

DELIVERABLE T1.3.1

**D.T1.3.1 – Nadnárodní metodologie pro odhad FV
potenciálu střech budov**

03/2018





D.T1.3.1: Nadnárodní metodologie pro odhad FV potenciálu střech budov

A.T1.3 Odhad potenciálu fotovoltaických elektráren a tepelných ztrát

Vydáno: Partner č. 01

Datum: Březen 2018

Autoři		
	Název (organizace)	Jméno, e-mail
WP vedoucí	Bruno Kessler Foundation (FBK), PP1	Fabio Remondino, remondino@fbk.eu
Podílející se účastníci	FBK (PP1) EUWT NOVUM (PP12) EZVD (PP2)	Fabio Remondino, remondino@fbk.eu Fabio Menna, fmenna@fbk.eu Isabella Toschi, toschi@fbk.eu Anna Nowacka, anna.nowacka@euwt-novum.eu Valerija Petrinec, valerija@ezavod.si



1. Úvod a cíle

Výstup D.T1.3.1 patří k aktivitám související s "odhadem fotovoltaického (FV) potenciálu a tepelných ztrát" (A.T1.3). Cílem dokumentu je především podat zprávu o vyvíjených řešeních projektu s cílem odvodit fotovoltaický potenciál střech budov za účelem poskytnutí množství zelené / obnovitelné energie, kterou by občan mohl využít. Navrhované řešení využívá geoprostorová data dříve shromážděných partnery pilotních akcí (D.T1.1.1), harmonizovanými (D.T1.1.2) a strukturovanými v geoprostorových databázích (D.T1.1.3). Produkty jsou solární mapy, které se používají v aplikaci OnePlace (O.T2.1) a vizualizují na vrcholech 3D budov (D.T1.2.3) jejich fotovoltaický potenciál. Dokument je vyhrazen pro projektové partnery (PP), recenzenty a JS.

2. Solární záření a generování solární mapy

Solární technologie je jednou z možností výroby čisté energie na místě, stejně jako snížení emisí CO₂. Pomocí fotovoltaických (FV) panelů se transformuje přichodí solární energie na elektřinu. V dnešní době jsou obvykle technologie pro solární panely založeny na krystalickém křemíku (c-Si), teluridu kadmia (CdTe), měď-indium-gallium-selenidu (CIGS) nebo amorfním křemíku (a-Si) s efektivitou konverze až do 20 % přichodího solárního záření. Míra konverze solárního záření na elektřinu závisí na technologii fotovoltaických panelů (a na všech ostatních zařízeních, jako je střídač, připojovací vodiče atd.).

Identifikace vhodných ploch v městských nebo venkovských oblastech hraje důležitou roli jak pro soukromého investora, tak pro místní veřejnou komunitu. FV systémy musí být správně umístěny a orientovány v prostředí, aby vyhovovaly požadovaným specifikacím (doba slunečního záření, orientace na ploše, typ panelu, charakteristiky elektrické sítě apod.). Aby bylo možné optimálně využít výhody solárních technologií, je důležité, aby předpovědní modely poskytovaly spolehlivé výsledky (např. solární mapy). Takové výsledky závisí na dostupných datech, například od meteorologických datových řad až po přesné geometrické modely budov a nedalekého terénu. Mezi faktory ovlivňující správný odhad přichodího slunečního paprsků patří atmosférické podmínky (např. zákal vzduchu, oblačnost, aerosol, opar) a topografie (např. stínění kopci, hory, okolní budovy, vegetace atd.).

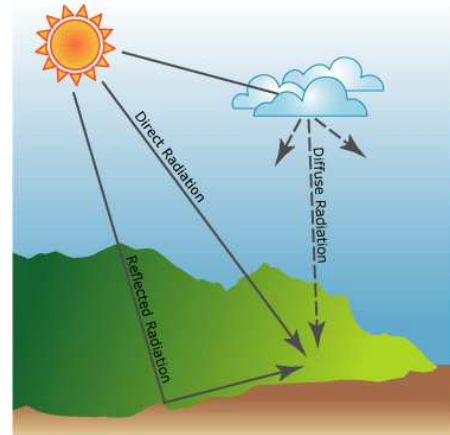
Solární záření je výkon na jednotku plochy přijatý ze Slunce ve formě elektromagnetického záření v rozsahu vlnových délek měřicího přístroje. Solární záření (obr. 1), pokud je integrováno v průběhu času, dává **solární ozáření**. **Solární mapy** ukazují množství slunečního záření, které dorazí k Zemi v určeném časovém úseku.

Pro naše potřeby nejdůležitějšími zářeními jsou:

- *Přímé (normální) záření*, tj. záření, které se dostává na povrch Země a je měřené na daném místě povrchovým prvkem kolmo ke Slunci. Ztráty závisí na denní době (délka dráhy světla skrz atmosféru závisí na úhlu slunečního záření), oblačnosti, vlhkosti atd.
- *Difuzní (horizontální) záření*, tj. záření na povrchu Země rozptýlené nebo odražené atmosférou od světla. Měří se na vodorovném povrchu spolu se zářením pocházejícím ze všech bodů na obloze, s výjimkou záření z okolí Slunce (záření přicházející ze Slunce).
- *Odrážející se záření*, tj. Záření, které se odráží od

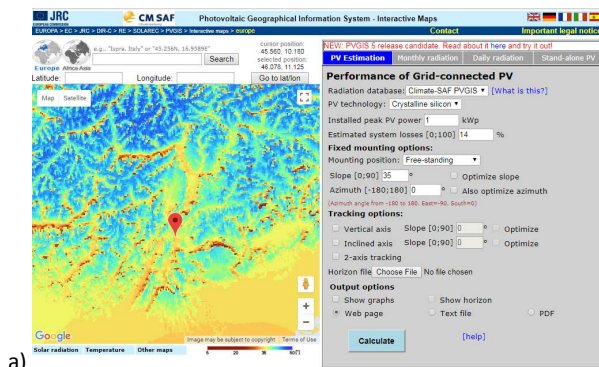
neatmosférických věcí, jako je například země. Tmavý asfalt odráží asi 4% přicházejícího světla, zatímco zelená plocha trávy asi 25%. Vzhledem k tomu, že solární panely mají tendenci být nakloněny od země, toto odražející se záření je zřídka kdy zvažováno.

- **Globální (horizontální) záření**, tj. celkové záření ze Slunce na vodorovném povrchu Země. Je to součet přímého záření (po zohlednění slunečního zenitového úhlu slunce) a difuzního horizontálního záření.



Obrázek 1: Solární záření.

Jednotka slunečního záření je watt na metr čtvereční (W/m^2), ačkoliv se v průmyslu používá wathhodina na metr čtvereční (Wh/m^2) za jednotku času.



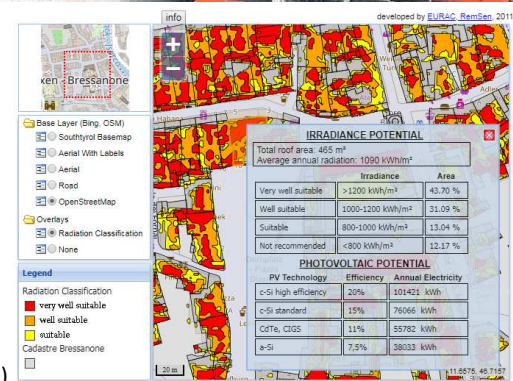
a)



b)



c)



d)

Obrázek 2: Rozdílné příklady online solárního atlasu nebo map v rozloze (rozdílení v km) a měřtku města (detail budovy): PVGIS (a), Berlín (b), Vídeň (c), Brixen (d).

3. Dostupné nástroje webGIS solárních map a odhadu a vizualizace potenciálu PV

Přijetí solárních technologií k výrobě zelené energie pro potřeby veřejného a soukromého sektoru rychle roste po celé Evropě, a to také díky rozsáhlým solárním katastrálním mapám ve městech, často dostupných



on-line, které umožňují každému získat solární mapy na určitém místě na Zemi. Online služby solárních katastrů (nebo solárních GIS) (obr. 2) zobrazují předem vypočtené a dotazovatelné solární mapy zemského povrchu a umožňují simulovat výrobu solární energie. Tyto služby lze rozdělit na:

- služby s velkým / středním rozsahem, jako je Global Solar Atlas¹, Solar-Med-Atlas², SOLEMI³ nebo PVGIS⁴: vzhledem k nízkému geometrickému rozlišení použitých dat takové služby neumožňují přesné odhady a odhady fotovoltaického potenciálu na střechách.
- služby v městském měřítku, např. solární atlas pro Berlín⁵, Vídeň⁶, Bressanone/Brixen (Itálie)⁷: solární mapy jsou vypočteny v měřítku m/cm geoprostorových dat digitálního povrchového modelu (DSM) / digitálního terénního modelu (DTM) a pak se zobrazují na vrcholech modelů (LOD0-1-2).

Dostupné nástroje se obvykle skládají ze dvou částí:

- interaktivní mapa pro zkoumání potenciálu solární energie (data záření) vypočítané v určitém měřítku a určitým modelem; data slunečního záření na povrchu Země se normálně vypočítají pomocí (i) měření zeměpyranometrem a interpolace dat, pokud nejsou k dispozici nástroje, nebo (ii) satelitního pozorování s ohledem na světlo odražené od země nebo od mraků a s ohledem na záření absorbované atmosférou nebo odražené mraky.

Simulační fotovoltaický nástroj pro výpočet solární elektřiny závisí na vybraných panelech a vizualizaci výsledků v podobě dotazovatelných barevných střech budov s výrobními křivkami.

V příloze dodávky jsou zobrazeny vypočítané přímé a globální záření, jakož i potenciál FV v zemích BOOSTEE-CE. Jsou to standardní mapy, které zvažují data od roku 1996 do roku 2016.

¹ <http://globalsolaratlas.info>

² <http://www.solar-med-atlas.org/>

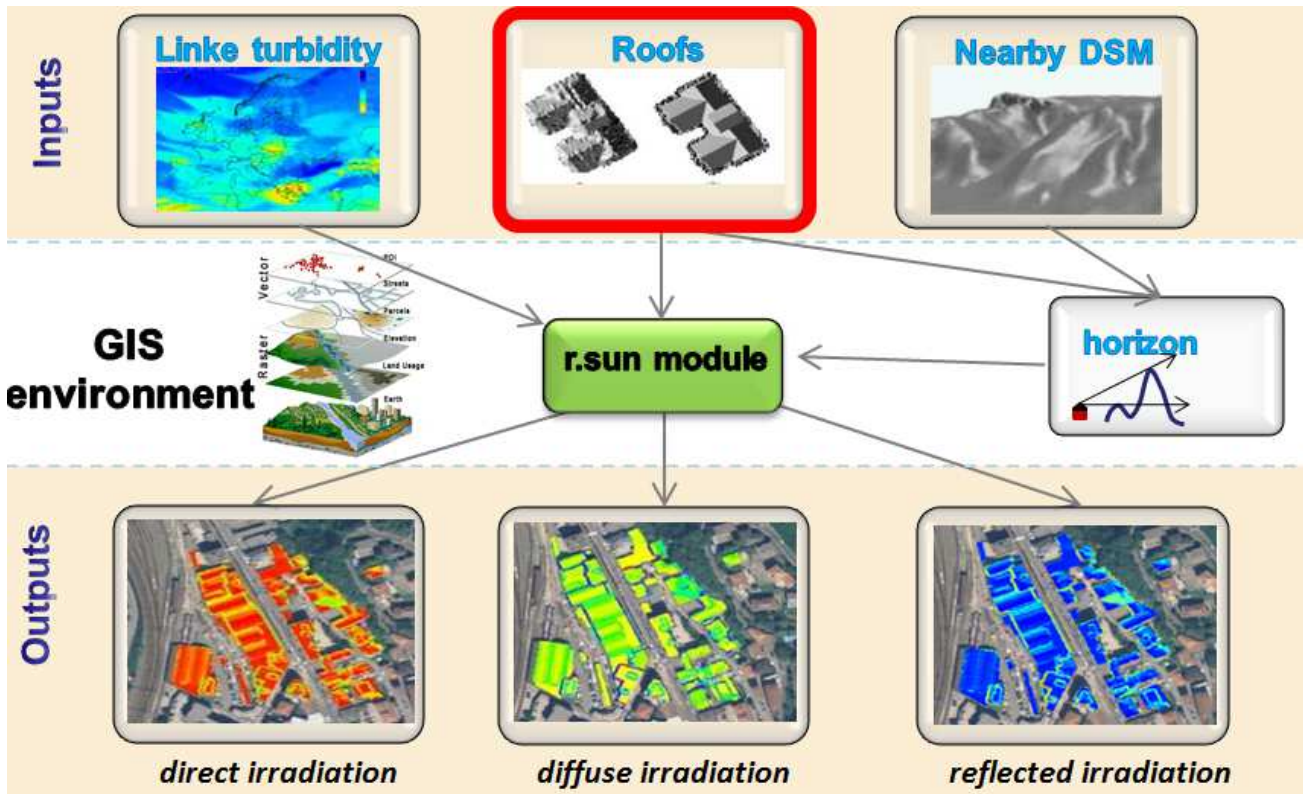
³ <http://www.solemi.com>

⁴ <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>; Šúri, M., Huld, T., Dunlop, E.D., Albuison, M., Wald, L., 2006: Online data and tools for estimation of solar electricity in Africa: the PVGIS approach. Proc. of the 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Dresden, Germany

⁵ www.businesslocationcenter.de/en/berlin-economic-atlas/the-project/project-examples/solar-atlas

⁶ <https://www.wien.gv.at/umweltgut/public/>

⁷ www.eurac.edu/en/research/technologies/renewableenergy/projects/PVinitiative.aspx



Obrázek 3: Metodologie (Sekce 4) vyvinutá a stavěná pro výpočet solárních map a potenciálu FV budov v oblastech projektu BOOSTEE-CE.

4. Metodologie BOOSTEE-CE pro odhad potenciálu FV

Řešení projektu závisí na dostupných / shromážděných datech (D.T1.1.1) a kvalita finálních solárních map závisí na kvalitě dostupných dat. Řešení (obr. 4) se spoléhá na modul r.sun, což je modul dostupný v otevřeném GIS softwaru GRASS⁸ a QGIS⁹. Modul vypočítává přímé, difúzní a odražené solární záření, které poskytují rastrové mapy pro daný den, geografickou polohu, povrch a stav atmosféry. Pokud se předpokládají podmínky jasné oblohy, je také zvážen stínový efekt topografie, tudíž se nezohledňuje prostorová a časová varianta oblačnosti. Tento předpoklad má tendenci podhodnocovat záření v zimním období a v létě jej nadhodnocovat.

Přesněji řečeno, metoda, která vyplývá z již ověřených zkušeností^{10,11,12,13} je založená na:

⁸ <https://grass.osgeo.org/>

⁹ <https://www.qgis.org/en/site/>

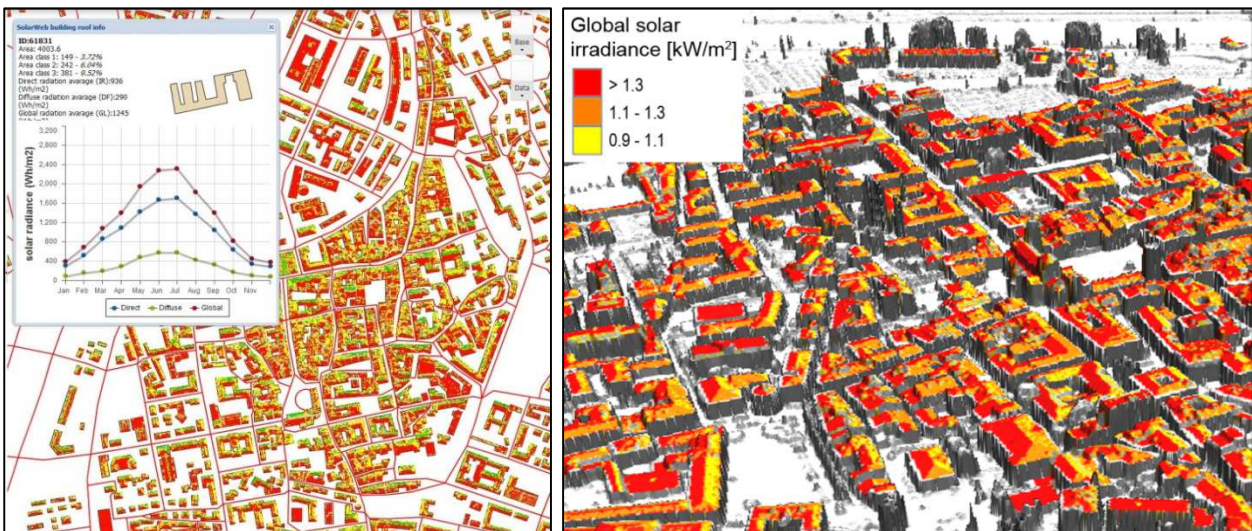
¹⁰ <https://www.google.com/get/sunroof/data-explorer/>,

¹¹ Nex, F., Remondino, F., Agugiaro, G., De Filippi, R., Poletti, M., Furlanello, C., Menegon, S., Dallago, G., Fontanari, S., 2013: 3D SolarWeb: a solar cadaster in the Italian alpine landscape. ISPRS Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 40(7/W2), pp. 173-178

¹² Agugiaro, G., Nex, F., Remondino, F., De Filippi, R., Droghetti, S., Furlanello, C., 2012: Solar radiation estimation on building roofs and web-based solar cadastre. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. I(2), pp. 177-182

¹³ Kryza, M., Szymanowski, M., Migala, K., et al., 2010: Spatial information on total solar radiation: Application and evaluation of the r.sun model for the Wedel Jarsberg Land, Svalbard. Polish Polar Research, Vol. 31-1, pp. 17-32

- Výběru oblasti zájmu (AOI) v DSM pilotní akce: v této oblasti jsou vypočteny mapy horizontů, orientační mapy a mapy svahů, aby bylo zváženo přílehlé prostředí a tím i možné stíny.
- Výpočtu mapy horizontů: pomocí podmodulu r.horizon jsou odvozeny mapy horizontu (tj. Mapy s výškou horizontálního úhlu vypočtené pomocí DSM) pro danou oblast. Obvykle jsou n mapy vytvořeny pro n směrů: pro každou buňku je úhel výšky horizontu uložen pro daný směr v mapě. Obvykle se v pravidelných intervalech vypočítá 16 nepřekrývajících se map horizontu. Předběžné výpočty map horizontu výrazně zrychlují odhad slunečního záření, protože v iteracích je počítáno pouze s příslušnou částí DSM. (Předběžné výpočty map horizontu výrazně zrychlují odhad sluneční záření, neboť v iteracích je zvažována pouze relevantní část DSM.)
- Nastavení faktoru zákalu vzduchu Linke pro Výběr oblasti zájmu (AOI): tento faktor je velmi vhodná aproximace pro modelování atmosférické absorpce a rozptýlení solárního záření za jasného nebe. Popisuje optickou tloušťku atmosféry díky absorpci vodní párou a absorpci a rozptylu částic aerosolu vzhledem k suché a čisté atmosféře. Zahrnuje zakalení atmosféry a útlum přímého slunečního záření. Čím větší je faktor Linke, tím větší je útlum záření v atmosféře za jasného nebe. Existuje mnoho dostupných databází a webových služeb, které nabízejí mapy faktoru zákalu Linke¹⁴.
- Použití korekčních koeficientů: pokud jsou k dispozici lokální pyranometry s dlouhou dobou akvizice, mapy solární záření mohou být opraveny získanými hodnotami hustoty toku slunečního záření.
- Generování map: generují se měsíční a roční standardní mapy záření.
- Vymezení tříd: překlasifikací map záření je nutné je rozřadit dle stupně ozáření, identifikovat a rozlišovat oblasti (zejména) na střeších podle množství příchozího záření.
- Ořez mapy: mapy jsou nakonec ořezány pomocí stop budovy a exportovány k využití v platformě OnePlace.



Obrázek 4 Příklad globálního záření s měsíční statistikou, vypočítaného na příkladu města Trento a vizualizovaném na modelech budov LOD0 a LOD2.

5. Závěr

Dokument popisoval nejmodernější odhad FV potenciálu (oddíl 2) a vizualizace (oddíl 3) v městských oblastech. Poté byl popsán vyvíjený projektový přístup: využívá dostupná geoprostorová data, zejména

¹⁴ Remund J., Wald L., Lefevre M., Ranchin T., Page J., 2003: Worldwide Linke turbidity information. Proceedings of ISES Solar World Congress



DSM / DTM a stopy map, aby se zvážily všechny možné okluze a faktory ovlivňující správný odhad potenciálu fotovoltaiky, stejně jako ořez map záření na střeších budov. Zohledněny jsou zejména atmosférické účinky, geografická poloha lokality a nadmořská výška, charakteristiky terénu a stínění komíny, vikýři, okolními budovami, vegetací a terénní topografií, zejména pokud se používají údaje DSM / DTM s vysokým rozlišením. Přijetí volného a otevřeného softwaru umožnilo relativně plynulý pracovní postup a představuje atraktivní volbu pro veřejnou správu, která je ochotna tuto službu zavést na městské / regionální úrovni, aby podpořila rozsáhlé přijetí politik udržitelné energetiky. Metodologie bude použita u všech pilotních projektů, aby byly odvozeny potřebné solární mapy (D.T1.3.2), které by byly použity do projektové platformy OnePlace (O.T2.1).

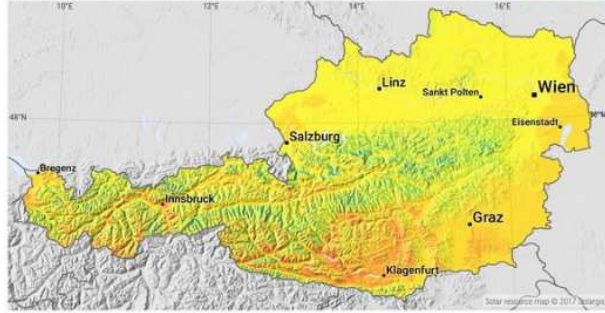
PŘÍLOHA

Rakousko

DIRECT NORMAL IRRADIATION

AUSTRIA

SOLARGIS

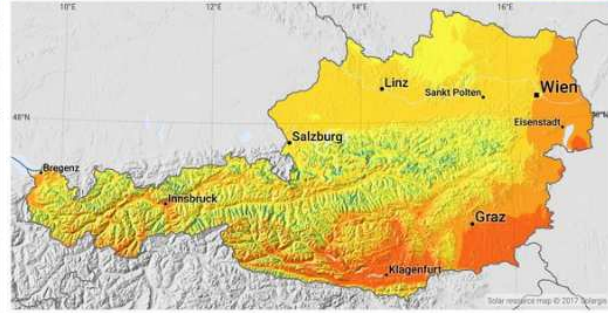


Average annual sum of DNI, period 1994-2016
 500 700 900 1100 1300 kWh/m²

GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION

AUSTRIA

SOLARGIS

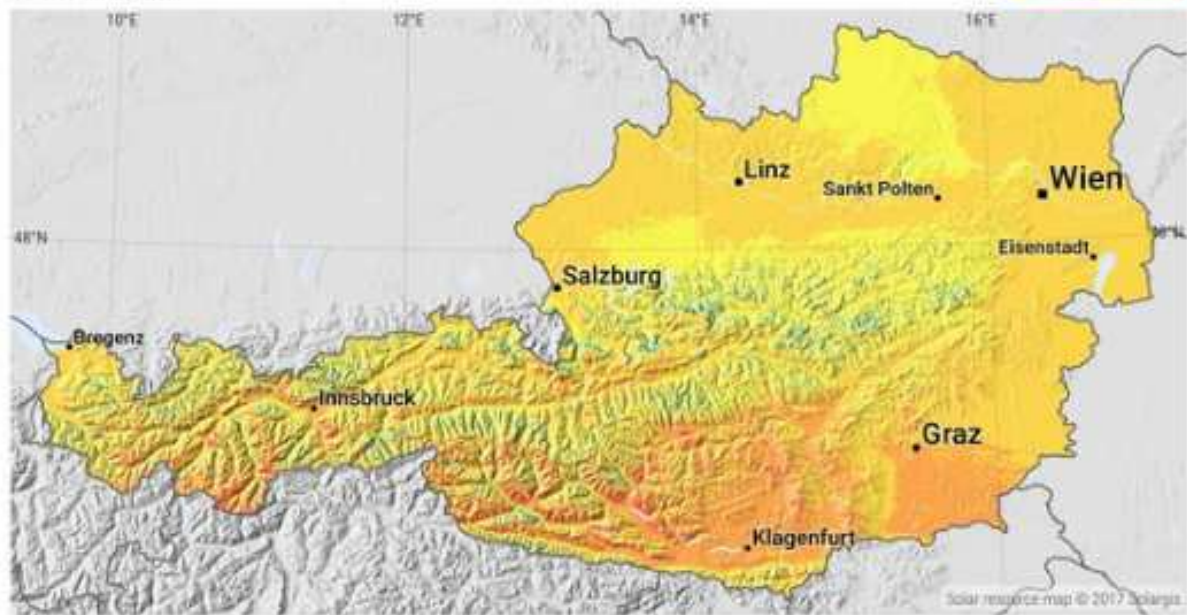


Average annual sum of GHI, period 1994-2016
 850 950 1050 1150 1250 kWh/m²

PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL

AUSTRIA

SOLARGIS



Average annual sum of PVOUT, period 1994-2016
 700 900 1100 1300 kWh/kWp

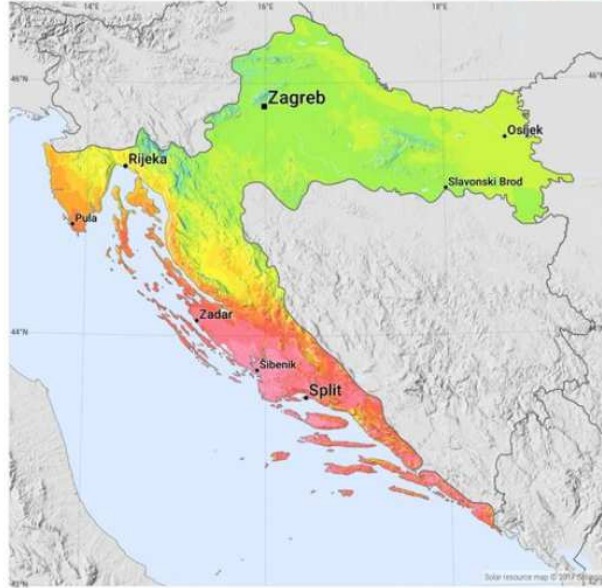


Chorvatsko

DIRECT NORMAL IRRADIATION

CROATIA

SOLARGIS



Average annual sum of DNI, period 1994-2016
 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 kWh/m²

GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION

CROATIA

SOLARGIS



Average annual sum of GHI, period 1994-2016
 1150 1250 1350 1450 1550 kWh/m²

PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL
CROATIA

SOLARGIS



Average annual sum of PVOUT, period 1994-2016
 1100 1200 1300 1400 1500 kWh/kWp

Česká republika



BOOSTEE-CE

DIRECT NORMAL IRRADIATION
CZECH REPUBLIC

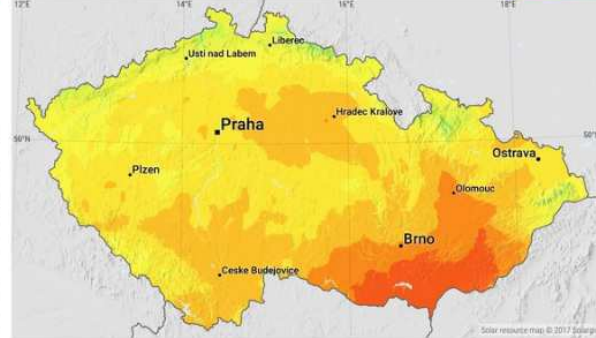
SOLARGIS



Average annual sum of DNI, period 1994-2016
 800 900 1000 1100 kWh/m²

GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION
CZECH REPUBLIC

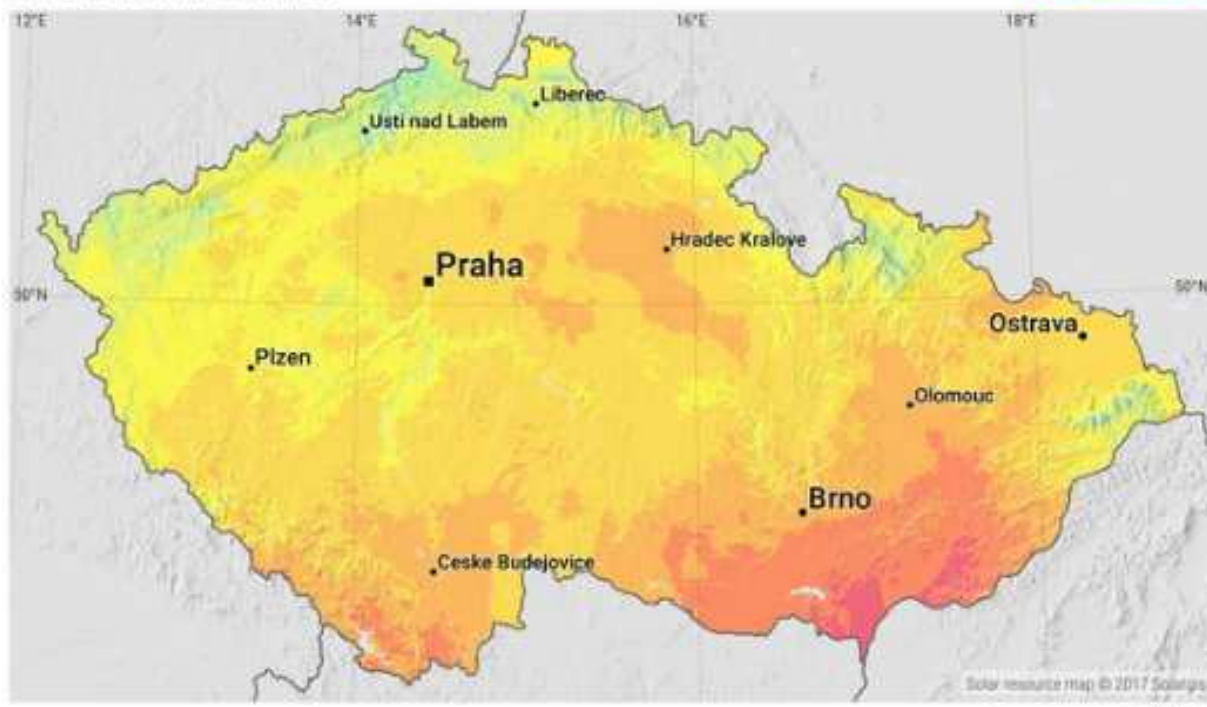
SOLARGIS



Average annual sum of GHI, period 1994-2016
 1000 1050 1100 1150 1200 kWh/m²

PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL
CZECH REPUBLIC

SOLARGIS



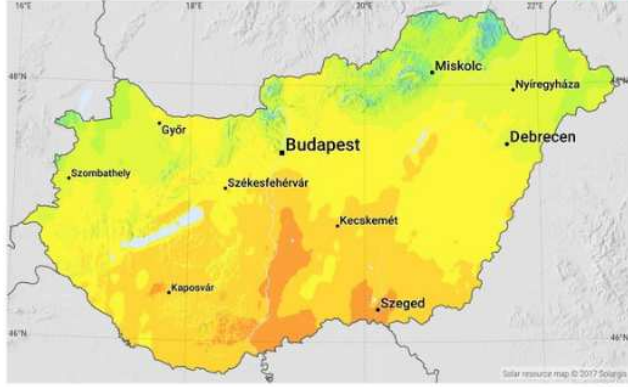
Average annual sum of PVOUT, period 1994-2016
 950 1000 1050 1100 1150 kWh/kWp



Maďarsko

DIRECT NORMAL IRRADIATION

HUNGARY



Average annual sum of DNI, period 1994-2016
 1050 1100 1150 1200 1250 kWh/m²

GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION

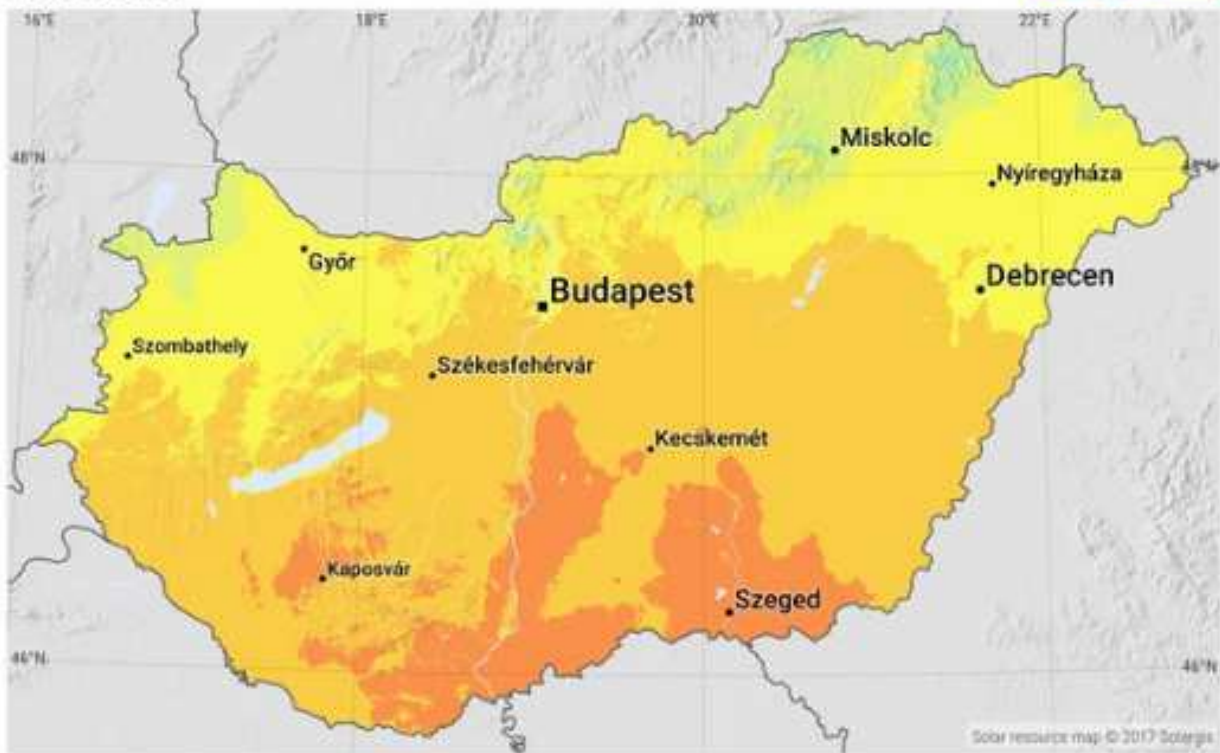
HUNGARY



Average annual sum of GHI, period 1994-2016
 1200 1250 1300 kWh/m²

PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL

HUNGARY



Average annual sum of PVOUT, period 1994-2016
 1100 1150 1200 1250 kWh/kWp

Itálie

DIRECT NORMAL IRRADIATION



GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION



PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL



Polsko

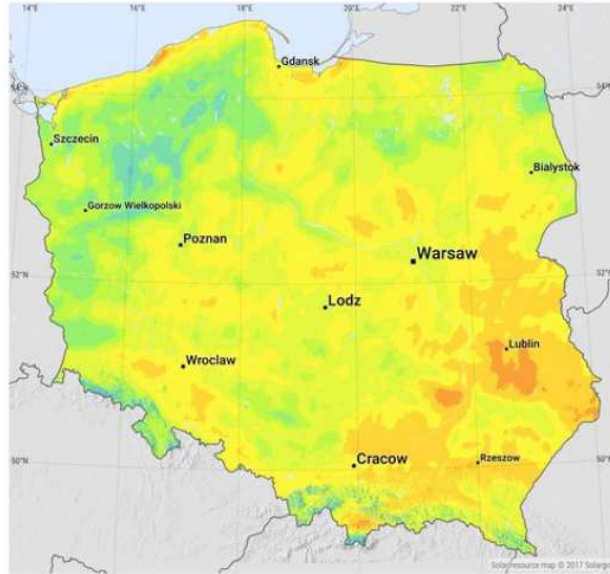


BOOSTEE-CE

DIRECT NORMAL IRRADIATION

POLAND

SOLARGIS

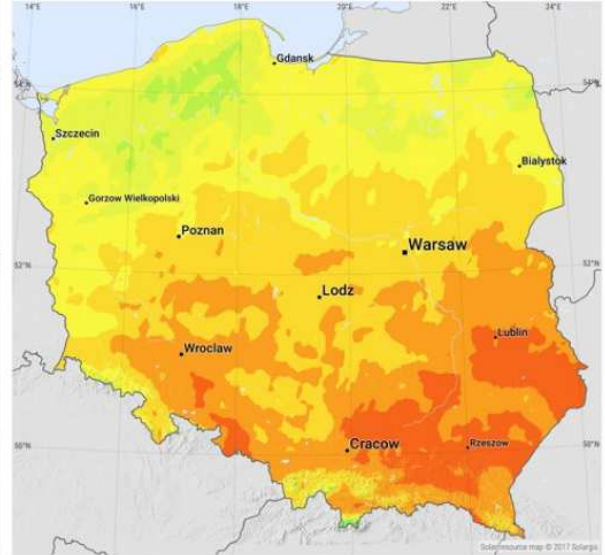


Average annual sum of DNI, period 1994-2016
 900 950 1000 1050 kWh/m²

GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION

POLAND

SOLARGIS

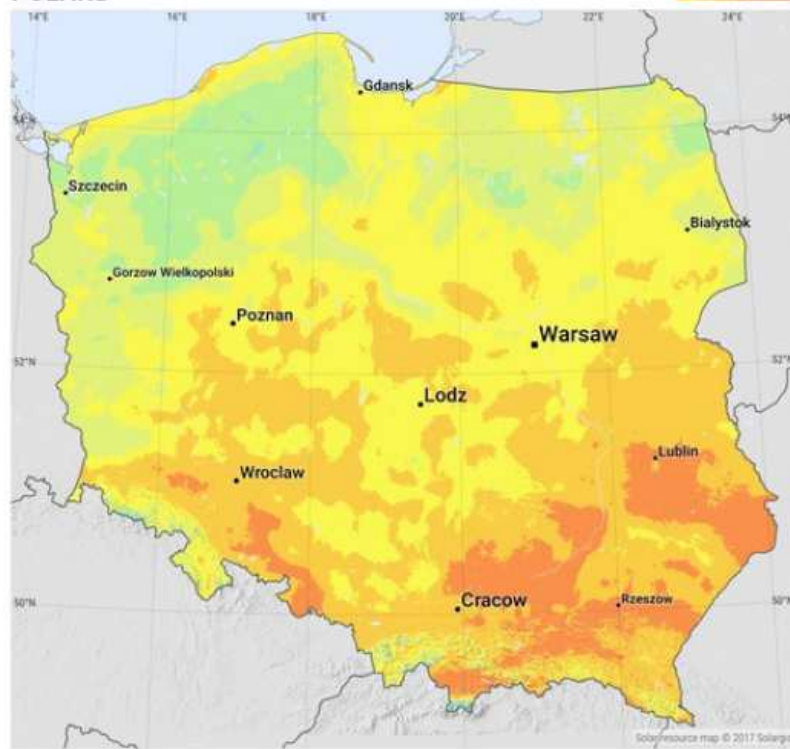


Average annual sum of GHI, period 1994-2016
 1000 1050 1100 1150 kWh/m²

PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL

POLAND

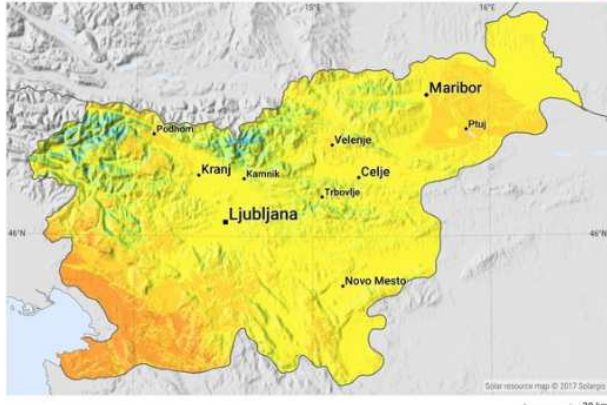
SOLARGIS



Average annual sum of PVOUT, period 1994-2016
 950 1000 1050 1100 kWh/kWp

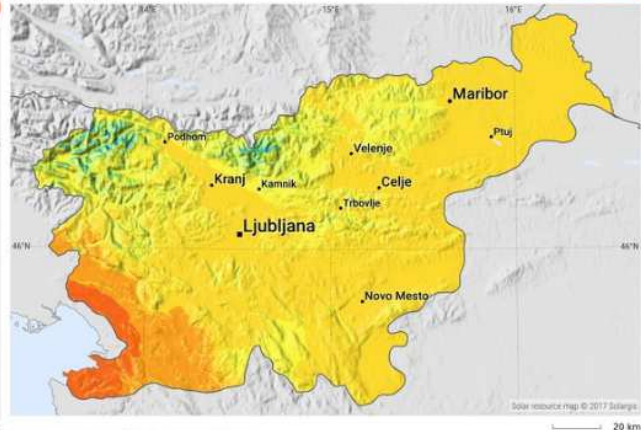
Slovensko

**DIRECT NORMAL IRRADIATION
SLOVENIA**



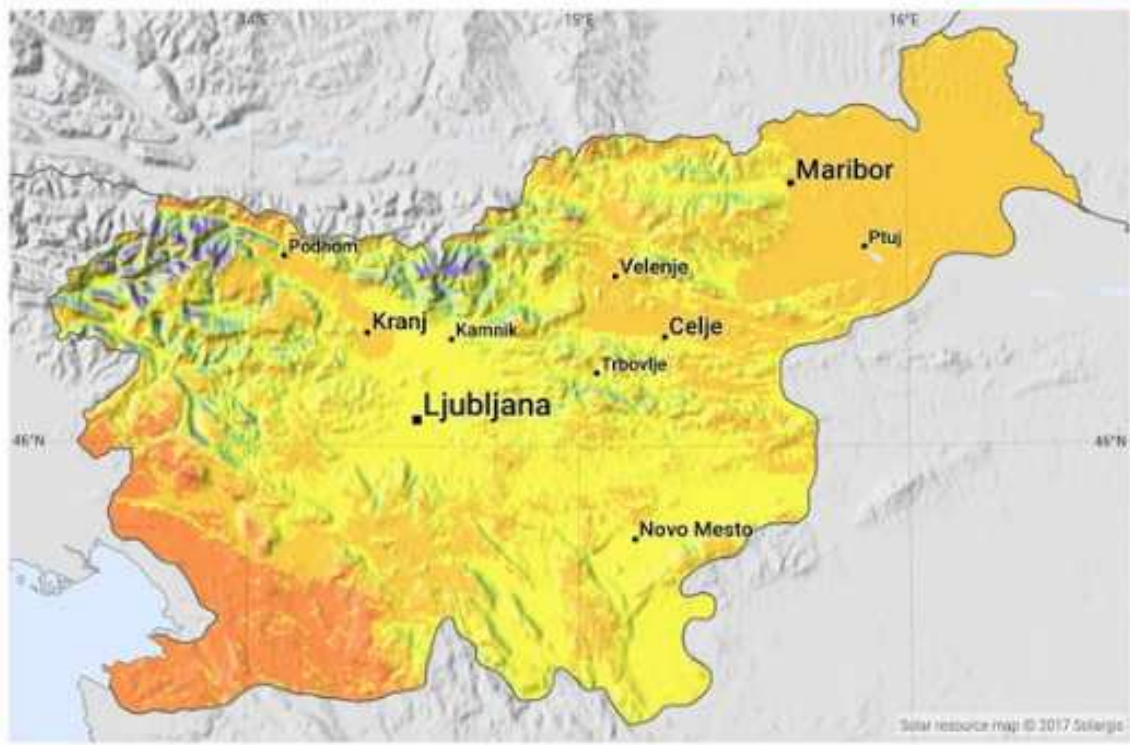
Average annual sum of DNI, period 1994-2016
600 800 1000 1200 1400 kWh/m²

**GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION
SLOVENIA**



Average annual sum of GHI, period 1994-2016
900 1000 1100 1200 1300 1400 kWh/m²

**PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL
SLOVENIA**



Average annual sum of PVOUT, period 1994-2016
800 900 1000 1100 1200 1300 kWh/kWp

Obrázek 5: Solární mapy (přímé vs globální vs FV potenciál) v sedmi zemích projektu BOOSTEE-CE . Mapy popisují průměrné hodnoty v období 1994-2016 (zdroj: SolarGIS).