuje dostatečnou pružnost k použití v různých aplikacích a jeho vlastnosti eliminují výše zmíněné nedostatky ostatních modelů. Začleněním do volně dostupných programů vytváří prostor pro budoucí zdokonalení (Kryza a kol. 2010, Hofierka a Šúri 2002).

Tauš (2009) doporučuje volně dostupnou aplikaci **PVGIS** (Photovoltaic Geographical Information System), což je aplikace na internetové stránce institutu *Join Research Centre*. V této aplikaci zájemci zadají základní údaje o plánované FVE a dostanou výstup ve formě mapy s vyznačenými oblastmi s dostatečným slunečním zářením pro stavbu FV elektrárny. Dále si může zadavatel podívat, jaké je odhadované množství energie, které elektrárna vyrobí v průběhu roku nebo tabulku s měsíčními a denními průměrnými hodnotami výkonu. Tauš dále dodává, že ačkoliv je aplikace velmi jednoduchá a zdá se býti bezchybná, nebere v potaz technické parametry elektrárny. Uvádí příklad, kdy aplikace určila vhodné území pro stavbu FVE na štítu Vysokých Tater. Zde by se elektrárna instalovala značně problematicky. Z tohoto důvodu je třeba uvažovat i s geomorfologickou charakteristikou. Model využívá data ze satelitních měření i z pozemních meteostanic (Ekowatt 2008). Tato aplikace využívá modelu *r.sun* a techniky prostorové interpolace *s.surf.rst* a *s.vol.rst* (GRASS) (JRC 2012a).

Dalšími aplikacemi, jak uvádí Ekowatt (2008), jsou **Metonorm**, **EkoWATT** a **pvPlanner**. *Metonorm* je komerční nástroj pro modelování nejenom slunečního záření, ale také dalších klimatických údajů (např. teplota, vlhkost vzduchu, rychlost a směr větru atd.). Model využívá měření z pozemních meteostanic i satelitních měření. V případě ČR využívá 34 stanic na území České republiky, přičemž data o dopadajícím záření jsou měřena jen na osmi z nich. Tato skutečnost způsobuje nepřesnosti, protože data jsou často interpolována ze vzdálených měřících stanic. V příhraničních oblastech jsou využívána i data ze zahraničních meteostanic (Ekowatt 2008).

EkoWATT vytvořil vlastní model, který využívá údaje z měření Českého hydrometeorologického ústavu. Model počítá hodnoty buď na základě dlouhodobého průměru (např. 30 let) nebo podle průměru posledních 10 let. Taktéž může počítat hodnoty pro konkrétní rok či měsíc (Ekowatt 2008).

*pvPlaner* je aplikace SolarGIS a využívá numerických modelů využívaných GeoModels. Vstupními parametry jsou agregovaná data solárního záření po 15 minutách a teplota vzduchu. Data a kvalita modelu je kontrolována normami IEA SHC Task 36 a EU v rámci 6. rámcového programu projektu MESoR (GeoModel Solar 2014).

V posledních letech vzniklo více databází a aplikací s informacemi o solárním záření – *PVGIS*, *PVSAT*, *PVSAT-2*, *SoDa*, *Envisolar* a další. To vedlo k tomu, že existuje paralelně několik databází s různými přístupy. Uživatelé pak mají možnost srovnání několika výstupů modelů, avšak sami musí posoudit, který model pro ně má nejadekvátnější zpracování (MESoR 2010).

## 4.2 Area Solar Radiation<sup>3</sup>

Model *Area Solar Radiation* nalezneme mezi *Solar Radiation tools* v toolboxu *Spatial Analyst*, který rozšiřuje možnosti ArcGIS Desktop přidáním řady nástrojů prostorového modelování a analýzy (ESRI 2015). ArcGIS je vyvíjen společností *ESRI* a řadí se mezi komerční softwary. Obsahuje geografickou databázi pro uložení a správu všech geografických informací a vytváří prostor pro jejich tvorbu, správu, editaci, analýzu a vizualizaci (ARCTDATA PRAHA, s. r. o. 2015). Nástroje *Solar Radiation* obecně vypočítávají příchozí sluneční záření na zadaných místech pomocí metod *Viewshed* (Hoferka a Šúry 2002). Tento model odvozuje příchozí sluneční záření z rastru terénu, proto bylo třeba v praktické části oslovit Český úřad zeměměřičský a katastrální (ČÚZK) pro poskytnutí potřebných dat.

Tento model byl vybrán z důvodu snadné ovladatelnosti a díky pokročilým metodám. Přispění k tomuto výběru také mělo možnost pracovat v ArcGIS Desktop, ve kterém se model spouští, a který je pro mě příjemným prostředím a proto jej často využívám. Existuje zde také podrobný manuál pro každou funkci.

Výpočet dopadajícího slunečního záření může být dosti časově náročný, proto je vhodnější vybírat pro analýzu menší lokality. Výpočet pro větší oblast může trvat až několik hodin. Výstupními jednotkami záření jsou watt hodiny na metr čtvereční [ $\text{Wh/m}^2$ ], v případě doby oslunění jsou to hodiny.

---

<sup>3</sup> Volný překlad z manuálu ESRI pro ArcGIS 10.2, 10.2.1 a 10.2.2 (ESRI 2014).

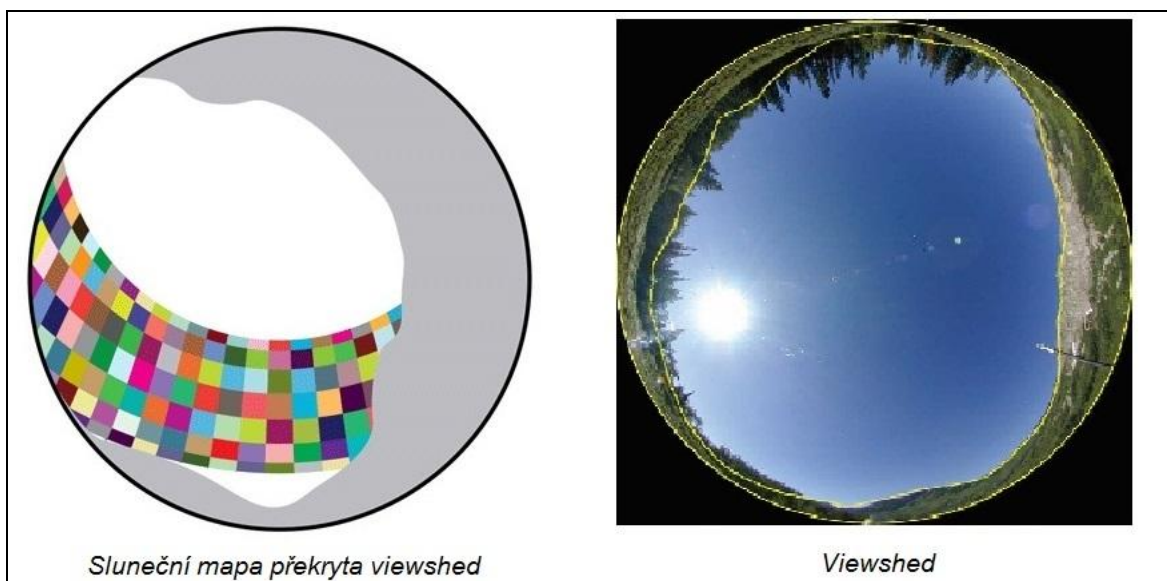
## **Vstupní parametry**

Analýza je primárně určena pro lokální oblasti, proto je obecně přijatelné používat pro celý DEM jednotnou hodnotu zeměpisné šířky. U větších oblastí (státy, kontinenty) se budou výsledky lišit při zeměpisné šířce  $> 1^\circ$ . V těchto případech je tedy vhodnější rozdělit velká území na jednotlivé pásy o stejné zeměpisné šířce. Hodnoty zeměpisné šířky jsou v desetinách stupňů, kde kladné hodnoty značí severní polokouli a záporné polokouli jižní. Pokud obsahuje vstupující rastr informaci o zeměpisné šířce, je průměrná hodnota sama vypočítána, naopak pokud není, je použita výchozí hodnota  $45^\circ$ . Zeměpisná šířka se využívá při výpočtu sluneční deklinace a pozice Slunce.

Parametr *sky\_size* je tzv. *viewshed*, což jsou vzhůru vypouklé polokulové útvary (pohled na vnitřní stranu polokoule) založené na digitálním modelu terénu – vypočtené pomocí DMT (obrázek 6). Vypočítávají se pro každou buňku DEM. Používají se pro určení polohy Slunce na obloze jako informace pro výpočet slunečního záření pro každé místo zemského povrchu. Výpočet je proveden pro předem určený počet směrů, horizontálních úhlů, ty ostatní jsou určeny pomocí interpolace. Výsledkem jsou horizontální úhly pro všechny směry, které jsou následně převedeny do trojrozměrného systému. V tomto případě se vytváří mřížka obvykle 200 x 200 buněk. Nemá vlastní souřadnicový systém a vytváří čtvercové mřížky o stejném počtu řádků i sloupců pomocí zenitového (úhel vzhledem k vrcholu) a azimutálního (úhel vzhledem k severu) úhlu. Výsledná *viewshed* reprezentuje, které části nebe jsou viditelné a které jsou zakryty. Zvýšení počtu buněk přispívá k zpřesnění výpočtů, ale prodlužuje potřebný čas pro výpočet (Fu a Rich 1999). Při krátkém časovém intervalu (méně jak 14 dní) je třeba však využívat většího rozlišení z důvodu dostatečné velikosti plochy oblohy. Sluneční dráhy by se mohly překrývat a to by vedlo ke zkreslení konečných hodnot. Maximální hodnota velikosti oblohy je zde 10 000 x 10 000 buněk. Hodnoty 200 x 200 buněk jsou vhodné pro intervaly větší jak 14 dní, pro intervaly menší než 14 dní se doporučuje používat až 2 800 x 2 800.

Množství přímého slunečního záření je reprezentováno vytvořením tzv. *sluneční mapy* předpokládaného záření. Sluneční mapa specifikuje zdánlivou pozici Slunce se změnou v čase. Postavení Slunce se vypočítá na základě zeměpisné šířky, dnu v roce a denní době. Zenitové a azimutální úhly jsou promítnuty do dvourozměrných mřížek se stejným rozlišením jako v případě *viewshed* (obrázek 6) (Fu a Rich 1999).

**Obr. 6: Sluneční mapa a viewshed**



Zdroj: Huang a Fu (2009), vlastní úpravy

Model je schopen počítat hodnoty pro zadaný den v roce, libovolný počet za sebou jdoucích dní nebo pro celý rok. Lze také přecházet z roku na rok, pokud při zadávání je koncový den větší než den první. Doba výpočtu tak přechází do následujícího roku. Pro usnadnění jsou zde na výběr čtyři typy: *TimeMultiDays*, *TimeWithinDay*, *TimeSpecialDays* a *TimeWholeYear*. V prvním případě (*TimeMultiDays*) se nám ukáže možnost zadat příslušný rok (automaticky je rozpoznáno, zda se jedná o rok přestupný) a dále nabídka pro zadání prvního a koncového dne zvoleného období v tomto roce. Existují dvě možnosti, jak tyto dny vybrat. V prvním způsobu sami zapíšeme námi zvolený den (pořadí dne v roce) a ve druhém si příslušný den vybereme v připraveném kalendáři. Lze kombinovat obě možnosti. Druhý případ (*TimeWithinDay*) určuje hodnoty v rámci zvoleného jednoho dne. Vybereme příslušný den v roce pomocí kalendáře nebo napíšeme kolikátý den v roce to je a následně zapíšeme, kolik hodin z daného dne jsme vybrali. Výchozí nastavení je 24 hodin. Třetí možnost (*TimeSpecialDays*) vypočítává hodnoty pro dny letního a zimního slunovratu a dny rovnodennosti. *TimeWholeYear* počítá hodnoty pro celý rok za použití měsíčních intervalů, vybereme zde pouze den v roce. Časový interval v průběhu roku je ve výchozím nastavení pro výpočet sektorů oblohy nastaven na 14 dní, časový interval dne 0,5 h. Pro převod mezi slunečním a místním časem slouží parametr *time\_configuration*.

*Each\_interval* určuje, je-li zapotřebí pro výpočet jedinou hodnotu nebo více hodnot oslunění pro každé místo v celém zadaném intervalu času. Jsou dvě možnosti:



- NOINTERVAL – jediná hodnota pro celý interval (výchozí nastavení)
- INTERVAL – hodnoty záření vypočteny pro každý interval, počet výstupů závisí na rozpětí intervalu (např. pro celý rok s měsíčním intervalem bude výsledek obsahovat 12 hodnot pro každé místo)

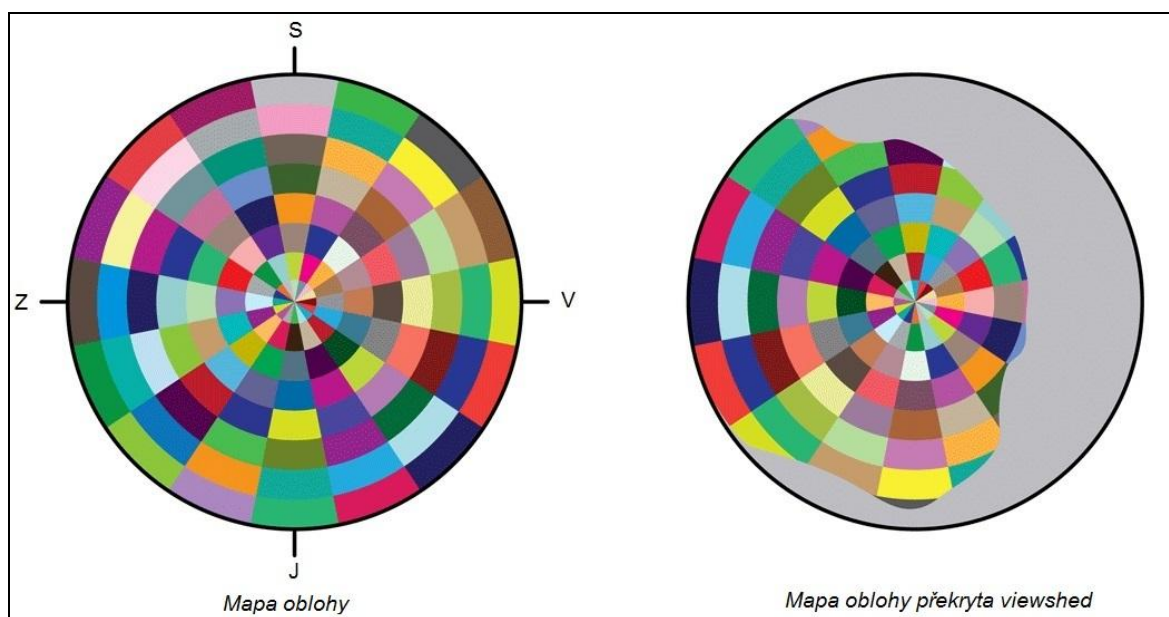
Kvůli možnosti více výpočtů, je třeba zkontrolovat dostatek místa na disku pro ukládání vypočtených dat.

Použití *z – faktor* je nezbytné pro korekci výpočtu, kdy jsou jednotky výšky povrchu (osa z) v jednotkách odlišných jednotkám povrchu (osy x, y). Pro přesné výsledky by měly být jednotky stejné. V případě, že stejné nejsou, využije se *z – faktor* jako převod pro jednotky výšky na stejné jednotky jako má povrch. Například jednotky os x, y budou metry a jednotky osy z stopy, pak pomocí *z – faktor* převedeme jednotky osy z do metrů. Doporučené jednotky jsou podle vývojářů metry. Pokud jsou jednotky os x, y a z totožné, nastavení je výchozí, a to 1, jestliže máme jednotky odlišné, zadáme příslušnou hodnotu pro převod. Například pro stopu je hodnota *z – faktor* 0,3048.

Sklon a orientace svahu jsou vypočteny parametrem *slope\_aspect\_input\_time*. Z výchozího nastavení FROM\_DEM se tyto informace získají ze vstupního rastru, v případě FLAT\_SURFACE se zadá konstantní hodnota nula namísto sklonu i orientace.

Na rozdíl od přímého záření, které přichází přímo, difúzní záření přichází ze všech směrů. Mapy nebeské oblohy jsou proto konstruovány tak, že se nebe rozdělí do několika sektorů pomocí zenitových a azimutálních úhlů (divizí). Každý sektor je vyplněn jedinečným identifikačním číslem (barevné odlišení na obrázku 7) (Fu a Rich 1999). Vzhledem k tomu, že výpočet *viewshed* může být velmi náročný, sledují se horizontální úhly jen v několika směrech. Počet směrů je vždy osm nebo násobky osmi (8, 16, 24, 32 atd.). Hodnoty 8 a 16 jsou vhodné spíše pro oblasti s mírně členitým povrchem, kdežto hodnota 32 je už vhodná pro geomorfologicky složitý terén. Ve výchozím nastavení parametru *calculation\_directions* je hodnota 32. Vyšší počet směrů zvyšuje přesnost, ale také prodlužuje dobu nutnou k výpočtu.

**Obr. 7: Mapa oblohy**



Zdroj: Huang a Fu (2009), vlastní úpravy

Jsou zde dva typy modelu pro difúzní záření:

- UNIFORM\_SKY – příchozí difúzní záření je stejné z celého nebe (výchozí nastavení)
- STANDART\_OVERCOST\_SKY – příchozí difúzní záření se mění se zenitovým úhlem

*Diffuse\_proportion* představuje množství difúzního záření, kdy se hodnoty pohybují od 0 do 1. Tato hodnota by měla být nastavena podle atmosférických podmínek. Výchozí hodnotou je 0,3 (jasná obloha). Čím vyšší číslo, tím méně jasná obloha.

Propustnost je vlastnost atmosféry, která je vyjádřena jako poměr energie (v průměru na všech vlnových délkách) dopadající na zemský povrch a horní hranici atmosféry. Hodnoty se nachází mezi 0 (nepropustná) a 1 (zcela propustná). Obvyklé hodnoty jsou 0,6 nebo 0,7 (pro velmi jasnou oblohu) a 0,5 (jasná obloha), což je výchozí hodnota. Tyto hodnoty se vztahují vždy k zenitu a hladině moře. Algoritmus tohoto parametru proto upravuje příslušné hodnoty. Parametr *transmissivity* (propustnost) je inverzní k parametru *diffuse\_proportion*. V tabulce 1 jsou shrnuté všechny vstupující parametry.

**Tab. 1: Vstupní parametry modelu Area Solar Radiation**

název parametru	typ vstupu	popis	typ dat	jednotky	interval hodnot
in_surface_raster	povinný	nadmořská výška	rastr	metry	0 – 8900
latitude	nepovinný	zeměpisná šířka	double	desetiny stupňů	0 – 360
sky_size	nepovinný	mapa oblohy	long	buňky	0 – 10 000
time_configuration	nepovinný	převod času	configuration	desetiny hodiny	–
day_interval	nepovinný	časový interval roku	long	dny	1 – 365 (366)
hour_interval	nepovinný	časový interval dne	double	hodiny	0 – 24
each_interval	nepovinný	hodnoty oslunění	boolean	–	–
z_factor	nepovinný	převod jednotek	double	jediná hodnota	–
slope_aspect_input_type	nepovinný	sklon a orientace	string	–	–
calculation_directions	nepovinný	počet směrů pro azimut	long	jediná hodnota	násobky 8
zenith_divisions	nepovinný	počet divizí - zenit	long	jediná hodnota	1 – 180
azimuth_divisions	nepovinný	počet divizí - azimut	long	jediná hodnota	0 – 160
diffuse_model_type	nepovinný	typ difúzního modelu záření	string	–	–
diffuse_proportion	nepovinný	globální záření	double	jediná hodnota	0 – 1
transmissivity	nepovinný	propustnost	double	jediná hodnota	0 – 1

Zdroj: ESRI (2014), vlastní úpravy

### **Výstupní parametry**

Výstupem z modelu je mapa globálního, přímého a difúzního slunečního záření ve Wh/m<sup>2</sup> vypočítaného pro každou buňku vstupního rastru. Taktéž rastrová mapa doby přímého záření v hodinách. V tabulce 2 jsou shrnuty všechny výstupní parametry.

**Tab. 2: Výstupy modelu Area Solar Radiation**

parametr	popis	typ dat	jednotky
out_global_radiation_raster	globální záření	rastr	Wh/m <sup>2</sup>
out_direct_radiation_raster	přímé záření	rastr	Wh/m <sup>2</sup>
out_diffuse_radiation_raster	difúzní záření	rastr	Wh/m <sup>2</sup>
out_direct_duration_raster	doba přímého záření	rastr	hodiny

Zdroj: ESRI (2014), vlastní úpravy

## 5 Aplikace geoinformatických metod na vybrané lokality

Byly vybrány 3 lokality o velikosti 4 km x 5 km (čtyři mapové listy SM 5), kde byly vybudovány solární elektrárny s výkonem větším než 3 MW, na které byl aplikován model a následně byly porovnány výsledné hodnoty s daty z databáze ČHMÚ. Poté byla provedena prostorová analýza lokalit, kde se elektrárny nachází. Pro práci byl používán program ArcGIS 10.2 a volně dostupná aplikace PVGIS. Lokality byly vybrány na základě předem daných kritérií, tedy takových, aby každá z nich měla odlišné fyzicko-geografické podmínky, kde by se otestoval model na různých vnějších faktorech, a nacházela se zde fotovoltaická elektrárna s výkonem vyšším než 3 MW. Jedná se o elektrárny *FVE Czech Smiřice*, *FVE Přímětice* a *FVE Verne*. Důvodem pro stanovení minimální hranice výkonu bylo vyloučení z výběru vhodných FVE domácí elektrárny instalované nejčastěji na střeších rodinných domů.

### 5.1 Zhodnocení současné situace zkoumaných elektráren

Elektrárny *Přímětice* a *Verne* byly uvedeny do provozu v roce 2010, *FVE Czech Smiřice* byla spuštěna v prosinci roku 2009 (ELEKTRARNY.PRO 2014).

***FVE Czech Smiřice*** (50°17'48.48" s. š., 15°50'44.16" v. d.)<sup>4</sup> je jedna z elektráren společnosti DECCI a. s., která své elektrárny prezentuje pod značkou FVE CZECH s celkovým instalovaným výkonem 6,08 MW. Elektrárna zabývá plochu 15,2 ha orné půdy v okrese Hradce Králové a byla stavěna na dvě části – *Smiřice I* a *Smiřice II* (geoview.info 2013, FVE Czech 2009, FVE Czech 2010).

***FVE Přímětice*** (48°53'12.7" s. š., 16°02'27.2" v. d.)<sup>5</sup> se rozkládá na rozloze 3 ha orné půdy v okrese Znojmo. Celkový instalovaný výkon je 3,45 MW. Majitelem je společnost Goodwill Power Plant, s. r. o. (ELEKTRARNY.PRO 2014, Krutiš 2010).

***FVE Verne*** (50°24'07.3" s. š., 13°12'38.4" v. d.)<sup>5</sup> je fotovoltaická elektrárna v okrese Chomutov s instalovaným výkonem 4,30 MW. Majitelem je firma FVE Verne, s. r. o., kterou vlastní projekční společnost WINDENERGIE, s. r. o. a společnost REPO CR s. r. o. Elektrárna je postavena v průmyslové zóně Verne (k. ú. Verněřov) na parcele orné půdy o výměře 12,75 ha (WINDENERGIE, s. r. o. 2014, ELEKTRARNY.PRO 2014, ČÚZK 2014).

---

<sup>4</sup> Zdroj: geoview.info 2013.

<sup>5</sup> Zdroj: Google 2014.

## 5.2 Aplikace modelu

Cílem analýzy je zhodnocení využitelnosti modelu *Area Solar Analyst* při hodnocení fotovoltaického potenciálu vybraného území. Za tímto cílem budou vytvořeny rastry slunečního záření, které budou poté kombinovány s land cover. Takto zhodnocené území vyloučí lokality, kde by nebylo možné elektrárnu postavit, z důvodu technických nároků elektrárny (např. vodní plochy). Výsledkem budou mapy s hodnocením lokality z hlediska vhodnosti výstavby FVE. Pro zhodnocení spolehlivosti modelu budou porovnávána data vypočítaná a skutečně naměřená. Zhodnocení bude provedeno vizuálně, pomocí grafů, a statisticky v IBM SPSS 20.

Potřebná data ke konfrontaci s vypočtenými daty byla získána z databází ČHMÚ. Český hydrometeorologický úřad v dnešní době měří solární podmínky na 19 stanicích po celé ČR. Některé stanice přitom měří teprve od roku 2013 (Vaníček a Skalák 2013). Použitá data jsem získala ze stanic Hradec Králové (lokalita 1), Kuchařovice (lokalita 2) a Tušimice (lokalita 3). Poskytnutá data zahrnovala měsíční sumy globálního a difúzního záření za rok 2012.

Výběr modelových území byl omezen především databází ČHMÚ. Globální záření se zaznamenává na všech 19 stanicích, někde však až od rozličných měsíců roku 2013. Difúzní záření se monitoruje pouze na sedmi stanicích, z kterých tři stanice měří od roku 2013 a jedna v roce 2013 měřit přestala. Dále bylo potřeba vybrat ty stanice, které mají odlišné nadmořské výšky a mají jiné klimatické podmínky (čistota ovzduší, počet bezoblačných dní a další). Další podmínkou byla jiná zeměpisná šířka lokalit, což jak se ukázalo později, nebylo možné uskutečnit tak, aby měl tento parametr velký vliv (lokalita 1 a 3 leží téměř na stejné zeměpisné šířce). Tato kritéria byla volena z důvodu otestování modelu na různé vnější vlivy. Taktéž v blízkosti stanic musel být komplex solární elektrárny. Naměřená data jsem se rozhodla získat z této databáze po neúspěšných pokusech kontaktovat přímo fotovoltaické elektrárny nebo firmy zabezpečující monitoring těchto údajů pro dané elektrárny. Tuto snahu se nepodařilo zrealizovat z důvodu utajení know-how společností a elektráren. Analýza byla z tohoto důvodu tedy rozdělena na dvě části. V první části je testován a hodnocen samotný model, kdy jím vypočítané teoretické hodnoty jsou konfrontovány s daty skutečně naměřenými. V druhé části je pomocí modelu a aplikace provedena prostorová analýza vyhodnocující vhodná území pro stavbu solárních elektráren a jsou zde doporučeny některé technické parametry (sklon panelů).

Pro vypočtení předpokládaných hodnot aplikací *PVGIS* bylo třeba znát GPS souřadnice, celkový instalovaný výkon a parametry elektrárny (existence polohovacího systému, sklon a azimut panelů a odhadované ztráty). Dále bylo nutné vědět, zda je

elektrárna volně stojící nebo stojí v zástavbě. Vstupní parametry jednotlivých elektráren jsou v tabulce 3. PVGIS pracuje ve dvou verzích. Starší verze pro Evropu čerpá hodnoty pro interpolaci z pozemního měření z let 1981 – 1990. Nová verze využívá měření z družicových snímků družic Meteosat první a druhé generace z let 1998 – 2011. V případě ČR dává nová verze o cca 10 % vyšší hodnoty než verze stará. Podle manuálu to může být způsobeno tím, že došlo k chybě v měření nebo se změnilo klima. Je také pravděpodobné, že rozdíl je způsoben účinkem obou faktorů. Obecně platí, že celková roční chyba je poměrně malá. Nová sada dat byla testována na několika územích, kde bylo provedeno vysoce kvalitní měření. Téměř na všech místech byla chyba menší než 5 %. Proto byla pro výpočet zvolena novější verze (JRC 2012b).

**Tab. 3: Vstupní parametry pro výpočet předpokladů aplikace PVGIS**

parametr	FVE Czech Smiřice	FVE Přímětice	FVE Verne
GPS souřadnice	50.296799, 15.846161	48.886861, 16.040889	50.402028, 13.210667
PV technologie	krystalický křemík	krystalický křemík	krystalický křemík
instalovaný výkon	6 080 kWp	3 450 kWp	4 300 kWp
odhadované ztráty	12%	12%	12%
poloha FVE	volně stojící	v zástavbě	volně stojící
sklon panelů	30°	30°	35°
azimut panelů	0°	0°	0°
polohovací systém	ne	ne	ne

Zdroj: Smiřice a Holohlavy (2014), Google (2014), geoview.info (2013), vlastní úpravy

Poznámka: jih = 0°

Poznámka<sup>2</sup>: Odhadované ztráty se nepodařilo zjistit, bylo tedy použito hodnot podle Czech RE Agency (2009), které dokládají, že se odhadované ztráty pohybují obecně v rozmezí 10 – 14 %, v případě ČR 11 – 12 %.

Pro potřeby modelu *Area Solar Radiation* byl použit digitální model terénu čtvrté generace (DMR 4G)<sup>6</sup>. Za předpokladu, že DEM je georeferencován, si model při nahrání sám určí zeměpisnou šířku. Pro usnadnění práce s časem, jsou zde možnosti využít kalendáře pro snadné zadání příslušného dne. Pro přílohu 2, 3 a 4 byly nastaveny výchozí hodnoty parametrů, kromě času, který byl zvolen jako celý rok 2012. Pro hodnocení v první části analýzy byl využit také výpočet nástroje *Point Solar Radiation*, který počítá příchozí sluneční záření se stejnými parametry jako *Area Solar Radiation* s tím, že se soustředí pouze na souřadnicemi určené místo. Tento předpoklad pomůže lépe zhodnotit situaci přímo v místě měření a tím porovnat přesněji vypočítaná a skutečně naměřená data.

<sup>6</sup> DMR 4G poskytl ČÚZK.

Druhá část kombinuje vypočítaná data modelem *Area Solar Radiation* a *Corine Land Cover 2012*. Čím vyšší je průměrný úhrn globálního záření, tím větší je množství vyrobené energie. Běžná literatura uvádí, že z 1 instalované kW běžného systému lze za rok získat průměrně 800 – 1100 kWh elektrické energie (např. Czech RE Agency 2009). Hodnoty globálního záření byly proto rozděleny do pěti skupin: 1 = energie pod 1 300 kWh/m<sup>2</sup>, 2 = 1 300 – 2 400 kWh/m<sup>2</sup>, 3 = 2 400 – 3 300 kWh/m<sup>2</sup>, 4 = 3 300 – 4 400 kWh/m<sup>2</sup> a 5 = nad 4 400 kWh/m<sup>2</sup>. Dále byl klasifikován rastr s hodnotami počtu hodin přímého záření, taktéž do pěti skupin: 1 = méně než 1 200 h, 2 = 1 200 – 1 700 h, 3 = 1 700 – 2 200 h, 4 = 2 200 – 2 700 h a 5 = více než 2 700 h. Průměrná hodnota podle literatury je 1 300 – 2 100 h/rok (např. SOLARENVI a. s. 2014). Povrch byl klasifikován podle tříd databáze *Corine Land Cover*: 1 = vodní plochy, 2 = humidní území, 3 = urbanizovaná území, 4 = lesy a polopřirodní oblasti a 5 = zemědělské plochy. Čím vyšší klasifikační číslo, tím lepší podmínky. Ke spojení těchto tří vstupů byl využit *Raster Calculator (Spatial Analyst)*. Výsledný rastr byl vytvořen jako součet všech tří původních rastrů. Vznikl tedy rastr s územím rozděleným do intervalů podle vhodnosti využití plochy pro stavbu FVE s hodnocením čím nižší číslo, tím vhodnější plocha.

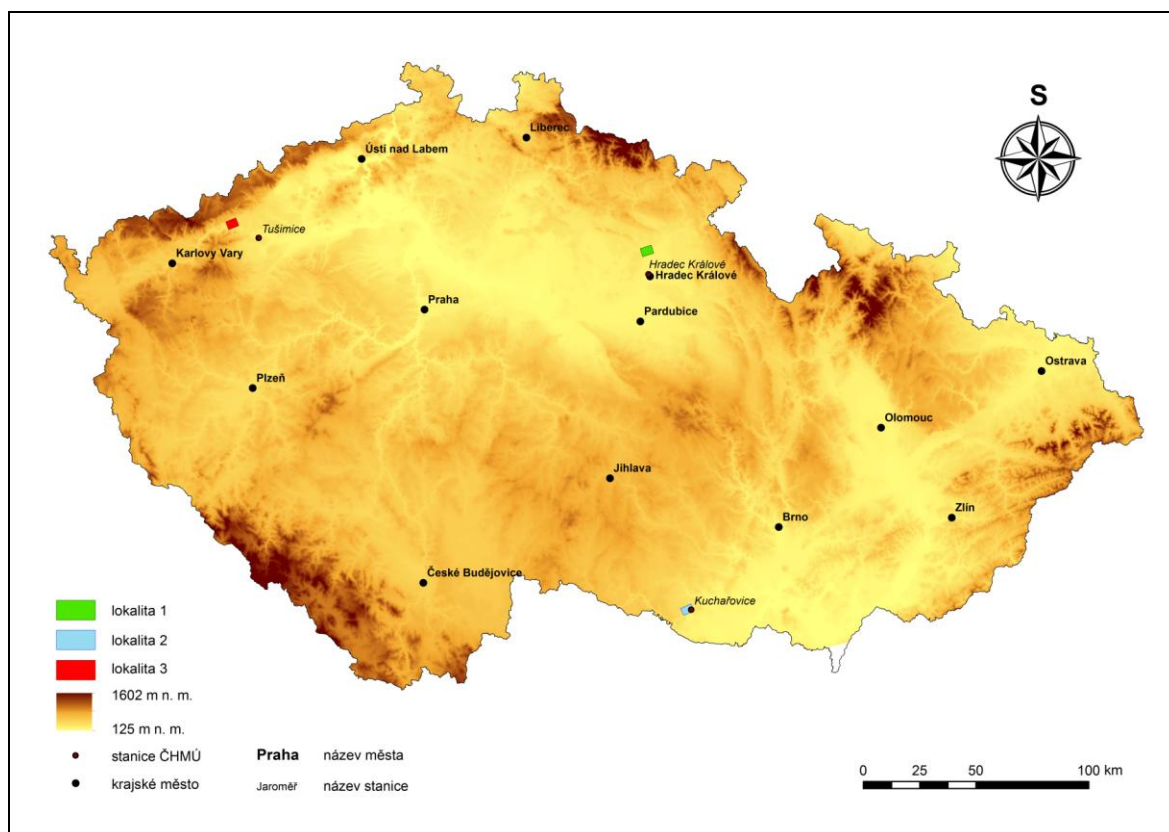
Vybraná území jsou charakterizována v tabulce 4. Jejich umístění v rámci ČR je zobrazeno na obrázku 8, stejně jako poloha měřících stanic ČHMÚ.

**Tab. 4: Charakteristika analyzovaných lokalit**

	nadmořská výška území (m n. m.)	výškový stupeň	roční průměrná doba slunečního záření (h)	roční průměrný počet bezoblačných dní
<b>lokalita 1 (FVE Czech Smiřice)</b>	228 – 436	nížiny Čech a Moravy s nadmořskou výškou do 400 m	1502 – 1673	41 – 51
<b>lokalita 2 (FVE Přímětice)</b>	191 – 451	nížiny jižní Moravy	1730 – 1844	61 – 51
<b>lokalita 3 (FVE Verne)</b>	234 – 949	oblasti se zvýšeným znečištěním atmosféry	1331 – 1388	31 – 41

Zdroj: Vaníček a Skalák (2013), obrázky 4 a 5, vlastní úpravy

**Obr. 8: Lokalizace vybraných území v rámci České republiky**



Zdroj: ArcČR 500 verze 2.0, vlastní úpravy

### 5.3 Výsledky

K hodnocení modelu slouží následující výpočty a grafy, kde jsou porovnány vypočtené hodnoty modelem *Point Solar Radiation (PSR)* a data naměřená ČHMÚ pro místo, měřicí stanice.

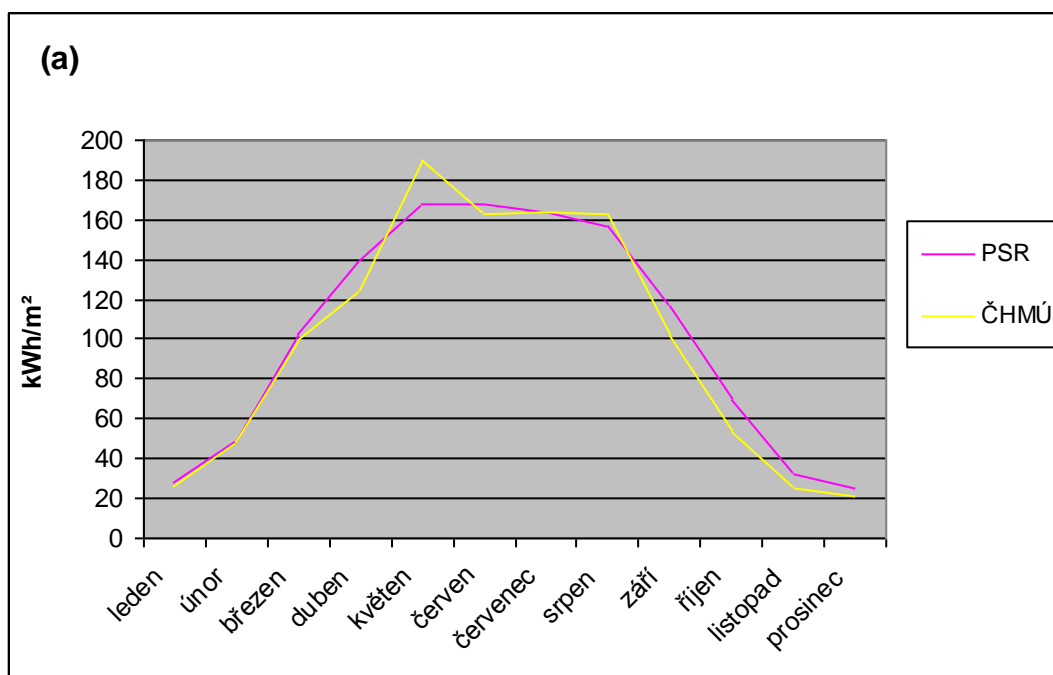
Ve statistickém programu IBM SPSS 20 byl nejprve proveden test normality dat na 99% hladině. *Kolmogorov-Smirnov test* normality dat potvrdil, že data jsou normálního rozdělení s námi zvolenou spolehlivostí, proto byl použit *párový t-test*. Na 99% hladině byly otestovány datové sady naměřených a vypočítaných dat. Můžeme tedy s 99% spolehlivostí říci, že průměry datových sad jsou stejné. Příloha 1 ukazuje výslednou tabulku *párového t-testu* pro globální záření lokality 1.

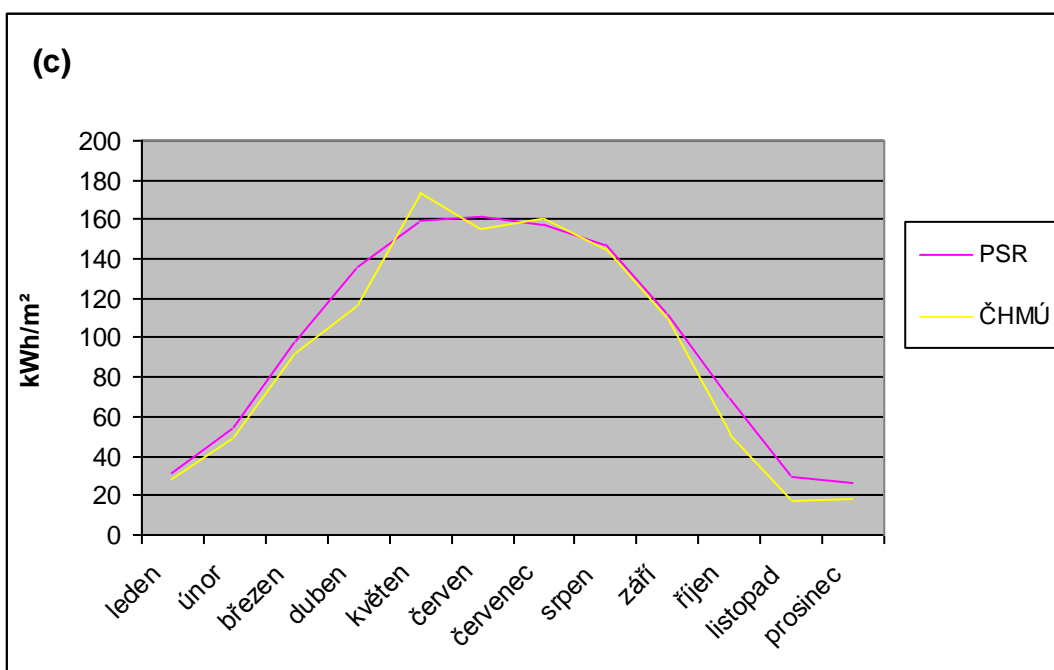
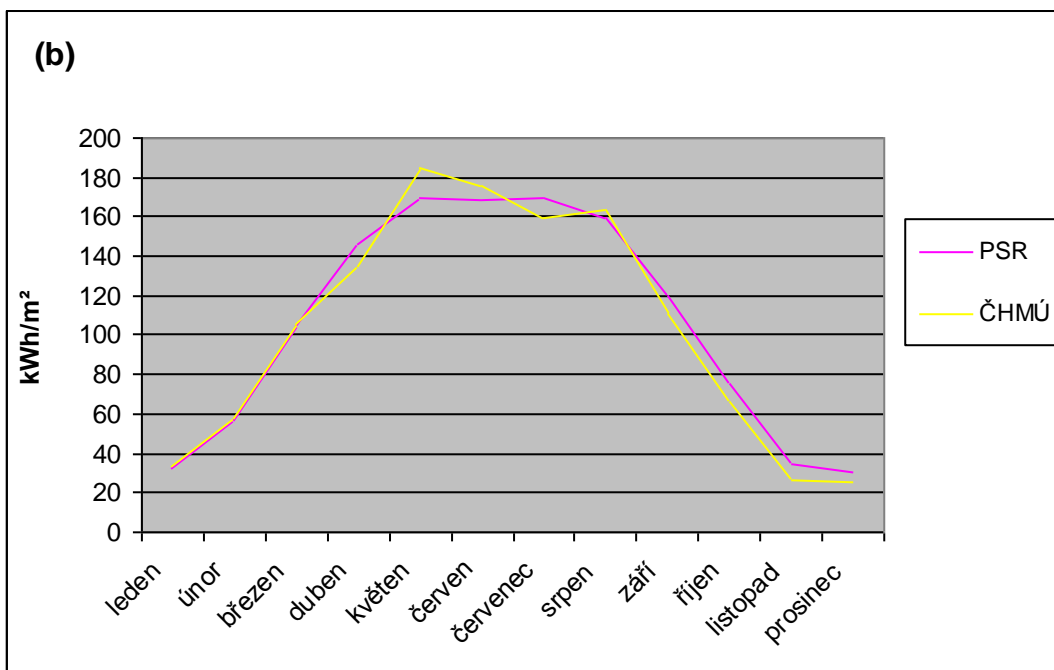
Graf 1 ukazuje hodnoty globálního záření. Křivka skutečně naměřených dat je oproti předpokladům modelu a aplikace více nevyrovnaná. Je zde patrné skokové zvýšení skutečně naměřených hodnot v období května, částečné zvýšení v období srpna a částečné snížení v dubnu. Hodnoty modelu jsou navyšovány i snižovány plynule. Je možné, že v dubnu, květnu a srpnu roku 2012 došlo k neobvyklé anomálii. Model je



uzpůsoben k výpočtu předpokládaných hodnot za stále stejného a cyklicky se opakujícího chování vstupujících hodnot a vnějších vlivů, proto nebyl schopen tuto skutečnost zaznamenat. Celkově se dá říci, že vypočtené hodnoty jsou částečně nadhodnoceny. Nejvíce patrné je to v případě hodnot pro duben, listopad a prosinec. Zvýšení pro duben může být způsoben anomálií roku 2012. V případě lokality 1 a 2 je model přesnější pro první tři měsíce roku, kde jsou hodnoty srovnatelné s naměřenými daty ČHMÚ. To samé lze říci i o září v případě lokality 2, popřípadě lokality 3 pro září a říjen. Jak lze předpokládat, nejvíce globálního záření dopadá v teplých měsících a nejméně v zimních, kdy je doba slunečního svitu kratší. Roční průměrná hodnota je cca 100 kWh/m<sup>2</sup>, v zimních měsících se hodnoty pohybují od 20 do 60 kWh/m<sup>2</sup> a v letních maximech 160 až 190 kWh/m<sup>2</sup>. Všechny oblasti mají průběhy křivek téměř totožné, avšak v případě lokality 3 jsou hodnoty nepatrně nižší, což je znát především v letních měsících, ale i v zimních. V přechodném období jako je jaro a podzim jsou hodnoty srovnatelné s lokalitou 1 a 2.

**Graf 1: Globální záření pro lokalitu 1 (a), lokalitu 2 (b) a lokalitu 3 (c)**

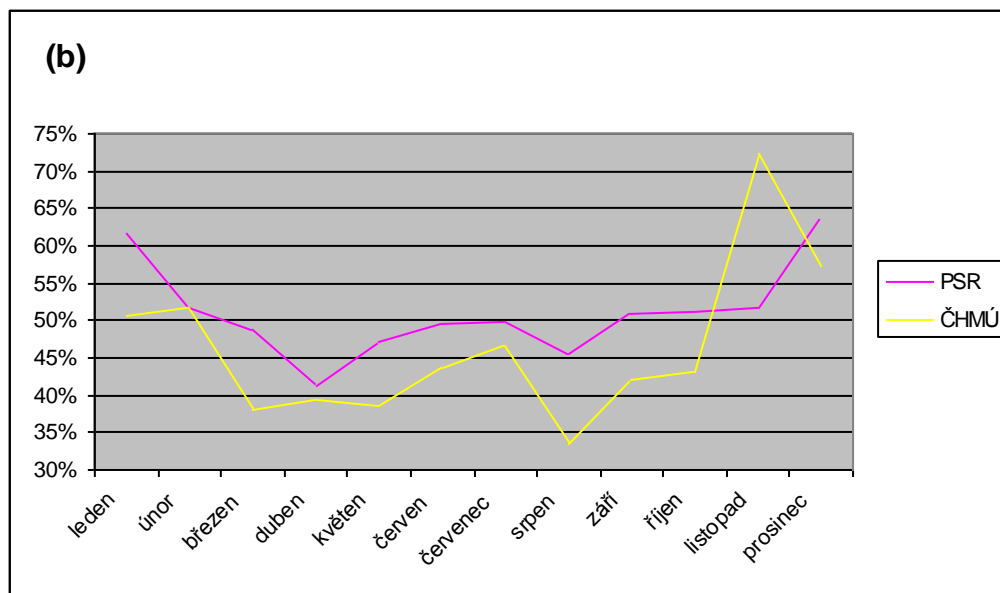
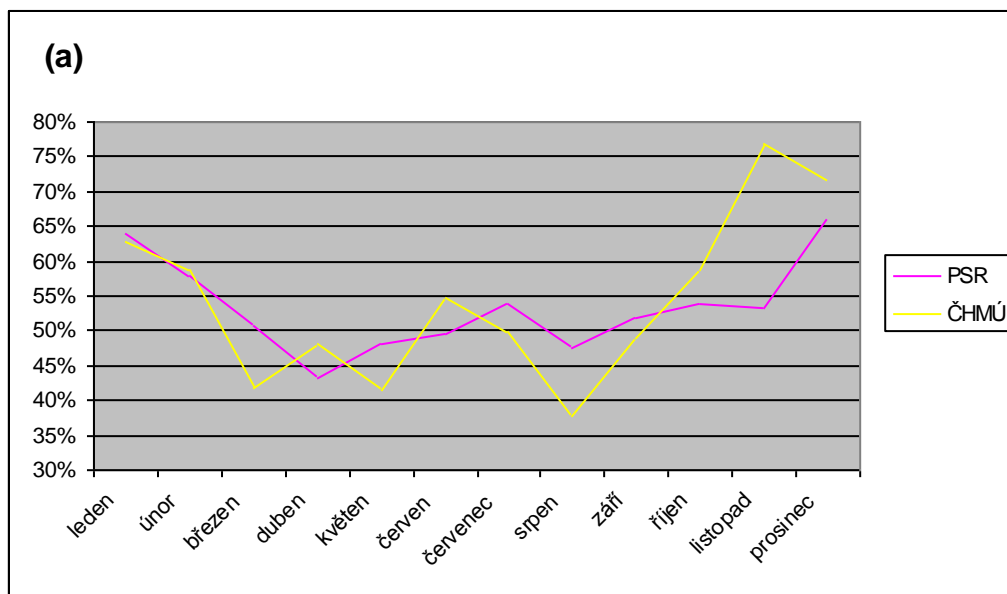


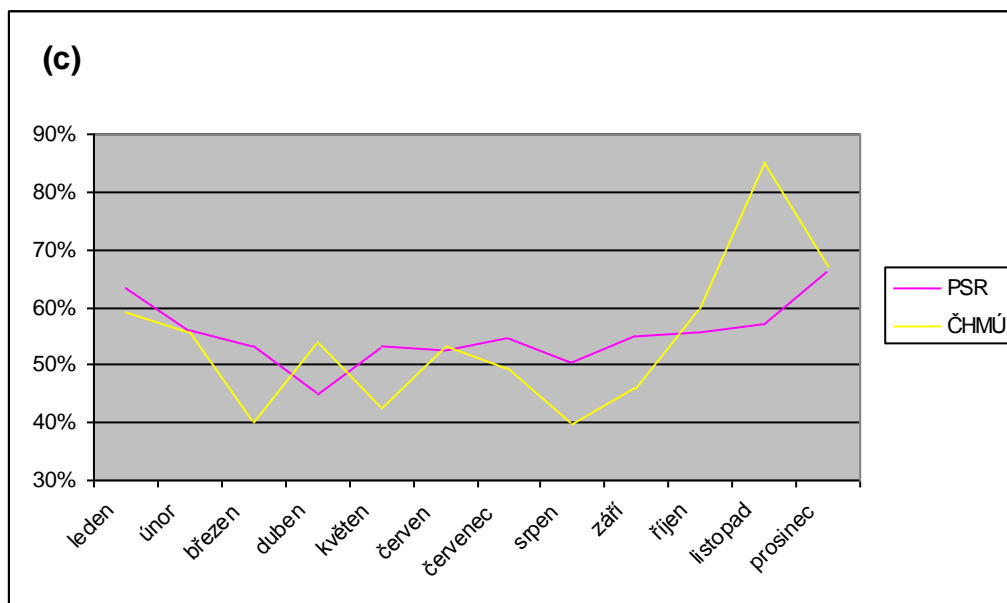


Na grafu 2 jsou zobrazeny křivky poměru difúzního a globálního záření v průběhu roku. Křivka vyjadřuje kolik procent globálního záření je tvořeno zářením difúzním. Jak můžeme vidět, skutečně naměřené hodnoty jsou více kolísavé než hodnoty vypočítané. Znovu se potvrzuje, že model počítá s předem definovanými parametry, kde průběh křivky v průběhu roku je plynulejší než v případě skutečnosti. Zajímavá je situace v listopadu, kdy model výrazně podhodnocuje naměřené hodnoty, přestože v průběhu roku výsledky spíše nadhodnocuje. Tento jev může být způsoben tím, že model předpokládá méně

oblačnosti pro tento měsíc. Tato situace je v menší míře patrná také v období dubna, kdy je obvyklé „aprílové“, tedy nepředvídatelné a rychle se měnící, počasí.

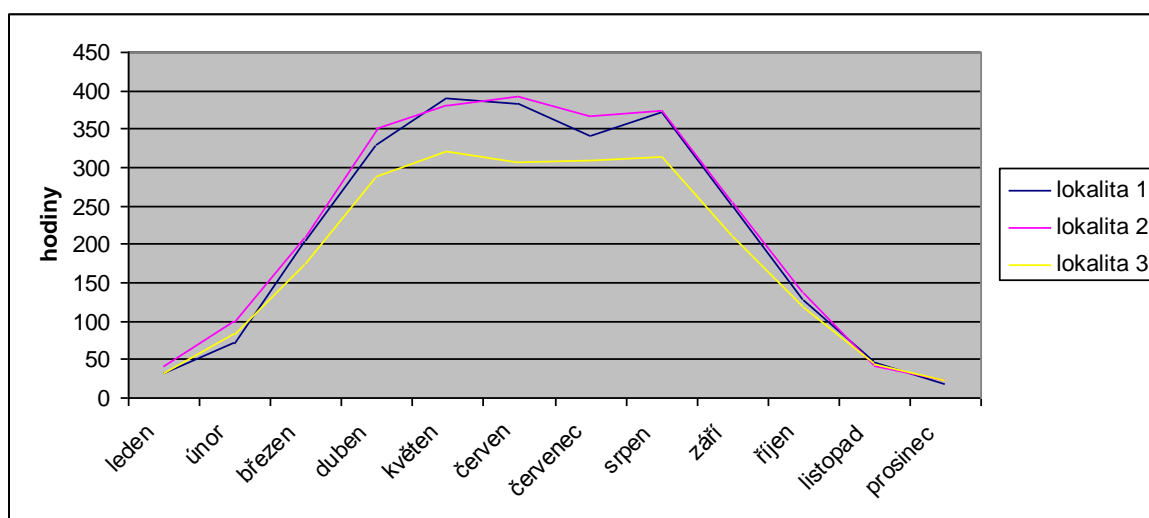
**Graf 2: Poměr difúzního a globálního záření pro lokalitu 1 (a), lokalitu 2 (b) a lokalitu 3 (c)**





Znečištění atmosféry se projevuje snížením přímého záření a zvýšením záření difúzního. Dochází ke zvýšené odrazivosti slunečních paprsků při průchodu atmosférou. Srovnání hodnot nám dokazuje zvýšené hodnoty difúzního záření v případě lokality 3 charakterizované jako průmyslová oblast. Zbylé dvě lokality mají hodnoty nižší a poměrně stejné. To potvrzuje i následující graf (graf 3), kde je znázorněno trvání přímého záření vypočtené modelem *Point Solar Radiation*. V případě lokality 3 s větším znečištěním atmosféry se křivka pohybuje v nižších hodnotách než křivky lokality 1 a 2. Rozdíly míry znečištění pro analyzovaná území nejsou velká, proto nejsou ani rozdíly křivek tak velké.

**Graf 3: Trvání přímého záření**



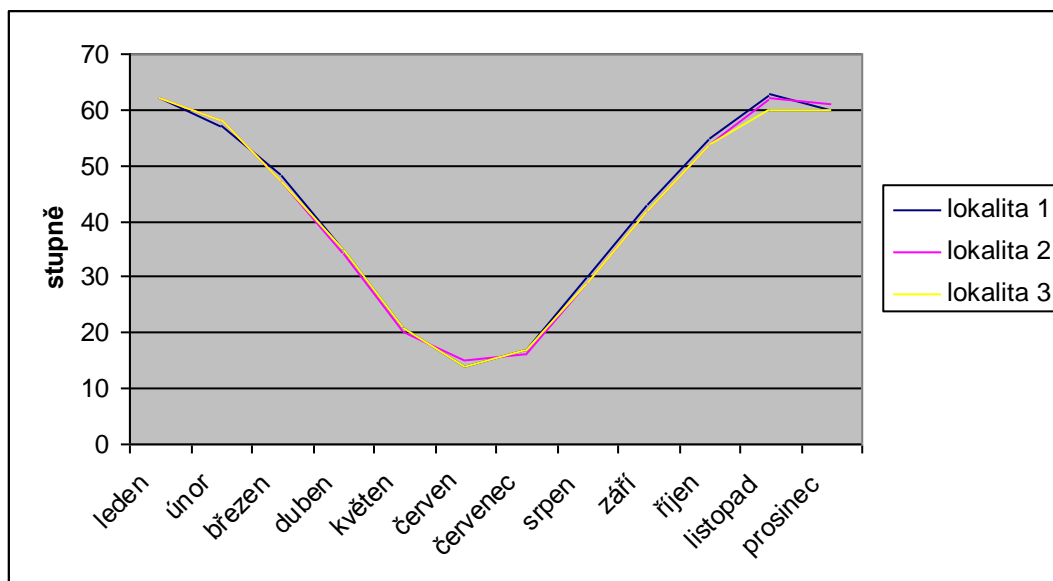
Grafické srovnání i statistická analýza potvrdila spolehlivost modelu. Bude tedy přistoupeno k další části, tedy hodnocení lokalit.

Výsledky prostorové analýzy jsou zobrazeny v příloze 1, 2 a 3. Oblasti s nejvyšším hodnocením jsou ideálními plochami k stavbě FVE s instalovaným výkonem větším než 3 MW. Čím nižší hodnocení oblasti, tím méně vhodné podmínky tam jsou pro výstavbu takovéto elektrárny. Výstavba elektrárny a návratnost investic jsou kombinací několika faktorů, kterými jsou investiční náklady (plány FVE, materiál, koupě pozemku), provozní náklady (platy zaměstnancům, servis), místní cena energie a její předpokládaný vývoj, dopravní dostupnost, síť odběratelů a energetické zisky solární soustavy. V tomto případě bylo nahlíženo především z hlediska energetických zisků. To může být důvodem, proč nejsou stávající elektrárny v oblastech s nejvyšším ohodnocením. Jde o to, že tato analýza je jen jedním z faktorů pro investory, i když je zde zahrnut i parametr land cover.

Celkově lze konstatovat, že tyto oblasti mají vysoký energetický potenciál. Hodnoty oblasti se pohybují ve velmi nízkých hodnotách. Minimální možné hodnoty jsou 3 (plocha s nejvíce vyhovujícími podmínkami) a 15 (plocha s nejméně vyhovujícími podmínkami). Nejvyšší variabilitu má oblast 2, kde se hodnoty pohybují od 5 do 14. Přestože značná část území se spíše pohybuje ve vyšších hodnotách, současná FVE je umístěna v oblasti s hodnotami nejnižšími (5 – 7). Nejnižší rozpětí hodnot najdeme u lokality 3, která má rozpětí od 6 do 13. Území je značně nejednotné a nejnižší hodnoty netvoří dostatečně velkou souvislou plochu pro výstavbu FVE. Současná elektrárna stojí na místě s hodnotami 10 – 12, tedy téměř nejvyššími v této lokalitě. Jedním z hlavních důvodů pro rozhodnutí postavit elektrárnu právě zde, byl s velkou pravděpodobností fakt, že tato plocha je součástí průmyslového areálu a lze jej takto efektivně využít. Dá se říci, že FVE v lokalitě 1 byla umístěna na vhodném místě. FVE stojí za městem na orné půdě a na území hodnocené nejnižšími hodnotami (6 – 10). Celkově se dá také říci, že tato lokalita (ze tří hodnocených) má, podle provedeného fotovoltaického hodnocení, nejvíce vhodných ploch pro stavbu FVE.

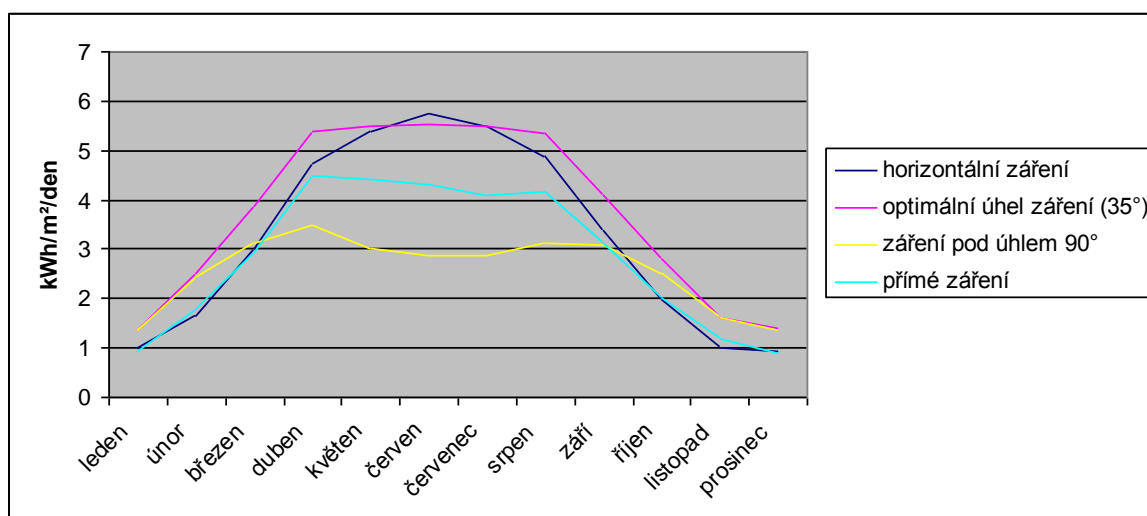
Optimální sklon panelů během roku podle předpokladu aplikace *PVGIS* je pro všechny tři FVE téměř stejný (graf 4). Doporučením pro celý rok je ve všech třech případech shodně 35°. Sklon panelu je závislý především na výšce Slunce nad obzorem, a přestože analyzované lokality leží na jiné zeměpisné šířce, toto rozmezí nestačí, aby se projevil větší odchyly. Dalším faktorem je rozmístění samotných panelů, kdy jedna řada může stínit řadě umístěné v těsné blízkosti za ní. Tento sklon by měl tyto vlivy eliminovat.

**Graf 4: Optimální sklon panelu v průběhu roku podle PVGIS**



Graf 5 potvrzuje doporučený optimální sklon panelů. Na obrázku jsou představeny průměrné hodnoty denního záření v průběhu roku vypočítané aplikací PVGIS. Z grafu je patrné, že nejvíce záření v průběhu roku dopadá na optimálně nakloněnou rovinu, v tomto případě 35°. Potvrzuje se tedy, že optimální sklon panelů z hlediska množství příjmu slunečního záření je 35°. Můžeme říci, že v případě vybraných elektráren je sklon jejich panelů téměř optimální. Průběhy křivek v grafech všech tří lokalit jsou si velice podobné. Tento graf byl vypočten pro lokalitu 2.

**Graf 5: Průměrné denní záření pro jednotlivé měsíce podle PVGIS**



## 6 Diskuse a závěr

### 6.1 Diskuse

V úvodní části bakalářské práce jsem vysvětlila pojmy fotovoltaika, fotovoltaický jev a fotovoltaická elektrárna. Následovalo představení podmínek pro stavbu solárních elektráren a shrnutí stávajících modelů v prostředí GIS. Praktická část potvrdila skutečnost, že záření podléhá sezónním změnám v rámci rotace Země i jeho oběhu kolem Slunce. V lokální úrovni jsou hlavním aspektem sklon a orientace svahů.

Důležitým vstupem pro model byl kvalitní DEM, od kterého se pak odráží kvalita analýzy. Zadání vlastních parametrů je pro uživatele jednoduché a srozumitelné. V případě aplikace je potřebné znát údaje o elektrárně.

Naměřená data z elektráren se po několika neúspěšných pokusech nepodařilo získat. Proto bylo nutné praktickou část rozdělit do dvou částí. První část analyzuje vhodnost, spolehlivost a možnosti modelu a druhá část vybrané lokality z hlediska fotovoltaické využitelnosti s využitím modelu a land cover. Porovnání naměřených a vypočítaných hodnot bylo provedeno vizuálně, pomocí grafů, a statisticky s využitím programu IBM SPSS 20. Na základě těchto výsledků byl model zhodnocen jako vhodný pro nadcházející analýzu. V druhé části byly vytvořeny rastry ukazující fotovoltaickou využitelnost území a dány do kombinace s land cover pomocí funkce *Raster Calculator* pro celkové zhodnocení oblastí a zhodnocení polohy stávajících elektráren.

Analýza dále potvrdila optimální sklon panelů pro naše zeměpisné šířky, jaké se uvádí v literatuře. Také, jak už bylo řečeno, málo členitý povrch je vhodnějším územím pro stavbu solárních elektráren. Při hodnocení modelu by bylo také zajímavé zjistit, jaký vliv má oblačnost na vypočtené hodnoty. V této práci to nebylo zjišťováno z důvodů finanční a časové náročnosti.

Chtěla bych zde ještě zmínit ovlivnění konečného výběru modelu *Area Solar Radiation*. Původním záměrem bylo pro analýzu vybrat model *r.sun*. Tento model se spouští v open source softwaru GRASS GIS, což je jeho velkou výhodou. Software je snadno dostupný a za jeho používání uživatel neplatí. Bohužel je ale uživatelsky a technicky náročný. Jak jsem zjistila, jeho instalace a následná práce v tomto prostředí čítá řadu problémů. Přestože si myslím, že *r.sun* je o něco málo lepším nástrojem než funkce *Area Solar Analyst*, např. nezanedbává rozdíly zeměpisné šířky na malém území, doporučila bych uživatelům využít *Area Solar Analyst*, právě pro jednoduchou obsluhu a kvalitní výsledky.

## 6.2 Závěr

Cílem práce bylo zhodnocení využitelnosti modelů GIS pro fotovoltaiku a analýza vybraných území z hlediska fotovoltaiky prostřednictvím geoinformačních systémů. Práce demonstruje uplatnění geoinformačních systémů v oblasti fotovoltaiky a analyzuje stávající geoinformační metody a postupy umožňující fotovoltaické modelování krajiny. Snahou bylo dále představit fyzicko-geografické podmínky a nastínit legislativní prostředí, kteréžto jsou ovlivňujícími faktory. Prostřednictvím modelu *Area Solar Radiation*, *Point Solar Radiation* a aplikace *PVGIS* bylo hodnoceno fotovoltaické využití zvolených lokalit. Výsledky modelu a aplikace byly porovnány s hodnotami naměřenými meteorologickými stanicemi ČHMÚ. Ukázkou fotovoltaické využitelnosti jsou výsledné mapy.

Práci hodnotím jako přínosnou a velice zajímavou. Přes nemalé překážky v získání skutečných dat pro konfrontaci s vypočtenými teoretickými hodnotami byly cíle práce splněny.

Přínosem práce je potvrzení využitelnosti GIS ve fotovoltaice. Přístupy využívané v bakalářské práci dokázaly, že se výsledky téměř neliší od zjištěné skutečnosti a faktů z dostupné literatury a proto je lze využívat i v praxi. Především volně dostupná aplikace, která je snadno ovladatelná, a kterou bych doporučila pro rychlý a celkem přesný obraz o fotovoltaickém potenciálu zájmového území. Nevýhodou modelu může být dostupnost nástrojů *Solar Radiation*, které patří mezi nástroje komerčního softwaru.

Jako další námět práce se nabízí zhodnocení využitelnosti dalších dostupných aplikací v oblasti fotovoltaiky, kterých v poslední době přibývá.



## Seznam zdrojů

ArcČR 500 verze 2.0: digitální geografická databáze

ARCTDATA PRAHA, s. r. o. (2015): ArcGIS. [online]. [cit. 13. 1. 2015]. Dostupné z: <http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/software/arcgis/>

BECHNÍK, B. (2013): Méně slunečního záření snižuje zisky solárníků i náklady na podporu fotovoltaiky. V rozhovoru pro ČT, reportáž na téma: Postrach pro fotovoltaiky – špatné počasí a nepřesné předpovědi (25. 5. 2013). [online]. [cit. 18. 7. 2014]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9943-mene-slunecniho-zareni-snizuje-zisky-solarniku-i-naklady-na-podporu-fotovoltaiky>

BRÁZDIL, R. (1988): Úvod do studia planety Země. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, vydání 1. 365 s.

Czech RE Agency (2009): Nejčastější dotazy (FAQ). [online]. [cit. 4. 4. 2015]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika/faq>

ČAPEK, R. (1992): Planetární geografie. Praha, 84 s. ISBN 80-7066-698-6

ČEZ, a. s. (2014a): Podpora obnovitelných zdrojů elektřiny. Výroba elektřiny. SKUPINA ČEZ. [online]. [cit. 15. 3. 2014]. Dostupné z: [http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/podpora-oze.html#zdroje\\_energie](http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/podpora-oze.html#zdroje_energie)

ČEZ, a. s. (2014b): Využití sluneční energie. Výroba elektřiny. SKUPINA ČEZ. [online]. [cit. 13. 4. 2014]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/slunce/informace-o-slunecni-energetice.html>

Česká agentura pro obnovitelné zdroje energie (2009): Fotovoltaika pro každého. [online]. [cit. 29. 1. 2014]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika>

ČHMÚ (2014): Měsíční přehledy pozorování. Historická data, počasí, měsíční data. [online]. [cit. 29. 7. 2014]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabCoJSPTabC/P4\\_Historicka\\_data/P4\\_1\\_Pocasi/P4\\_1\\_9\\_Mesicni\\_data&nc=1&portal\\_lang=cs#PP\\_Mesicni\\_data](http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabCoJSPTabC/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_9_Mesicni_data&nc=1&portal_lang=cs#PP_Mesicni_data)

ČÚZK (2014): Vyhledání parcely. Nahlížení do katastru nemovitostí. [online]. [cit. 7. 8. 2014]. Dostupné z: <http://nahlizeniidokn.cuzk.cz/VyberParcelu.aspx>

DUBAYAH, R. a RICH, P. M. (1995): Topographic solar radiation models for GIS. International Journal of Geographical Information Systems, 9, č. 4, str. 405–419

Ekolist.cz (2010): Poslanci schválili omezení podpory fotovoltaiky, chystají se arbitráže. [online]. [cit. 14. 4. 2014]. Dostupné z: [http://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/poslanci-schvalili-omezeni-podpory-fotovoltaiky-chystaji-se-arbitraze?sel\\_ids=1](http://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/poslanci-schvalili-omezeni-podpory-fotovoltaiky-chystaji-se-arbitraze?sel_ids=1)

Ekowatt (2008): Modely pro výpočet. [online]. [cit. 19. 7. 2014]. Dostupné z: <http://fotovoltaika.ekowatt.cz/modely-pro-vypocet.php>

ELEKTRARNY.PRO (2014): Seznam a mapa solárních elektráren v ČR. [online]. [cit. 5. 8. 2014]. Dostupné z: <http://www.elektrarny.pro/seznam-elektren.php?kj=nic&os=nic&vn-do=3&vn-do=&nv=&ml=&le=&zobraz=Hledej>

EnerTec Solutions, s.r.o. (2014): Úvod do problematiky. [online]. [cit. 15. 1. 2014]. Dostupné z: <http://www.enertec.cz/teorie>

ESRI (2014): Area Solar Radiation (Spatial Analyst). ArcGIS Help 10.2, 10.2.1, and 10.2.2. [online]. [cit. 15. 1. 2015]. Dostupné z: [http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/Area\\_Solar\\_Radiation/009z000000t5000000/](http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/Area_Solar_Radiation/009z000000t5000000/)

ESRI (2015): ArcGIS Spatial Analyst. [online]. [cit. 13. 1. 2015]. Dostupné z: <http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/spatialanalyst>

Fotovoltaické panely (2012): Největší české elektrárny. [online]. [cit. 13. 4. 2014]. Dostupné z: <http://www.fotovoltaickepanely.eu/fotovoltaika/nejvetsi-ceske-elektarny/>

Fotovoltaika (2014): Fotovoltaika. [online]. [cit. 28. 1. 2014]. Dostupné z: <http://www.fotovoltaika-panely.com/>

FU, P. a RICH, P. M. (1999): Design and Implementation of the Solar Analyst: an ArcView Extension for Modeling Solar Radiation at Landscape Scales. ITTC, University of Kansas, Proceedings of the Nineteenth Annual ESRI User Conference. [online]. [cit. 4. 5. 2015]. Dostupné z: <http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap867/p867.htm>

FVE Czech (2009): FVE CZECH tisková zpráva. [online]. [cit. 7. 8. 2014]. Dostupné z: [http://www.konsit.cz/uploaded/File/reference/FVE\\_CZECH\\_tiskova\\_zprava.pdf](http://www.konsit.cz/uploaded/File/reference/FVE_CZECH_tiskova_zprava.pdf)

FVE Czech (2010): Jedna z největších fotovoltaických elektráren na světě zahajuje provoz. Tisková kancelář, centrum tiskových zpráv. [online]. [cit. 7. 8. 2014]. Dostupné z: <http://tiskovakancelar.cz/stitek/fve-czech/>

GeoModel Solar (2014): pvPlanner methods. SolarGIS. [online]. [cit. 19. 7. 2014]. Dostupné z: <http://solargis.info/doc/pvplanner-methods>

geoview.info (2013): FVE Czech Smiřice I. [online]. [cit. 7. 8. 2014]. Dostupné z: [http://cz.geoview.info/fve\\_czech\\_smirice\\_i,200711736w](http://cz.geoview.info/fve_czech_smirice_i,200711736w)

Google (2014): Maps.google.com. [online]. [cit. 7. 8. 2014]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/preview>

HETRICK, W. A. a kol. (1993): GIS-based solar radiation flux models. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical papers. GIS, Photogrammetry and Modeling, 3, str. 132–143.

HOFIERKA, J. a ŠÚRY, M. (2002): The solar radiation model for Open source GIS: implementation and applications. Proceedings of the Open source GIS – GRASS users conference 2002, str. 1–19.

HUANG, S. a FU, P. (2009): Modeling Small Areas Is a Big Challenge. Using the solar radiation analysis tools in ArcGIS Spatial Analyst. ArcUser, ESRI. [online]. [cit. 17. 4. 2015]. Dostupné z: <http://www.esri.com/news/arcuser/0309/solar.html>

IEA (2010): Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy. [online]. [cit. 13. 4. 2014]. Dostupné z: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/name,3902,en.html>

Isofen Energy s. r. o. (2009): Teorie fotovoltaiky. [online]. [cit. 13. 4. 2014]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/fotovoltaika.aspx>

JELÍNEK, J. (2010): Nauka o Zemi pro technické obory. Výukový multimediální text, projekt FRVŠ č. 2104/2010, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Hornicko – geologická fakulta, Institut geologického inženýrství. [online]. [cit. 12. 7. 2014]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/jelinek/tc-atmosfera.htm>

JRC (2012a): Frequently asked questions about PVGIS and interactive maps. IET, PVGIS. [online]. [cit. 25. 7. 2014]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/info/faq.htm#PVGIS>

JRC (2012b): PVGIS solar radiation databases. [online]. [cit. 11. 8. 2014]. Dostupné z:

[http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/databasehelp\\_en.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/databasehelp_en.html)

JRC (2012c): Solar radiation and photovoltaic electricity potential country and regional maps for Europe (Africa). IET, PVGIS. [online]. [cit. 19. 7. 2014]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eur.htm>

KRUTIŠ, D. (2010): Znojmo obkličují další solární panely. deník.cz, Znojemský (22. 7. 2010). [online]. [cit. 7. 8. 2014]. Dostupné z: <http://znojemsky.denik.cz/podnikani/znojmo-obklicuji-dalsi-solarni-panely20100721.html>

KRYZA, M. a kol. (2010): Spatial information on total solar radiation: Application and evaluation of the r.sun model for the Wedel Jarlsberg Land, Svalbard. Polish Polar Research, 31, č. 1, str. 17–32.

KUMAR, L. a kol. (1997): Modelling topographic variation in solar radiation in a GIS environment. International Journal of Geographical Information Science, 11, str. 475–97.

LIBRA, M. a POULEK, V. (2010): Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. 2. vydání. Praha: ILSA, 2010. 165 s. ISBN 978-80-904311-5-7.

LIMBERK, O. (2009): Solární energetika v České republice. ČVUT v Praze. [online]. [cit. 10. 2. 2014]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/10-limberk.pdf>

McKENNEY, D. W. a kol. (1999): Calibration and sensitivity analysis of a spatially – distributed solar radiation model. International Journal of Geographical Information Science 13, 1, str. 49–65.

MESoR (2010): Management and Exploitation of Solar Resource Knowledge. [online]. [cit. 19. 7. 2014]. Dostupné z: <http://www.mesor.org/>

Meteocentrum (2014a): Oblačnost. Encyklopedie. [online]. [cit. 8. 7. 2014]. Dostupné z: <http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/oblacnost.php>

Meteocentrum (2014b): Sluneční svit. Encyklopedie. [online]. [cit. 8. 7. 2014]. Dostupné z: <http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/slunecni-svit.php>

Micronic (2009a): Základní informace: Fotovoltaický jev. [online]. [cit. 10. 2. 2014]. Dostupné z: <http://www.micronix.cz/solarix/zakladni-informace/fotovoltaicky-jev>

Micronic (2009b): Základní informace: Solární panely. [online]. [cit. 10. 2. 2014]. Dostupné z: <http://www.micronix.cz/solarix/zakladni-informace/solarni-panely>

Ministerstvo životního prostředí (2012): Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu. [online]. [cit. 14. 4. 2014]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/cz/kjotsky\\_protokol](http://www.mzp.cz/cz/kjotsky_protokol)

Planety sluneční soustavy (2014): Střídání ročních období. Astronomia, Planety. [online]. [cit. 30. 6. 2014]. Dostupné z: <http://astronomia.zcu.cz/planety/zeme/1940-stridani-rocnich-obdobi>

SKEIKER, K. (2005): Correlation of global solar radiation with common geographical and meteorological parameters for Damascus, Syria. Energy Conversion and Management, 47, č. 4, str. 331–345.

Smiřice a Holohlavy (2014): Smiřice - fotovoltaická elektrárna. [online]. [cit. 10. 8. 2014]. Dostupné z: <http://www.smirice.eu/okoli/panorama/elektrarna.htm>

snizujeme.cz (2013a): Fotovoltaická elektrárna v Brně – FVE letiště Tuřany. [online]. [cit. 31. 7. 2014]. Dostupné z: <http://www.snizujeme.cz/clanky/fve-brno-letiste-turany/>

SOLARENVI a. s. (2014): O sluneční energii. Fotovoltaika. [online]. [cit. 28. 7. 2014]. Dostupné z: <http://www.solarenavi.cz/slunecni-elektrarny/slunecni-energie/>

Solární energie.info (2014): Výhody i nevýhody solární energie. Informační portál o solární energii a jejím využití. [online]. [cit. 28. 1. 2014]. Dostupné z: <http://www.solarni-energie.info/vyhody.php>

ŠKORPÍK, J. (2013): Sluneční záření jako zdroj energie. Transformační technologie. [online]. [cit. 25. 7. 2014]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/slunecni-zareni-jako-zdroj-energie.html>

TAUŠ, P. (2009): Plánovanie výstavby fotovoltaickej elektrárne na Slovensku – 1. Energie 21, č. 3, str. 38–41.

VANÍČEK, K. a SKALÁK, P. (2013): Radiační síť ČHMÚ, 10/2013. ČHMÚ. [online]. [cit. 5. 8. 2014]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ozon/RadSitCHMU.gif>

WINDENERGIE, s. r. o. (2014): FVE Verne. [online]. [cit. 7. 8. 2014]. Dostupné z: <http://www.windenergie.eu/index.php?id=27>

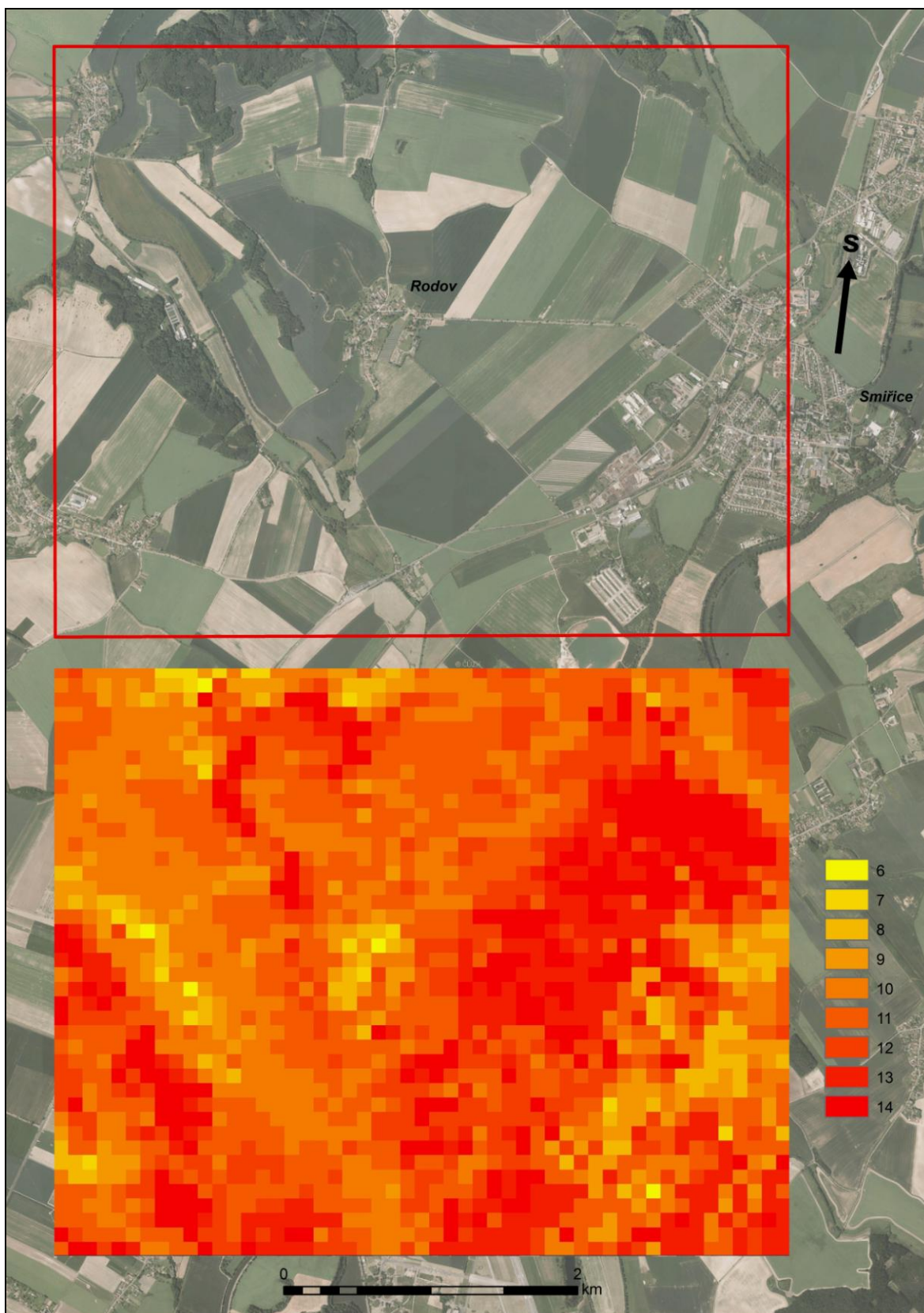
Zeměpis.eu (2010): Zeměpisná délka a šířka. [online]. [cit. 8. 7. 2014]. Dostupné z: <http://www.zemepis.eu/zemepisna-delka-a-sirka.p30.html>

# Přílohy

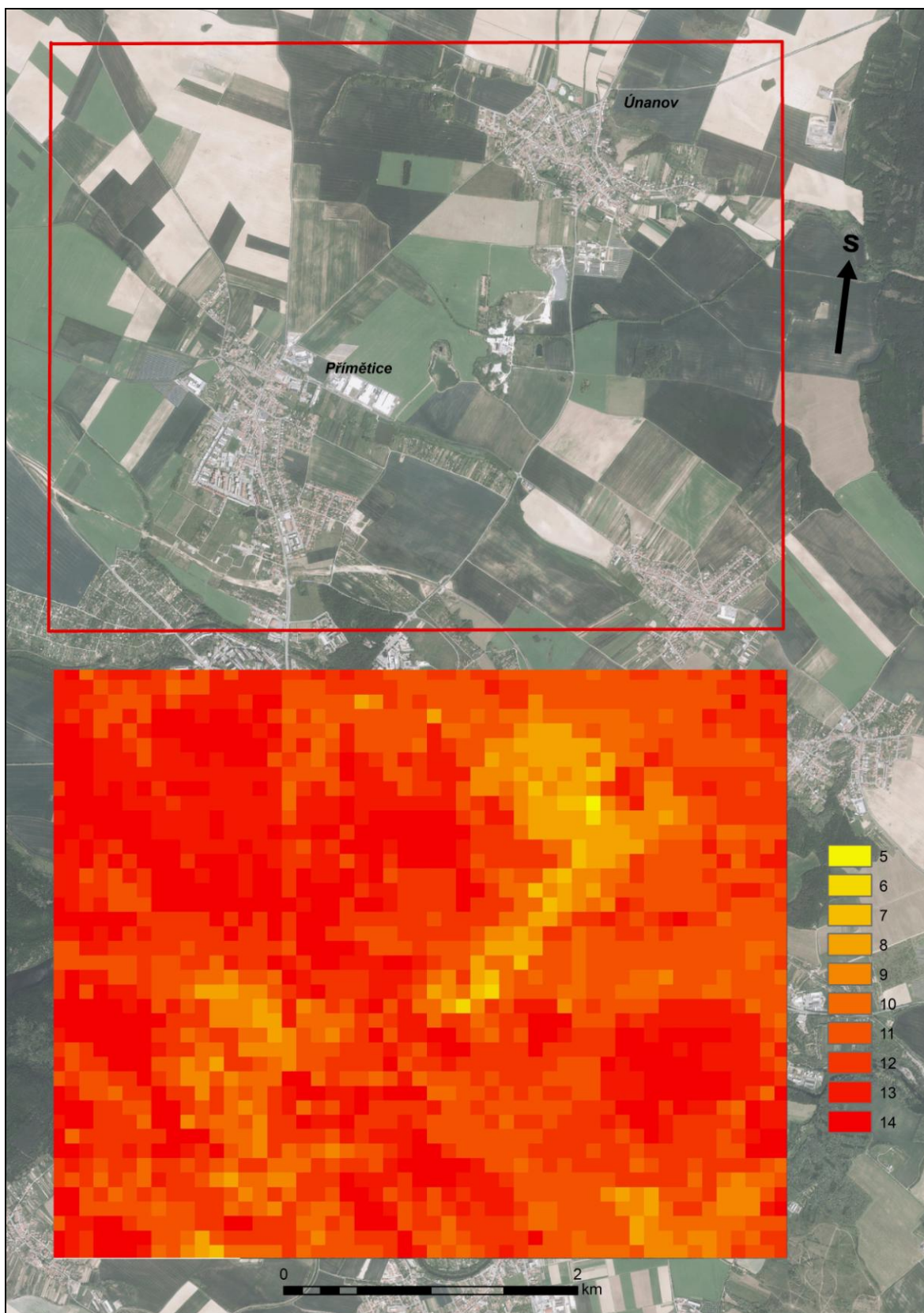
## Příloha 1: Párový t-test v IBM SPSS 20 pro globální záření lokality 1

Paired Samples Test								
	Paired Differences							
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	99% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
				Lower	Upper			
Pair 1 PSR - CHIMU	3,19083	10,52332	3,03782	-6,24405	12,62571	1,050	11	,316

## Příloha 2: Fotovoltaický potenciál lokality 1



### Příloha 3: Fotovoltaický potenciál lokality 2





#### Příloha 4: Fotovoltaický potenciál lokality 3

