

**METODE****OSONČENOST POVRŠJA SLOVENIJE**

AVTORJI

**Klemen Zakšek**

Naziv: univerzitetni diplomirani inženir geodezije, asistent

Naslov: Prostorskoinformacijska enota ZRC SAZU, Novi trg 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: klemen.zaksek@zrc-sazu.si; Telefon: 01 470 64 94; Faks: 01 425 77 95

**Krištof Oštir**

Naziv: dr., mag. geodezije, univerzitetni diplomirani fizik, znanstveni sodelavec

Naslov: Prostorskoinformacijska enota ZRC SAZU, Novi trg 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: kristof@zrc-sazu.si; Telefon: 01 470 64 96; Faks: 01 425 77 95

**Tomaz Podobnikar**

Naziv: dr., mag., univerzitetni diplomirani inženir geodezije, znanstveni sodelavec

Naslov: Prostorskoinformacijska enota ZRC SAZU, Novi trg 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: tomaz@zrc-sazu.si; Telefon: 01 470 64 93; Faks: 01 425 77 95

UDK: 551.4:551.521(497.4); COBISS: 1.01

IZVLEČEK

**Osončenost površja Slovenije**

Prispevek opisuje model izračuna osončenosti površja Slovenije. Na energijo Sonca vpliva predvsem vpadni kot Sončevih žarkov na površje, ki ga določajo astronomski parametri in geomorfologija. Zelo velik vpliv na Sončevo energijo imajo tudi meteorološke razmere, pri katerih je najpomembnejše trajanje Sončevega obsevanja. Simulirano je bilo navidezno gibanje Sonca prek digitalnega modela višin, upoštevani pa so bili še ustrezni meteorološki parametri. Ker območja v senci prejmejo mnogo manj energije kot osončena območja, je bil v model vključen tudi algoritem iskanja senc. Izračun je bil napravljen po urah in dekadah, vsota energij vseh dekad pa predstavlja letno energijo kvaziglobalnega obsevanja.

KLJUČNE BESEDE

osončenost, energija kvaziglobalnega obsevanja, geomorfologija, meteorološki parametri, model, Slovenija

ABSTRACT

**Solar radiation in Slovenia**

The article presents the elaboration of the quasiglobal radiation model, which was implemented for the whole Slovenia. The energy received by the Sun is influenced mostly on incidence angle of the Sun, which is defined by astronomical parameters and geomorphology. Meteorological conditions, especially duration of solar radiation, have large influence on solar energy also. Virtual Sun motion over digital elevation model was simulated with equations derived from astronomical almanac. Corresponding meteorological parameters were also integrated in the model. Shade determination was considered as an important part of the model because if a part of the surface is in the shadow, it receives less energy as sunny surface. All calculations were done for hours and decades – the annual quasiglobal radiation energy was calculated as the sum of all energies over all decades.

KEYWORDS

Solar exposure, energy of quasiglobal radiation, geomorphology, meteorological parameters, model, Slovenia

Uredništvo je prispevek prejelo 8. maja 2003.

## 1 Uvod

Sonce je glavni vir energije na Zemlji, saj med drugim omogoča fotosintezo. V zadnjem času se Sončeva energija omenja predvsem kot alternativni vir energije, kajti naše gospodarstvo v večini temelji na fosilnih gorivih, ki so obnovljiva šele po zelo dolgem času. Trajanje in energija Sončevega obsevanja sta tako vse pomembnejša podatka v kmetijstvu, vinogradništvu, energetiki in načrtovanju naselij. Podatke o energiji kvaziglobalnega obsevanja bi bilo smiselno uporabiti pri strateškem načrtovanju razvoja določene pokrajine oziroma analizi poselitve (Podobnikar 2000).

Meritve Sončeve energije se danes opravljajo s pomočjo satelitov – japonski meteorološki satelit GSM-5 meri urne vrednosti prejete Sončeve energije na zemeljskem površju (medmrežje 1) na vsakih 6 km. Meritve lahko opravljamo tudi na zemeljski površini s pomočjo piranometrov (medmrežje 2). Piranometre uporabljamo na točkah, ki so med sabo zelo oddaljene, tudi ločljivost satelitskih senzorjev je majhna, zato moramo osončenost modelirati, če želimo večjo prostorsko ločljivost. Modeli so poleg tega uporabni za določevanje osončenosti za poljubna obdobja, z njimi lahko pridobimo podatke, kjer jih s sateliti ne moremo.

Z osončenostjo se je v preteklosti v svetu in tudi pri nas ukvarjalo že veliko strokovnjakov. Hočevar (1980) je v svoji študiji preučeval razporeditev potenciala Sončeve energije v Sloveniji. V okviru svojega dela je opravil mnogo meritev, ukvarjal pa se je predvsem z meteorološkim modelom. Gabrovec (1996), ki je izdelal karto osončenosti za Geografski atlas Slovenije (Gabrovec in Kastelec 1998), se je vsaj pri meteorološkem modelu zelo naslanjal na Hočevarjevo študijo. V svetu je bilo izdelanih tudi že nekaj zelo zapletenih modelov, ki omogočajo izračun osončenosti (medmrežje 3; Schaab 2000). Ti modeli upoštevajo natančne astronomske in meteorološke podatke, ki jih ni vedno lahko pridobiti. Nekateri preprostejši modeli pa postajajo že standardni del geodetskih programov (Conrad 2002), ki za svoje delovanje potrebujejo le podatke o površju.

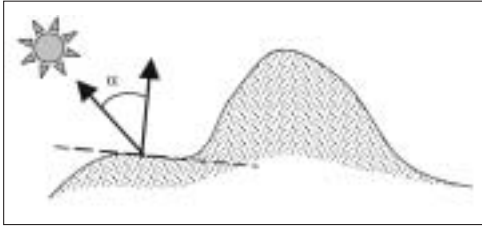
V okviru raziskave smo dali največjo težo vplivu reliefa na osončenost. Uporabili smo boljše podatke o površju (Oštir, Podobnikar, Stančič in Mlinar 2000), kot jih je imel na voljo Gabrovec (1996), izdelali algoritem iskanja senc ter ovrednotili kakovost raziskave. Rezultati študije imajo aplikativno vrednost predvsem na področju agronomije, kjer lahko z uporabo pridobljenih rezultatov smotrneje načrtujemo pridelavo različnih kultur, in energetike, kjer je zaenkrat smiselna uporaba sončnih celic predvsem na varovanih območjih (na primer planinske koč), saj se s tem izognemo onesnaževanju in hrupu generatorjev.

## 2 Teoretično ozadje

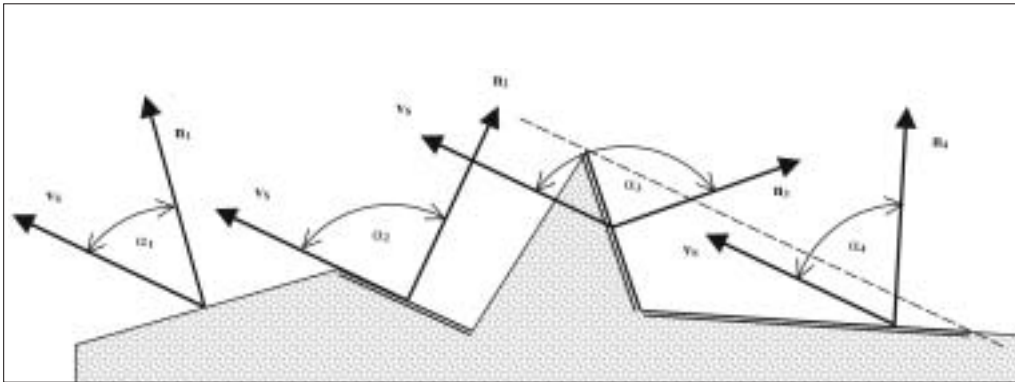
Osončenost lahko na kratko definiramo kot izpostavljenost Soncu. Podamo jo lahko z energijo globalnega in kvaziglobalnega obsevanja ali s trajanjem Sončevega obsevanja. Pri določevanju Sončeve energije, ki je vsota energije neposrednega in difuznega Sončevega obsevanja, moramo upoštevati več dejavnikov:

- vpadni kot Sončevih žarkov,
- oblikovanost površja,
- podnebne oziroma vremenske razmere.

Najpomembnejši vpliv na Sončevo energijo je vpadni kot, ki je kot med normalo na površje in smerjo proti Soncu (slika 1). Nanj vplivajo: deklinacija Sonca (se spreminja s časom), geografska lega ter naklon in ekspozicija površja. Definiramo ga z vektorji v enotnem geocentričnem globalnem kartezičnem koordinatnem sistemu. Površje lahko predstavimo z normalnimi vektorji na površje, za kar potrebujemo geografske koordinate, naklone in ekspozicije površja za izbrano točko. Vektor najprej definiramo v lokalnem koordinatnem sistemu in ga z rotacijskimi matrikami transformiramo v globalni koordinatni sistem. Po modeliranju površja moramo pripraviti še astronomski model, s katerim



Slika 1: Vpadni kot.



Slika 2: Vpadni kot Sonca.

predstavimo navidezno gibanje Sonca okoli Zemlje. Upoštevati moramo tako Zemljino rotacijo kot revolucijo, saj se položaj Sonca neprestano spreminja glede na opazovalca na Zemlji, zato je vektor proti Soncu funkcija časa in deklinacije Sonca. Normalni vektor na površje in vektor proti Soncu nato še normiramo, tako da je njuna dolžina enaka natanko eno enoto. Namreč, če sta vektorja enotska, lahko določimo kot med njima iz skalarnega produkta teh vektorjev, ki je enak kosinusu vmesnega kota.

Na osončenost ima velik vpliv tudi oblikovanost površja. Njen vpliv je deloma že upoštevan v izračunu vpadnega kota Sončevih žarkov z nakloni in ekspozicijami. Poleg tega lahko višje ležeči deli površja mečejo sence na nižja območja. Površje v senci ne prejme energije neposredne svetlobe kot osončeno površje, ampak le energijo difuzne svetlobe, zato je zelo pomembno, da vemo, če je površje v senci. Območja v senci lahko določimo z vpadnimi koti Sončevih žarkov (slika 2). Ko je vpadni kot manjši od  $90^\circ$  ( $\alpha_1$  in  $\alpha_4$ ), je površje lahko obsijano ( $\alpha_1$ ), če pred njim ni nobene ovire, sicer nastane vržena senca ( $\alpha_4$ ). Kadar so Sončevi žarki vzporedni površju oziroma kadar je vpadni kot približno  $90^\circ$  ( $\alpha_2$ ), je površje zaradi raznih naravnih in antropogenih ovir le delno obsijano. Površje je v lastni senci, če je vpadni kot večji od  $90^\circ$  ( $\alpha_3$ ).

Pri vplivu podnebja nas zanima predvsem tip oblačnosti, trajanje obdobja oblačnosti in območje, ki ga prekrivajo oblaki oziroma megla. Oblačnost je pomembna zato, ker povečuje sipanje svetlobe v atmosferi in s tem slabi neposredno Sončevo obsevanje. Pri izračunu osončenosti je najpomembnejši podatek trajanje Sončevega obsevanja in območje oblačnosti. Trajanje Sončevega obsevanja in druge za model pomembne meteorološke parametre merimo na meteoroloških postajah s Campbell-Stokesovimi heliografi. V izračunu je bil uporabljen že preizkušen fizikalni model izračuna energije kvaziglobalnega obsevanja – energija, ki jo v določenem času prejme poljubno nagnjena ploskev (Hočevnar 1980). V tem modelu je poleg energije neposredne svetlobe upoštevana tudi energija difuzne svetlobe. Dnevno energijo kvaziglobalnega obsevanja dobimo z integracijo ploskovne gostote moči po času od vzhoda do zahoda Sonca, letno pa z vsoto vseh dnevnih.

### 3 Model

Zgoraj obdelano teoretično ozadje je bilo izhodišče za dejanski izračun osončenosti na območju Slovenije. Za izračun smo uporabili programski paket Matlab. Pri aplikaciji modela so bili potrebni:

- astronomski podatki (deklinacija Sonca, razdalja med Soncem in Zemljo),
- podatki o površju (digitalni model višin, geoidni model) in
- meteorološki podatki (trajanje Sončevega obsevanja, transmisijski koeficienti glede na absorpcijo in razpršitev, podnebna območja).

Za vsako uro za vsak dan v letu smo izračunali deklinacija Sonca v nebesnem ekvatorialnem koordinatnem sistemu in oddaljenost Zemlje od Sonca. Deklinacijo smo uporabili za določevanje vektorjev proti Soncu, razdaljo med Zemljo in Soncem pa v meteorološkem delu modela (Hočevar 1980).

Ta meteorološki model je v svoji študiji uporabil tudi Gabrovec (1996). Model upošteva podatke o trajanju Sončevega obsevanja ter transmisijski koeficienti za absorpcijo ter razpršitev. Ti podatki predstavljajo povprečja tridesetletnih opazovanj na 24 meteoroloških postajah razporejenih po vsej Sloveniji. Gabrovec (1996) je vsaki meteorološki postaji priredil podnebno območje, ki se ujema z reliefom. Ta podatkovni sloj smo uporabili tudi mi.

Podatki o reliefu so bili pridobljeni iz digitalnega modela višin InSAR DMV 25 (Oštir, Podobnikar, Stančič in Mlinar 2000). Slednji je bil izdelan z radarsko interferometrijo, ima ločljivost 25 m in je trenutno najboljši digitalni model višin za območje Slovenije. Za določitev normalnih vektorjev na površje smo sprva uporabili le izpeljana sloja naklonov in ekspozicij, v okviru algoritma iskanja senc so bili pomembni tudi podatki o višinah celic. V izračunu smo uporabili elipsoidne višine, ki smo jih pridobili iz ortometričnih z upoštevanjem geoidnih višin.

Izračun energije kvaziglobalnega obsevanja smo numerično poenostavili, saj smo jo računali po urah in dekadah. Izračun energije po dekadah (za vsak deseti dan) je bil praktično nujen, kajti celoten čas izračuna je, na relativno zmogljivem osebнем računalniku, znašal več kot 300 ur, kar pomeni skoraj dva tedna. Če bi računali energijo za vsak dan, bi izračun trajal približno pet mesecev. Zato smo za vsak deseti dan določili energijo za vsako uro, pridobili celodnevno energijo, jo množili z deset in s tem je bila pridobljena energija dekade. Celoletna energija kvaziglobalnega obsevanja je bila na koncu izračunana z vsoto energij vseh dekad.

Pri modeliranju osončenosti so bile uvedene predpostavke, s katerimi je bilo računanje olajšano. V algoritmu iskanja senc ni bila upoštevana ukrivljenost Zemlje, kar lahko povzroči manjše napake, ki so gledano globalno zanemarljive. Tudi meteorološki model bi se lahko izboljšal, vendar menimo, da imajo meteorološki podatki, s katerimi smo delali, večji vpliv na napake kot upošteване poenostavitve.

## 4 Rezultati

### 4.1 Energija kvaziglobalnega obsevanja

Osončenost podaja energija kvaziglobalnega obsevanja (slika 3). Najbolj je osončena Primorska, najmanj pa je obsijano območje Julijskih Alp. Dobri dve tretjini Slovenije prejme letno med  $3700 \text{ MJm}^{-2}$  in  $4700 \text{ MJm}^{-2}$  energije kvaziglobalnega obsevanja. Glede na naš model je najbolj osončeno površje blizu mejnega prehoda Sočerga, najmanj pa pod severno triglavsko steno (preglednica 1). Kot zanimivost lahko povemo, da bi za zamenjavo vseh slovenskih elektrarn morali uporabiti sončne celice na površini skoraj  $100 \text{ km}^2$  (ob upoštevanem 10 % izkoristku sončnih celic), kar je pol odstotka celotne površine Slovenije.

Oblikovanost površja bistveno vpliva na vrednost prejete Sončeve energije, kar je razvidno iz razporeditve energije kvaziglobalnega obsevanja (slika 3). Da bi potrdili to dejstvo, smo opravili še nekaj prostorskih analiz. Najprej smo primerjali med sabo ekspozicije površja in vrednost energije kvazi-

*Preglednica 1: Statistična analiza energije kvaziglobalnega obsevanja v Sloveniji.*

statistični parametri	energija ( $\text{MJm}^{-2}$ )
minimum	830
maksimum	5360
srednja vrednost	4020
standardni odklon	520

globalnega obsevanja (preglednica 2). Vidimo, da severne lege prejmejo v povprečju mnogo manj energije kot južne, območja z ekspozicijami proti vzhodu in zahodu pa se med sabo bistveno ne razlikujejo.

*Preglednica 2: Energija kvaziglobalnega obsevanja glede na ekspozicije površja v Sloveniji.*

ekspozicija	srednja vrednost ( $\text{MJm}^{-2}$ )	standardni odklon ( $\text{MJm}^{-2}$ )
sever	3600	620
vzhod	3960	400
jug	4400	260
zahod	4050	430

Ker ekspozicija govori le o smeri nagiba površja, nič pa ne pove o velikosti nagiba, je smiselno upoštevati še naklone, s katerimi pridobimo popolnejšo sliko o vplivu razgibanosti površja. Slovenijo lahko razdelimo v štiri tipe površja: ravnine, gričevja, hribovja in gorovja (Perko 2001; Podobnikar 2001). Rezultate statistične analize energije kvaziglobalnega obsevanja v Sloveniji glede na tip površja podaja preglednica 3.

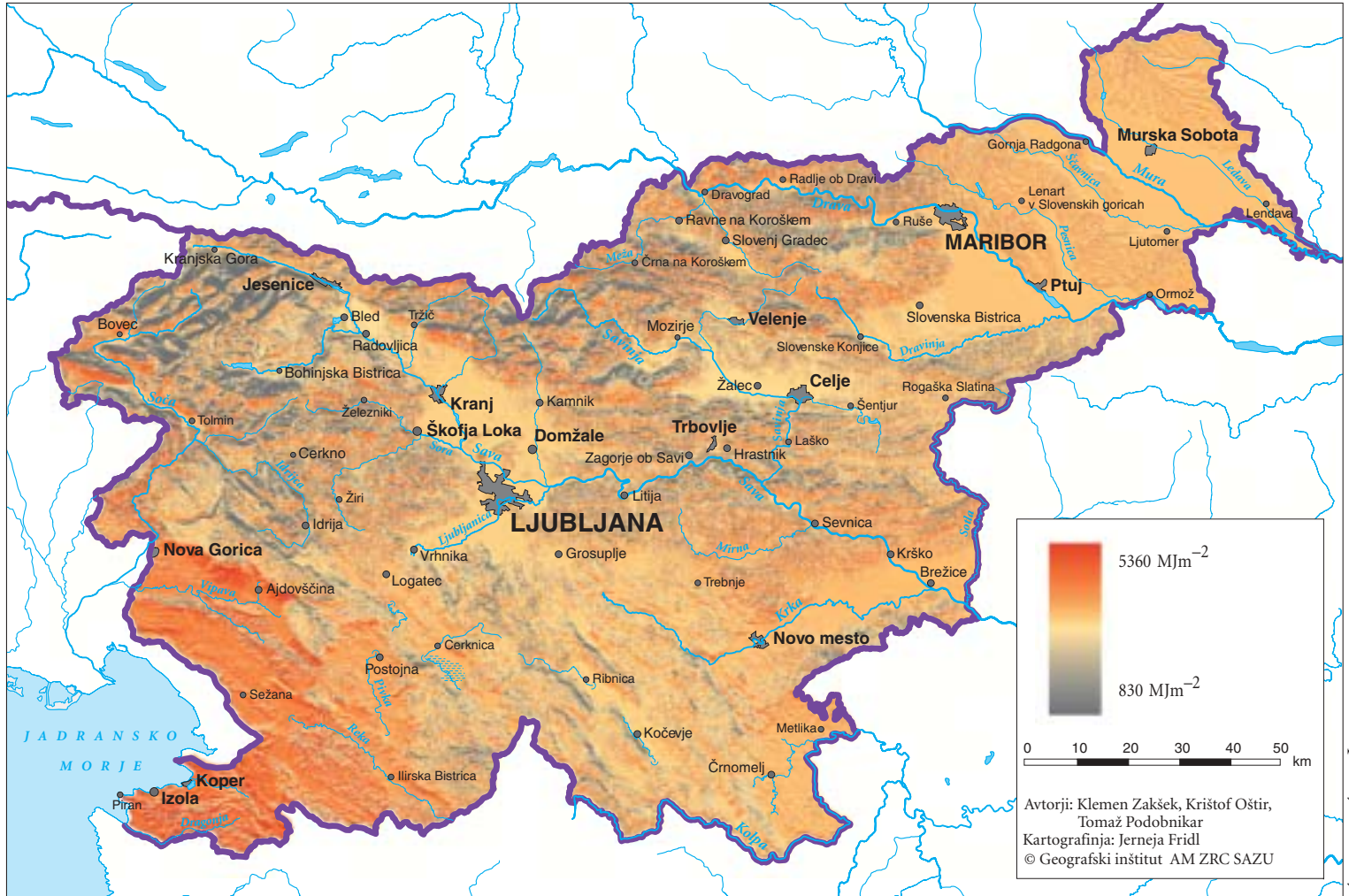
*Preglednica 3: Energija kvaziglobalnega obsevanja v Sloveniji glede na tip površja.*

tip površja	srednja vrednost ( $\text{MJm}^{-2}$ )	standardni odklon ( $\text{MJm}^{-2}$ )
ravnine	4200	130
gričevja	7190	290
hribovja	3920	560
gorovja	3560	880

Dobljeni rezultati so pričakovani. Povprečna vrednost Sončeve energije je največja na ravninah, sledijo gričevja, hribovja in na koncu še gorovja. Z vplivom razgibanosti površja se večja vpliv senc, kar vodi v manjšo povprečno vrednost in večjo razpršenost vrednosti energije kvaziglobalnega obsevanja (razpon v skrajnih vrednostih je večji, zato je npr. standardni odklon v gorskem svetu več kot šestkrat večji kot v ravninskem svetu).

Med sabo smo primerjali tudi prejeta Sončevo energijo po pokrajinah, kjer so poleg reliefa upoštevani tudi podnebni pogoji (Perko 1998). Največ energije kvaziglobalnega obsevanja prejmejo sredozemske planote, najmanj pa alpsko visokogorje (preglednica 4).

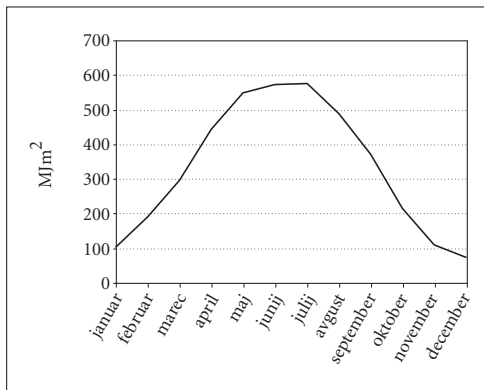
Energijo kvaziglobalnega obsevanja smo določili tudi za vsak mesec posebej (slika 4). Sonce je pri nas zaradi vpliva podnebja najmočnejše julija (glede na astronomske parametre bi pričakovali maksimum junija), ko znaša povprečna energija kvaziglobalnega obsevanja  $580 \text{ MJm}^{-2}$ , in najmanj decembra, ko znaša povprečje  $70 \text{ MJm}^{-2}$ . Osončenost se najhitreje spreminja v času obeh enakonočij, najbolj konstantno pa je v času obeh solsticijev.



Slika 3: Celoletna energija kvaziglobalnega obsevanja v Sloveniji.

Preglednica 4: Energija kvaziglobalnega obsevanja po pokrajinah Slovenije.

tip pokrajine	srednja vrednost ( $\text{MJm}^{-2}$ )	standardni odklon ( $\text{MJm}^{-2}$ )
alpska visokogorja	3696	770
alpska hribovja	3922	536
dinarske planote	3996	444
alpske ravnine	4055	214
panonska grčevja	4115	323
dinarska podolja in ravniki	4137	283
panonske ravnine	4181	92
sredozemska brda	4390	467
sredozemske planote	4490	337



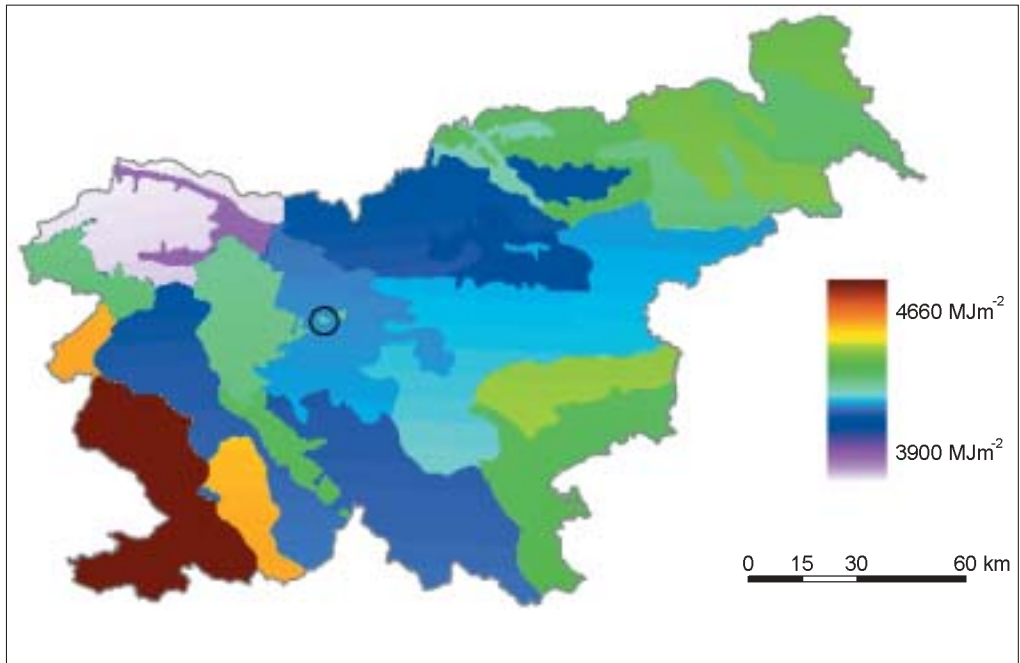
Slika 4: Energija kvaziglobalnega obsevanja v Sloveniji po mesecih.

## 4.2 Energija globalnega obsevanja

Osončenost lahko podamo tudi z energijo globalnega obsevanja. Energija globalnega obsevanja je Sončeva energija, ki jo v določenem času prejme vodoravna ploskev, zato ni odvisna od oblike površja. Nanjo vplivajo le meteorološke razmere in geografska lega. Geografska lega ima večji vpliv le na večjih območjih, ki se bolj kot Slovenija raztezajo v smeri sever–jug, zato je energija globalnega obsevanja primernejša na primer za prikaz toplotnih pasov na celotni Zemlji.

Preglednica 5: Energija globalnega obsevanja v Sloveniji.

statistični parametri	energija ( $\text{MJm}^{-2}$ )
minimum	3910
maksimum	4660
srednja vrednost	4170
standardni odklon	140



Slika 5: Celoletna energija globalnega obsevanja v Sloveniji.

Energijo globalnega obsevanja v Sloveniji opisuje preglednica 4 in slika 5. Iz primerjave skrajnih vrednosti z energijo kvaziglobalnega obsevanja lahko ugotovimo, da je energija globalnega obsevanja veliko bolj homogeno razporejena, saj znaša razmerje med najmanjšo in največjo vrednostjo 1 : 1,19. Omeniti velja, da je srednja vrednost energije globalnega obsevanja za približno  $150 \text{ MJm}^{-2}$  večja kot srednja vrednost energije kvaziglobalnega obsevanja.

Meteorološki parametri so bistvenega pomena pri izračunu energije globalnega obsevanja. To lahko potrdimo, če izvedemo primerjavo med slojem podnebnih območij in slojem energije globalnega obsevanja, saj sta si zelo podobna. Podamo lahko tudi primer vpliva podnebnih območij na osončenost. Ljubljanska kotlina ima pozimi veliko dni z meglo, ki nastopi zaradi temperaturne inverzije, Šmarna gora pa je pogosto nad mejo inverzije in zato prejme več Sončeve energije, kar je označeno tudi na sliki 5.

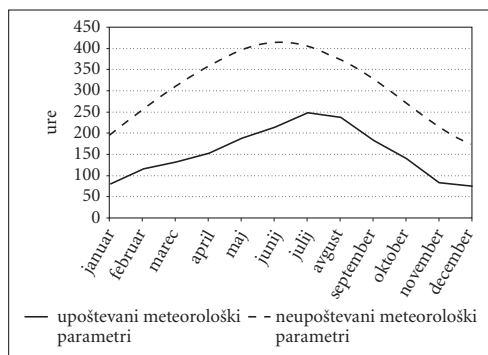
Pojavlja se vprašanje o natančnosti meja med podnebnimi območji, saj so bila za opisan model določena izkustveno. Poleg tega moramo upoštevati, da je v naravi le malo izrazitih meja med različnimi tipi podnebij. Podnebje se namreč spreminja zvezno. Ena izrazitejših meja pri nas je meja med sredozemskim in celinskim podnebjem na območju Vipavske doline in Trnovskega gozda. Sicer pa se lahko meje spreminjajo tudi časovno in na manjših območjih. Če na primer zgradimo novo hidroelektrarno, se v okolici akumulacijskega jezera poveča število dni z meglo.

Za natančnejše podatke bi zato morali zgostiti mrežo meteoroloških postaj. Opazovanja meteoroloških parametrov so možna tudi s tehnikami daljinskega zaznavanja. Uporabljen meteorološki model je zelo poenostavljen, saj smo predvideli le dva rodova oblakov, altokumuluse v letnem in stratuse v zimskem času, z uporabo daljinskega zaznavanja pa bi lahko določili rod oblakov, njihovo debelino in druge parametre, ki vplivajo na prepustnost svetlobe. Prav tako lahko iz satelitskih posnetkov določimo pokritost površja z oblaki, kar je sploh eden od bolj pomembnih meteoroloških parametrov. Uporaba satelitskih posnetkov je zelo primerna za modeliranje krajših obdobij, pri daljših obdobjih pa potrebujemo dober arhiv.



### 4.3 Trajanje Sončevega obsevanja

Eden pomembnejših podatkov o Sončevem obsevanju je tudi njegovo trajanje. To je tisti podatek, ki ga najobičajneje tudi merimo. Na meteoroloških postajah v Sloveniji v ta namen uporabljamo Campbell-Stokesove heliografe. Trajanje Sončevega obsevanja je bilo računano le na testnem območju Bleda (4 krat 4 km). Ta podatek pove le, ali je površje obsijano ali ne, ne izvemo pa, pod kakšnim kotom sije Sonce. Določali smo tudi največji teoretični možni čas Sončevega obsevanja, kjer nismo upoštevali meteoroloških podatkov. Med sabo lahko neposredno primerjamo trajanje Sončevega obsevanja z in brez upoštevanja meteoroloških parametrov na sliki 6.



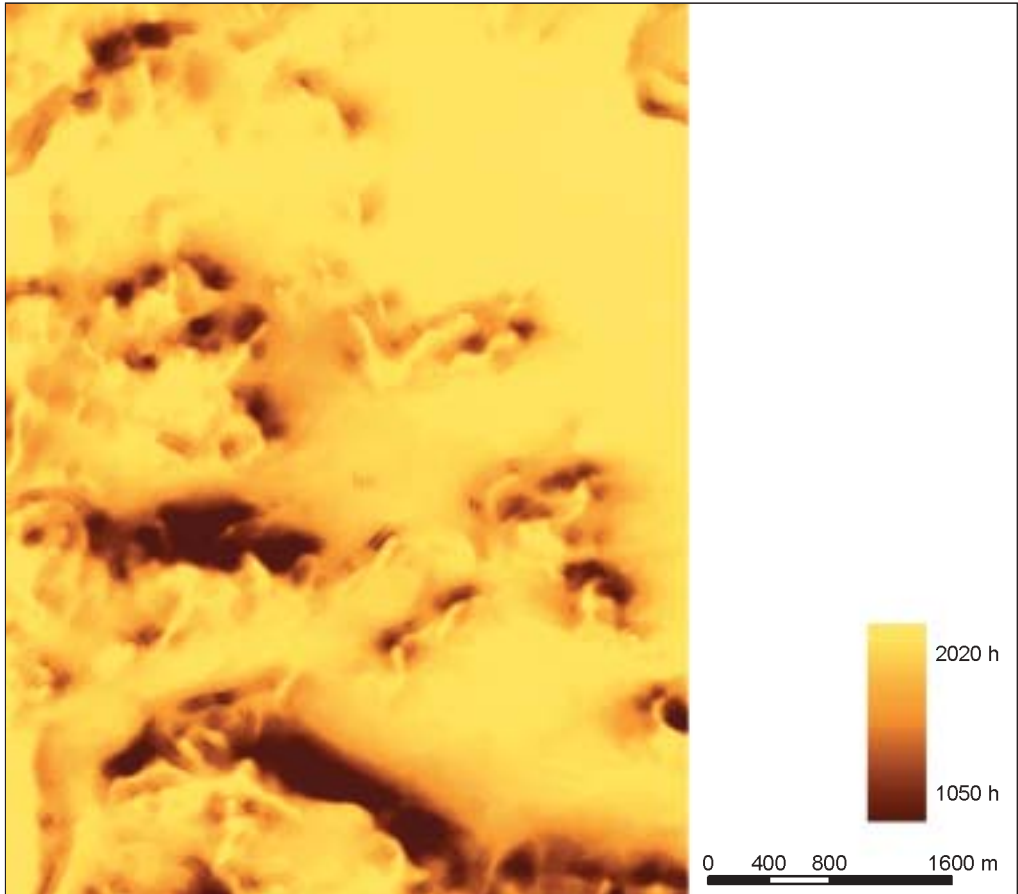
Slika 6: Trajanje Sončevega obsevanja na testnem območju Bleda po mesecih.

Krivulja trajanja Sončevega obsevanja je brez upoštevanja meteoroloških meritev bolj gladka, skoraj sinusoidna, saj je bolj ali manj odvisna od astronomskih parametrov. Krivulja dejanskega trajanja obsevanja kaže še vremenske vplive – spomladi se čas Sončevega obsevanja počasi podaljšuje, poleti je nekaj časa dokaj konstanten, nato pa se hitro krajša. Slika 7 prikazuje trajanje Sončevega obsevanja na testnem območju Bleda za vse leto. Karta trajanja Sončevega obsevanja je za isto območje na pogled dokaj podobna karti energije kvaziglobalnega obsevanja. Prehodi med različnimi vrednostmi so pri karti trajanja Sončevega obsevanja ostrejši in manj zvezni kot pri karti Sončeve energije. Vzrok za to razliko je v načinu izračuna obeh vrednosti. Poljubna ploskev je namreč lahko obsijana s svetlobo, ki pada nanjo pod vpadnim kotom nekaj deset ali pa le nekaj stopinj. Za trajanje obsevanja je pomembno le, da je obsijana. Ko pa računamo Sončevo energijo, je bistvenega pomena, kakšen vpadni kot ima svetloba, saj se ob najmanjši spremembi kota spremeni tudi prejeta energija. Zanimiv podatek pri osončenosti je povprečno dnevno trajanje Sončevega obsevanja. Celoletno povprečje znaša za območje Bleda dobrih pet ur (5 h 5 min) na dan.

## 5 Sklep

Podatki o osončenosti postajajo vse bolj pomembne informacije za mnoge stroke. Lahko jih prikazemo v različnih oblikah in na ta način zadostimo pogojem izbrane aplikacije. Uporabimo jih lahko pri nadzorovanju rasti in bolezenskih stanj pri kulturnih rastlinah, evapotranspiraciji, izračunu potrebnih zalog vode, raziskavah kožnega raka, raziskavah rasti koralnih grebenov, arhitekturi stavb (grelni in hladilni sistemi), proizvodnji električne energije, dirkah avtomobilov s pogonom na sončne celice, izpopolnjevanju klimatskih in vremenskih modelov itd.

V članku sta opisana model računanja osončenosti in njegova implementacija za območje Slovenije. Simulirano je bilo navidezno gibanje Sonca z upoštevanjem digitalnega modela višin. V model je vgrajen algoritem iskanja senc in meteorološki model. Glavni rezultat aplikacije je podatkovni sloj



Slika 7: Celoletno trajanje Sončevega obsevanja na testnem območju Bleda.

energije kvaziglobalnega obsevanja za vso državo ločljivosti 25 m. V tako razgibani deželi, kot je Slovenija, ima površje največji vpliv na energijo kvaziglobalnega obsevanja. To kažejo tudi rezultati analiz, ki kažejo vpliv površja na rezultate. Povprečna vrednost energije kvaziglobalnega obsevanja v Sloveniji je  $4020 \text{ MJm}^{-2}$ , standardni odklon pa  $520 \text{ MJm}^{-2}$ .

Rezultate aplikacije smo neposredno primerjali s karto sončnega obsevanja iz Geografskega atlasa Slovenije (Gabrovec 1998) in ugotovili tako vizualno kot statistično podobnost. Gabrovčev model se od našega razlikuje predvsem v iskanju vpadnega kota (dejansko je iskal komplementarni kot) in algoritmu senčenja. Večja razlika med študijama nastopi v uporabljenih podatkih o površju. Z analizami smo ugotovili, da InSAR DMV 25 zagotavlja nedvomno boljše podatke o površju kot DMR 100, naša aplikacija je torej nadgradnja omenjene študije.

S simuliranjem napake v podatkih smo ocenili natančnost energije kvaziglobalnega obsevanja, ki znaša približno odstotek. Naša aplikacija se nanaša na relativno veliko območje za dolgo časovno obdobje. Če bi hoteli izračunati osončenost za natanko določen časovni interval, bi morali predvsem izpopolniti meteorološki model in uporabiti veliko bolj natančne meteorološke podatke, npr. posnetke meteoroloških satelitov. Šele kasneje bi bilo smiselno nadgraditi tudi podatke o površju s podrobnejšim digitalnim modelom višin in izboljšati algoritem iskanja senc ter simulacijo navideznega gibanja Sonca.

## 6 Viri in literatura

- Conrad, O. 2002: DiGeM 2.0 Help. Göttingen.
- Gabrovec, M. 1996: Sončno obsevanje v reliefno razgibani Sloveniji. Geografski zbornik 36. Ljubljana.
- Gabrovec, M., Kastelec, D. 1998: Karta sončnega obsevanja. Geografski atlas Slovenije. Ljubljana.
- Hočevar, A. 1980: Razporeditev potenciala Sončeve energije v Sloveniji. Ljubljana.
- Medmrežje 1: <http://www.bom.gov.au/sat/solradinfo.shtml> (5. 5. 2003).
- Medmrežje 2: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0m.htm> (5. 5. 2003).
- Medmrežje 3: <http://rredc.nrel.gov/solar/pubs/NSRDB/sources.html> (5. 5. 2003).
- Oštir, K., Podobnikar, T., Stančič, Z., Mlinar, J. 2000: Digitalni model višin Slovenije InSAR 25. Geodetski vestnik 4. Ljubljana.
- Perko, D. 1998: Tipi pokrajn. Geografski atlas Slovenije. Ljubljana.
- Perko, D. 2001: Analiza površja Slovenije s stometrskim digitalnim modelom reliefa. Geografija Slovenije 3. Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2000: Analiza poselitve glede na geomorfološke značilnosti z metodo Monte Carlo. Geografski vestnik 72-1. Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2001: Digitalni model reliefa iz geodetskih podatkov različne kakovosti. Doktorska disertacija, Oddelek za geodezijo Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Schaab, G. 2000: Modellierung und Visualisierung der räumlichen und zeitlichen Variabilität der Einstrahlungsstärke mittels eines Geo-Informationssystems. Kartographische Bausteine. Dresden.

## 7 Summary: Solar radiation in Slovenia

(translated by the authors)

The duration of solar radiation and its energy that reaches the soil are becoming important spatial data. Solar radiation research is very significant not only for meteorologists but also for foresters, agronomists, geographers and others. One of the most important energy sources in our economy is still oil, which is not renewable. Solar energy, on the other hand, is almost unlimited and it is considered to be the energy of the future. The Sun is also the main energy source of life on Earth – it enables photosynthesis. Solar radiation affects all physical, chemical, and biological processes in the terrestrial ecosystem. The Sun provides a natural influence on the Earth's atmosphere and climate.

Many aspects of solar radiation were researched in the last few years. Solar radiation is commonly measured with pyranometers from ground or from Earth orbiting satellites. Measurements provide data with huge spatial dispersion. On the other hand, solar models provide higher precision and information for any period of time. In late seventies a research regarding solar radiation modelling in Slovenia began. The study »Distribution of Solar Energy in Slovenia« was produced in the early eighties. A map of solar radiation in Slovenia was produced for the Slovenian Geographical Atlas. Our group completed an additional study with improved and better resolution input data in 2002.

The quasiglobal radiation energy is the amount of energy that is received by random inclined surface in specific time interval. It is influenced by:

- incidence angle of the Sun's position,
- geomorphology of the terrain, and
- the climate (weather).

The incidence angle of the Sun is determined by the normal to the surface tangent plane. It depends on the relative position of the Earth and the Sun, geographical position of a point on the surface, inclination and exposition in a chosen point. The incidence angle is easy to estimate if the normal vector to the surface and the vector of the sunrays has already been determined.

The geomorphology influences the effective possible duration of solar radiation, which is the period of sunshine in clear weather, subtracted by the period of shade due to the relief obstacles. Morphology also influences the solar radiation through slope's inclination and exposition (incidence angle).

Cloudiness and fog can be understood as a filter, which strengthens scattering in the atmosphere. Therefore, we should consider the number of cloudy or foggy days as one of the most significant climate data. The climate is studied by parameters obtained with measures at meteorological stations. Climate data is important for general prediction (for a longer period). On the other hand, weather data is important in analyses for a specific period.

Solar radiation can be divided into direct and diffuse. If the surface is not exposed to the Sun, it is in the shadow. The surfaces in the shadows receive only the energy of diffuse radiation, which is normally at least twice less than the energy of direct solar radiation. Therefore, shadows (hill and cast) determination is an important part of the model.

The described theoretical background was implemented and tested in the study area of the whole Slovenia. Three types of data were used in the model:

- astronomical data (Sun declination, Earth–Sun distance),
- terrain surface data (DEM, geoid model), and
- climate data (duration of solar radiation, transmission coefficients relative to absorption and dispersion).

Daily quasiglobal radiation energy is theoretically given by time integration of quasiglobal radiation surface density from sunrise to sunset. Its calculation was numerically simplified. Hourly values were calculated for the mean day in ten-day period. Daily values were obtained as a sum of hourly energies. Daily values were multiplied by ten – calculation of decade energies. The annual quasiglobal radiation energy was calculated with the sum of energies of all decades.

Not all the effects that might influence the solar energy were taken into consideration. The exact height of the top of the terrain obstacle was not known and the Earth curvature was neglected in shadow determination, but these influences are globally insignificant. The meteorological (which is already over 20 years old) and the astronomical parts of the model could also be improved. However, we consider poor meteorological data as the weakest part of the application.

The result of our study is a dataset of annual energy of quasiglobal radiation in Slovenia. The mean value of energy of quasiglobal radiation for entire Slovenia equals  $4020 \text{ MJm}^{-2}$  with standard deviation  $520 \text{ MJm}^{-2}$ . The most insolated terrain in Slovenia, according to our model, is next to the village of Sočerga ( $5360 \text{ MJm}^{-2}$ ) and the least insolated terrain is under Mount Triglav ( $840 \text{ MJm}^{-2}$ ). The coast region in South West receives the most solar energy and Alpine region in North West the least.

The obtained results show that the energy of quasiglobal radiation is mostly affected by surface geomorphology. The influence of the surface terrain on the solar energy was therefore further evaluated. The slopes facing north receive significantly less energy of quasiglobal radiation ( $3600 \text{ MJm}^{-2}$ ) than the slopes facing south ( $4400 \text{ MJm}^{-2}$ ). The energy of the quasiglobal radiation on the south side also has a much smaller standard deviation ( $260 \text{ MJm}^{-2}$ ) than the energy of the north expositions ( $620 \text{ MJm}^{-2}$ ). The slopes facing east and west do not differentiate much. The surface geomorphology also depends on terrain inclination. Plains receive the most energy of quasiglobal radiation in Slovenia ( $4200 \text{ MJm}^{-2}$ ) and mountains the least ( $3560 \text{ MJm}^{-2}$ ).

Complete evaluation of application results equals an accuracy of approximately percent. The used data is appropriate for modelling solar radiation on large areas for long terms, which is satisfactory for our application (30-years long period in whole Slovenia). The results could be improved with better meteorological data. Similarity of meteorological conditions on large areas was assumed in the model (climate modelling). Weather, which can change quickly on small areas, could also be modelled. For that it is very important to have precise meteorological data, for example, images taken by satellites. The strongest influence on energy of quasiglobal radiation has surface geomorphology. Meteorological and astronomical parameters outstand more in vast areas.