

IZKORIŠČANJE SONČNE ENERGIJE NA KRASU

SOLAR ENERGY EXPLOITATION ON KRAS

Klemen Zakšek, Aleš Marsetič, Žiga Kokalj

UDK: 528.48:62.91

IZVLEČEK

Prispevek obravnava izkoriščanje sončne energije na Krasu, ki je med najbolj osončenimi slovenskimi regijami. Z uporabo metod GIS je bil izdelan odločitveni model izbire najugodnejših območij za izkoriščanja sončne energije. Predvidena je bila določitev območij za ekstenzivno (energetsko ugodne novogradnje) in intenzivno rabo (elektrarne). S simulacijo so bile nato za ta območja za vsak mesec posebej ter celo leto določene tiste kombinacije azimutov in naklonov sprejemnikov sončne energije, ki omogočajo največji izkoristek sončne energije. Po pričakovanju omogočajo veliki nakloni proti jugu večje prirastke med zimo, poleti pa so, presenetljivo, ugodne skoraj vodoravne postavitev.

Klasifikacija prispevka po COBISS-u: 1.01

ABSTRACT

The article discusses solar energy exploitation on Kras, one of the sunniest Slovenian regions. GIS methods were used to assemble a decision tree model that provided areas most suitable for solar energy exploitation. Areas suitable for extensive (energy efficient housing) and intensive (solar power plants) use have been defined. Simulations were employed to determine combinations of azimuth and inclination for solar energy collectors that would enable their maximum efficiency. As expected, high inclinations with southern orientation are optimal during winter, however, almost flat installations are optimal during summer.

KLJUČNE BESEDE

sončna energija, odločitveni model, najugodnejši naklon in azimut sprejemnika, prirastek,

KEY WORDS

solar energy, decision tree modelling, optimal inclination and azimuth of solar collectors, accretion, space suitability

1 UVOD

Vedno višje cene energentov, ki jih potrebujemo za ogrevanje stavb in sanitarne vode ter za pridobivanje električne energije, botrujejo spremembi razlogov izkoriščanja obnovljivih virov iz ekoloških v ekonomske ter s tem povečujejo njihovo zanimivost. Med uporabnejše vire na Krasu lahko štejemo energijo biomase, vetra in sonca. Med prvo sodijo npr. les (hlodi, vejevje, grmovje) in lesni odpadki industrije (odpadni kosi, žagovina, lubje in odpadni proizvodi), trave, energetske rastline in rastlinska olja. Gozd pokriva približno tretjino površja Krasa, še več kot tretjina zemljišč pa je v bolj ali manj napredni fazi zaraščanja (Kokalj, 2004). Večinoma gre za grmišča in divje hoste, ki se širijo zlasti na prometno manj dostopnih in od naselij oddaljenih površinah. Burja, kraška značilnost, je sorazmerno nestalen in sunkovit veter, zato se doslej njena raba ni mogla

meriti z območji, ki imajo morda šibkejše, a stalnejše vetrove. Vendar napredek v tehnikah in tehnologiji izrabe energije vetra kaže, da bi bilo mogoče v ta namen uporabiti tudi burjo (Petkovšek, 2004). Kljub temu pa pomisleki krajskih arhitektov, ornitologov, lovcev in drugih kažejo na različne (negativne) učinke, ki jih bo treba proučiti z dodatnimi študijami. Sončna energija je najčistejša oblika in se lahko izkorišča na dva načina: za pridobivanje nizko- in visokotemperaturne toplote ali za neposredno pridobivanje električne energije (fotonapetostna pretvorba).

Pri nizkotemperaturni rabi lahko sončno energijo uporabimo neposredno ali posredno. Naprave za neposreden prenos energije imenujemo kolektorji ali sprejemniki, na njihovo učinkovitost pa vplivajo izvedba ter odstopanje od najugodnejšega naklona in usmerjenosti. Posredni način pomeni rabo primernih gradbenih elementov za ogrevanje zgradb, osvetljevanje in prezračevanje prostorov. Osnovna težava je v tem, da ga lahko dobro izkoristimo le pri novogradnjah, saj pri že zgrajenih objektih konstrukcija, orientacija ali lega morebiti ne odgovarjajo doseganju optimalnih učinkov (Energetika, 2005). V praksi uspešno deluje tudi hlajenje na energijo Sonca, z zniževanjem cene tehnologije pa lahko pričakujemo tudi naprave, prilagojene individualnim hišam. Visokotemperaturna raba je omejena na predelavo nekaterih kovin in sončne elektrarne. Slednje lahko delujejo tudi s fotonapetostno (fotovoltaično) pretvorbo s pomočjo sončnih celic. Takšna pretvorba ima veliko prednosti: sončne celice nimajo gibljivih delov, njihovo vzdrževanje je enostavno, moč se lahko postopoma večja, proizvodnja in poraba energije sta na istem mestu, ni potrebna koncentracija sevanja in mogoče je izkoriščanje tako posrednega kot razpršenega sevanja. Takšna proizvodnja energije tudi ne onesnažuje ali povzroča hrupa in je zelo varna. Uporabljamo jo zlasti v odročnih območjih, pravo eksplozijo uporabe pa lahko pričakujemo z znižanjem cene proizvodnje, poenostavljeno montažo ter zakonsko predpisano uporabo na novozgrajenih stanovanjskih in industrijskih objektih.

Zaradi ekoloških in ekonomskih razlogov se raziskavam na področju sončne energije v svetu in tudi pri nas posveča večja pozornost že od konca sedemdesetih let prejšnjega stoletja naprej. Hočevar (1980) je s sodelavci prvi preučeval razporeditev potenciala sončne energije v Sloveniji. V okviru svojega dela je opravil mnogo meritev, ukvarjal pa se je predvsem z meteorološkim modelom. Ta model sta kasneje uporabila Gabrovec in Kastelec (1998), ki sta izdelala karto osončenosti Slovenije, preračunano na relief (DMV 100), za Geografski atlas. Študijo so ponovili Zakšek, Podobnikar in Oštir (2005) in pri tem ugotavljali pomen kakovosti reliefa z uporabo boljšega digitalnega modela višin (InSAR DMV 25). Treba je poudariti, da so omenjene študije temeljile na meritvah trajanja sončnega obsevanja in ne na meritvah energije, ker teh meritev razen za Ljubljano dobrih deset let nazaj še ni bilo (zato pa je bilo dokončanih več študij o izmerjenih vrednostih trajanja sončnega obsevanja; nazadnje Dolinar, 2006), prva študija, ki je slonela na meritvah sončne energije, pa je bila končana šele pred dvema letoma (Kastelec et al., 2005; Kastelec et al., 2007). Rezultati te študije so bili poleg novega DMV 12,5 (Podobnikar in Mlinar, 2006) tudi glavni podatki za članek, v okviru katerega smo izvedli prostorske analize, s katerimi smo kartirali kraška območja, primerna za rabo sončne energije. Za ta območja smo izdelali graf, ki prikazuje, kako je količina prejete sončne energije odvisna od časovnega obdobja, naklona in usmerjenosti ploskve sprejemnika.

2 NAČRTOVANJE UČINKOVITE RABE SONČNE ENERGIJE

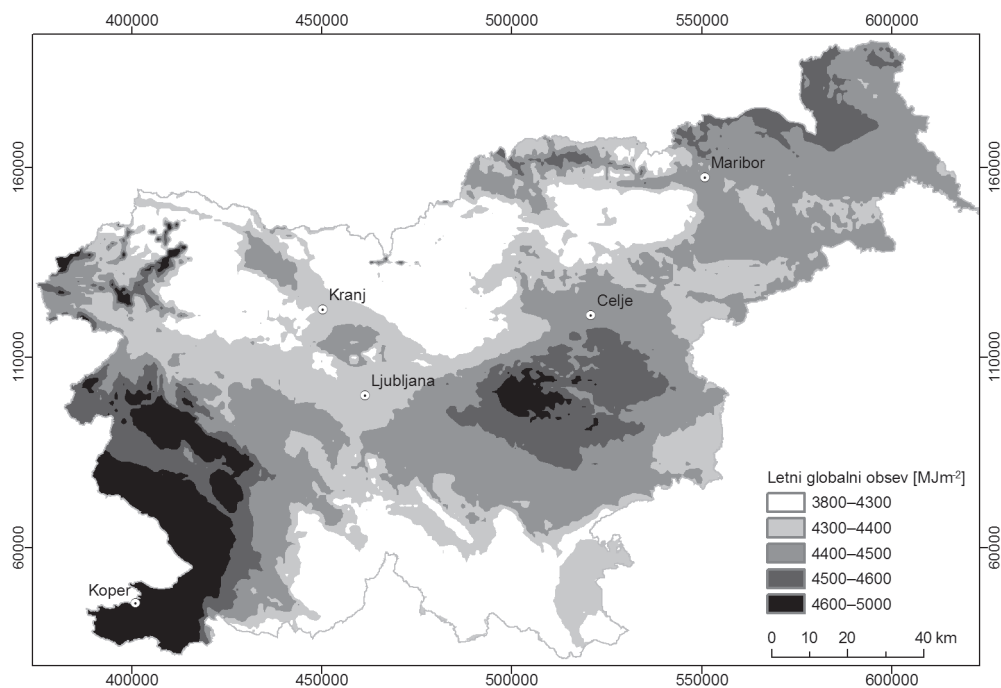
2.1 Določitev najbolj primernih območij za izkoriščanje sončne energije

Obstajajo ekonomske, naravovarstvene in fizične omejitve, ki omejujejo primernost prostora za izkoriščanje sončne energije. V okviru tega članka bo govora o določitvi najprimernejših območij za ekstenzivno (energetsko ugodne novogradnje) in intenzivno rabo (elektrarne). Primerna območja bi morala biti dovolj velika, dokaj blizu infrastrukture, ne bi smela ležati znotraj varovanih območij in, kot najpomembnejše, ne bi smela ležati v senci. Območja v senci namreč ne prejmejo direktne, temveč le difuzno osončenost (in tudi odbito, vendar je ta razen v izrednih pogojih zanemarljivo majhna). Obstaja še mnogo parametrov, vendar jih ne moremo v vsakem odločitvenem modelu upoštevati na enak način (npr. naklon reliefa je zelo pomemben faktor v visokogorju, ker pa je Kras planota, lahko njegov vpliv zanemarimo). Potem, ko enkrat že izberemo dejavnike, ki vplivajo na izbiro primernih območij, moramo še nastaviti meje, znotraj katerih se morajo ti dejavniki nahajati. Tu si lahko pomagamo s podobnimi študijami, a moramo vseeno upoštevati specifične lastnosti območja dela. Zavedati se je še treba, da nastavitev meja, znotraj katerih se morajo nahajati vrednosti dejavnikov, ni izključno strokovna odločitev, saj se je včasih treba prilagoditi tudi političnim strategijam in željam lokalnega prebivalstva.

Ko je koncept odločitvenega modela določen, je treba zbrati vse zahtevane podatke, jih medsebojno uskladiti (izbrati enak zapis, projekcijo itd.). Poleg tega se je treba odločiti za delo v rastrskem ali vektorskem modelu. Izbrali smo prvega, ker je sorazmerno preprost za uporabo (algebra karte), a kljub temu dovolj zmogljiv. Vse podatke je nato treba klasificirati v binarne sloje glede na vnaprej določene sprejemljive meje in na ta način določiti območja omejitev. S prekrivanjem dobimo primerna območja na tistih mestih, kjer ni nobenih omejitev. Gre za postopek s preprostim vnosom morebitnih naknadnih pogojev. Vsi podatki imajo lahko enako utež, uporabiti pa je mogoče tudi različico, kjer podatkom priredimo utež glede na njihovo pomembnost (Baban in Parry, 2001) in tako dobimo zvezno ploskev bolj ali manj primernih območij. Rezultate je težko objektivno oceniti, ker so meje primernosti dejavnikov običajno določene deduktivno glede na politične in ekonomske zahteve, na oceno pa lahko vplivajo tudi krajevne značilnosti, ki niso ustrezno predstavljene v odločitvenem modelu.

2.2 Vpliv reliefa na sončno energijo

Osončenost (energijski tok, ki vpada na element površine, deljen s ploščino tega elementa) in trajanje sončnega sevanja merimo na meteoroloških postajah s piranometri in solarigrafii. Število merilnih mest (26) je na območju, kot je Slovenija, premajhno za kakovostno oceno potenciala sončne energije. Zato je Agencija Republike Slovenije za okolje financirala projekt, v okviru katerega je bil kartiran povprečni globalni in kvaziglobalni obsev (časovni integral osončenosti za vodoravno in poljubno nagnjeno ploskev) po mesecih za obdobje 1994–2003 v prostorski ločljivosti 1000 m (Kastelec et al., 2005; Kastelec et al., 2007). Rezultati študije so po pričakovanjih dokazali, da je obalno-kraška regija v povprečju najbolj osončena regija v Sloveniji (slika 1).



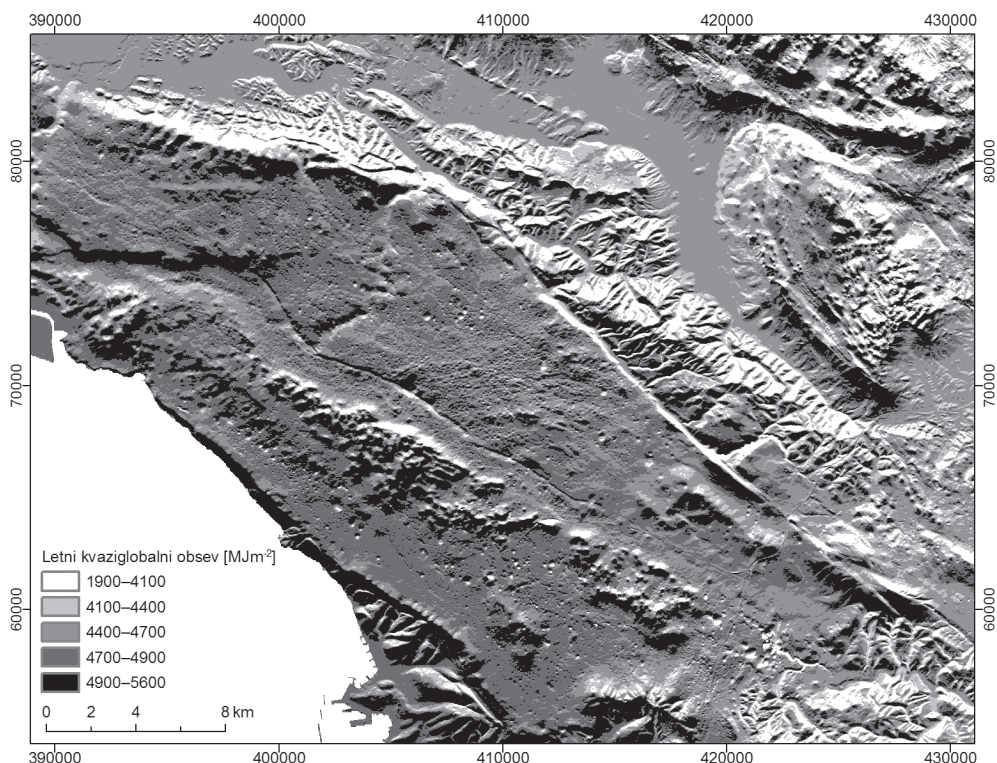
Slika 1: Povprečni letni globalni obsev za Slovenijo za obdobje 1994–2003 (vir: Kastelec et al., 2005).

Kras je eno najbolj osončenih območij Slovenije in je zato primeren za izkoriščanje sončne energije vsaj v regionalnem smislu. Vendar so tudi na Krasu bolj ali manj primerna območja za postavitev novogradenj, katerih konstrukcija bi dovoljevala učinkovito rabo sončne energije. Še najbolj omejujoč faktor glede primernosti je relief – samo območja, omejena z idealnim obzorjem, nimajo zmanjšane osončenosti zaradi vpliva reliefa. Ob upoštevanju ukrivljenosti Zemlje in refrakcije to pomeni, da so lahko »vzpentine« v primeru idealnega obzorja pri oddaljenosti 1 km visoke največ 7 cm, pri oddaljenosti 4 km največ 1 m, pri oddaljenosti 10 km pa največ 7 m. Zato je treba najprej določiti vpliv reliefa na globalno osončenost – določitev kvaziglobalne osončenosti. Kvaziglobalna osončenost E poljubno nagnjene in usmerjene ploskve je vsota direktne in difuzne osončenosti:

$$\mathbf{E} = \frac{\cos(\alpha)}{\cos(z)} \cdot \mathbf{E}_{\text{dir}} + f_v \cdot \mathbf{E}_{\text{dif}}. \quad (1)$$

Direktno komponento kvaziglobalne osončenosti izračunamo tako, da globalno direktno osončenost E_{dir} pomnožimo s količnikom med kosinusoma vpadnega kota sonca α na relief (to je kot med normalo na relief in smerjo proti soncu) in zenitnega kota sonca z . Ker so lahko nekatera območja v senci, koder ne prejemajo direktne osončenosti, moramo ta območja maskirati v skladu s položajem sonca glede na relief (Zakšek, Podobnikar in Oštir, 2005). Difuzno komponento kvaziglobalne osončenosti lahko izračunamo tako (ob predpostavki, da se širi izotropno), da globalno difuzno

osončenost E_{dif} pomnožimo z deležem vidnega neba f_v (Zakšek, 2006), saj se difuzna osončenost širi iz neba, katerega je vidnega več na odprtem kot v zaprtih dolinah. Ker je testno območje razmeroma majhno, je smiselno uporabiti kakovostne podatke o reliefu, kar v tem trenutku pomeni uporabo DMV 12,5 (Podobnikar in Mlinar, 2006). Letni kvaziglobalni obsev dobimo z numerično integracijo kvaziglobalne osončenosti (1) po času (slika 2).

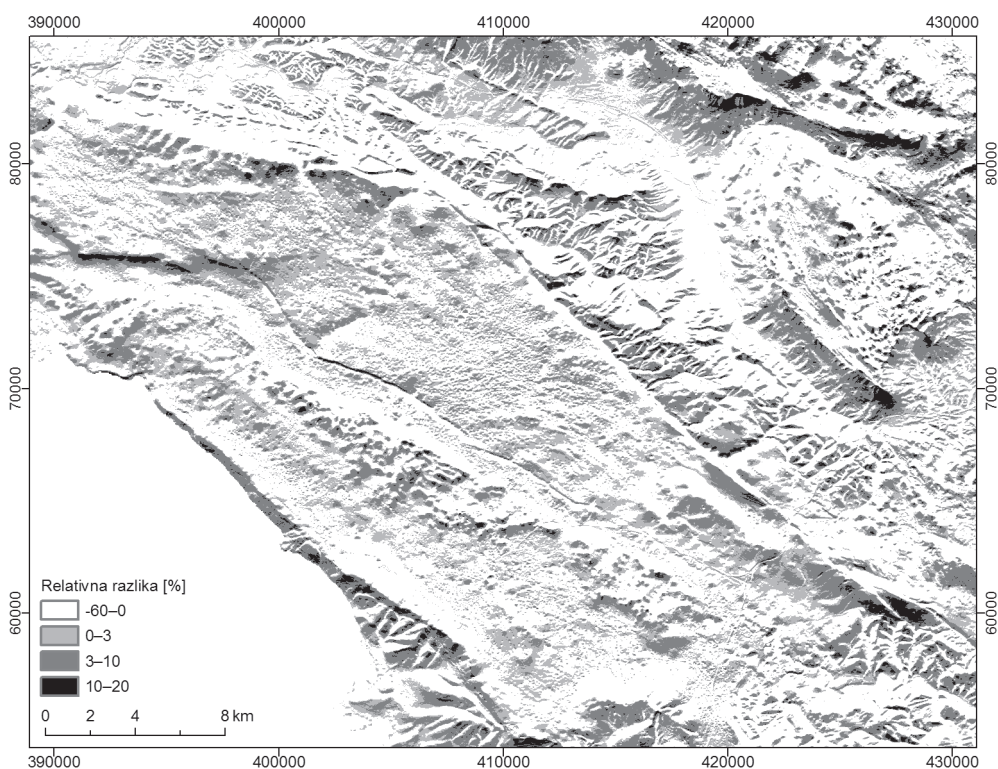


Slika 2: Povprečni letni kvaziglobalni obsev za območje Krasa za obdobje 1994–2003 (vir: Kastelec et al., 2005; DMV 12,5, november 2005, © Geodetska uprava Republike Slovenije).

Relief ima glede na sliko 2 zelo velik vpliv na energijo, ki jo prejme površje na Krasu in v okolici. Severne in zaprte lege prejmejo mnogo manj sončne energije kot južne lege. Zaradi dokaj izrazitega reliefa, ki obdaja Kras, ne moremo govoriti o idealnem obzorju, zato bi lahko že na tem mestu zaključili z iskanjem primernih območij za izkoriščanje sončne energije. Vendar so izgube, ki jih povzročata malo razgiban relief, zanemarljive. Do teh izgub namreč pride, ko je sonce nizko na nebu, zato je njegov vpliv oslavljen zaradi daljše poti skozi atmosfero, tudi če med površjem in soncem ni ovir. Za določitev primernih mest za izkoriščanje sončne energije zato ni smiselno iskati idealnega obzorja – dovolj dober približek daje razlika med kvaziglobalnim in globalnim obsevom za izbrano obdobje:

- če je razlika negativna, je območje dolgo časa v senci (prek poletja je razlika negativna tudi na vseh pobočjih),
- če je razlika nič ali rahlo negativna, gre za vodoravna območja, ki so lahko občasno v senci,
- če pa je razlika izrazito pozitivna, gre običajno za južna pobočja, ki so le redko v senci (razen v primeru, ko je razlika izračunana za poletje).

Rečemo torej lahko, da so območja, kjer je razlika med kvaziglobalnim in globalnim obsevom pozitivna, bolj primerna za izkoriščanje sončne energije, saj je na teh območjih vpliv senc majhen. Slika 3 prikazuje relativno razliko (v odstotkih) med kvaziglobalnim in globalnim obsevom (normirano z globalnim obsevom).



Slika 3: Relativna razlika med kvaziglobalnim in globalnim obsevom za območje Krasa za obdobje 1994–2003 (vir: Kastelec et al., 2005; DMV 12,5, november 2005, © Geodetska uprava Republike Slovenije).

2.3 Določitev optimalne prostorske orientacije sprejemnika sončne energije

S slike 1 je razvidno, da je globalna osončenost spremenljivka z visoko stopnjo avtokorelacije. Zato lahko sklepamo, da je najugodnejša prostorska orientacija sprejemnika sončne energije znotraj primerne območja za izkoriščanja sončne energije enaka za vse območje, če se izbrano območje ne razteza prek različnih klimatskih tipov. Na poljubni točki znotraj izbranega območja s simulacijo osončenosti na različno orientiranih ploskvah določimo prostorsko orientacijo

sprejemnika (kombinacija naklona in azimuta), pri kateri je sprejemnik kar najbolj izpostavljen sončnim žarkov v izbranem obdobju. Pri taki prostorski orientaciji je izkoristek osončenosti največji (večji bi seveda bil le, če bi sprejemnik sledil gibanju sonca). Zaradi podnebnih značilnosti (načeloma tudi zaradi krajevne reliefne izoblikovanosti, a vpliv reliefa je na najprimernejših območjih v večjem delu odstranjen) se lahko zgodi, da najugodnejša smer naklona, v katero je nagnjena ploskev, ni jug, kar je sicer pričakovano na severni polobli, ampak rahel zamik proti vzhodu ali zahodu. V simulaciji (stopinjski korak za vsak azimut od 0° do 360° in za vsak naklon od 0° do 90°) upoštevamo direktno in difuzno osončenost, pri čemer položaj sonca na nebu definiramo z njegovim azimutom a in zenitnim kotom z , orientacijo ploskve z naklonom η in usmerjenostjo μ . Direktno osončenost popravimo za količnik med kosinusoma vpadnega kota sonca α in zenitnega kota sonca z , difuzno osončenost pa za delež vidnega neba f_v , ocenjenega iz naklona sprejemnika η :

$$\frac{\cos(\alpha)}{\cos(z)} = \cos(\eta) + \sin(\eta) \cdot \tan(z) \cdot \cos(\mu - a) \quad (2)$$

$$f_v = \cos^2\left(\frac{\eta}{2}\right) \quad (3)$$

Večji naklon proti jugu sicer načeloma pomeni boljši izkoristek direktne obsevanosti zaradi manjšega vpadnega kota sončnih žarkov, vendar tudi manjši izkoristek difuzne obsevanosti zaradi zmanjšane deleža vidnega neba. Velik razpon najugodnejših smeri naklonov je možen poleti, ker se takrat sonce dolgo nahaja tudi na severni nebesni polobli. Ker je sonce pozimi ves čas na južni nebesni polobli, so najugodnejše smeri dokaj blizu juga (npr. v decembru na območju vse Slovenije prejmejo največ osončenosti tiste ploskve, ki so usmerjene natanko proti jugu).

3 REZULTATI

Najugodnejše orientacije so bile že ocenjene v podobni študiji Gabrovca, Pavlina in Skobirja (1998), vendar le na osnovi meritev trajanja sončnega sevanja in ne na osnovi osončenosti. Upoštevan je bil tudi vpliv senc, ki ni bil upoštevan v okviru tega članka, saj izraba sončne energije na pogosto osenčenih območjih po mnenju avtorjev ni smiselna. V predhodni študiji so bile najugodnejše prostorske orientacije ocenjene posebej za zimo in za celo leto, v tem članku pa za posamezne mesece in za celo leto.

Z izdelavo odločitvenega modela so bila predvidena območja namenjena morebitnim stanovanjskim novogradnjam in elektrarnam, ki bi izkoriščale sončno energijo. Za izdelavo modela so bile uporabljene metode GIS, ki omogočajo hitro in pregledno delo z vektorskimi in rastrskimi podatki. Ker pri določevanju primernih območij obstajajo ekonomske, naravovarstvene in fizične omejitve, so bile poleg podatka o osončenosti izbranega območja uporabljene še informacije o infrastrukturi, reliefu, naravnih danostih in varovanih območjih, ne pa tudi lokalne želje in politične usmeritve.

Pri načrtovanju gradnje stanovanjskih hiš oziroma elektrarn sta zelo pomembna relief in

oddaljenost od cestne infrastrukture. Ker je gradnja na pobočjih težavna, celo nemogoča, dostop do objekta pa nujen, so bila iz delovnega območja izločena vsa območja, ki se ne nahajajo v bližini cest ali obsegajo prestrma pobočja. V ta namen je bila določena stroškovna ploskev, ki podaja najmanjšo akumulacijsko stroškovno razdaljo od cestnega omrežja glede na stroškovni raster (nakloni reliefa iz DMV). To pomeni, da je bilo na ravnih površinah upoštevano večje območje, na strmih pobočjih pa manjše. Za zgornjo mejo dovoljene stroškovne razdalje je bila izbrana vrednost 2000 stroškovnih enot. Za prikaz reliefa je bil uporabljen DMV 12,5, za ceste pa prometnice iz baze TOPO 25, ki niso vsebovale makadamskih, gozdih in drugih manj pomembnih poti.

Naslednja omejitev pri določanju primerne območja so bila zavarovana območja, vodovarstvena območja ter naravne vrednote (naravni spomeniki), kjer so novogradnje strogo prepovedane. Podatki so bili vzeti iz interaktivnega Naravovarstvenega atlasa (2007), ki je last Agencije Republike Slovenije za okolje. Kot primerna so bila le tista območja, ki niso vsebovala naštetih območij.

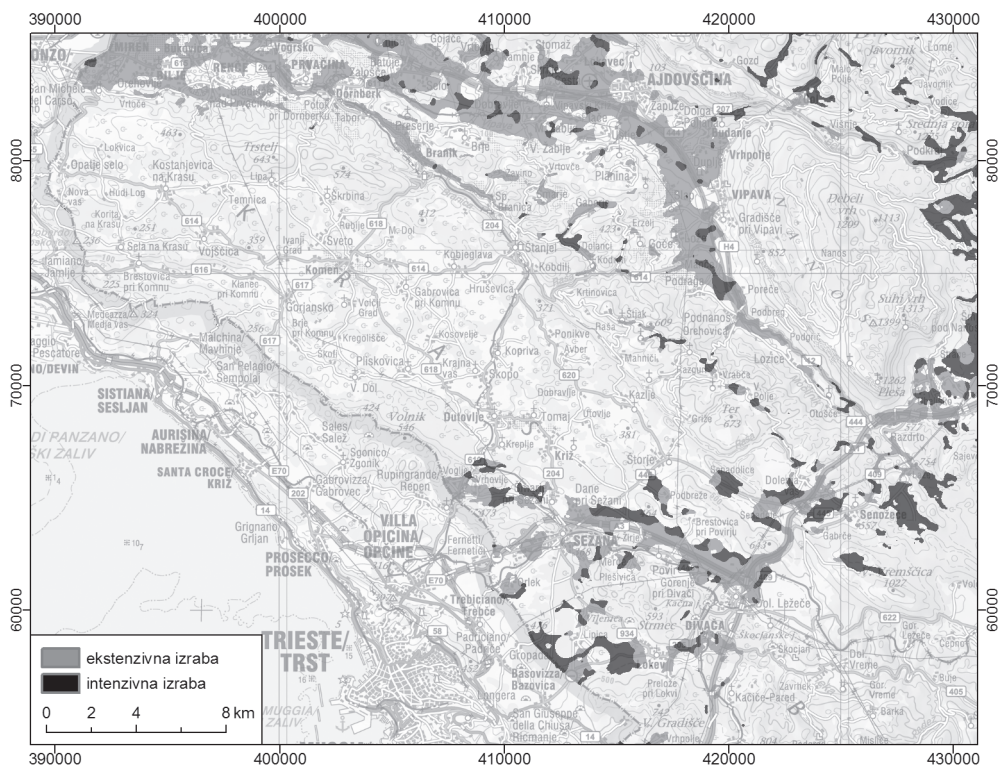
Pri računanju modela za izgradnjo sončnih elektrarn smo upoštevali dodatna dejavnika: bližino naselij in vodnih površin. Natančno določena (predpisana) oddaljenost gradnje gospodarskih objektov od naštetih dejavnikov je stvar posameznih občin. Pri določitvi neprimernih območij za gradnjo je bil okrog voda in bivalnih površin uporabljen bafer velikosti 300 m, znotraj katerega naj bi bila gradnja elektrarn neprimerna. Podatki so bili pridobljeni iz karte rabe tal (Kokalj, Ž. in Oštir, K. 2006).

V okviru študije nam na žalost ni uspelo pridobiti nekaterih podatkov, ki so nujno potrebni za upoštevanje primernosti prostora iz vseh vidikov (npr. podatki o varovanih kulturnih zemljiščih in podatki o kulturni dediščini), zato smo se odločili, da poskušamo prikazati manj območij in s tem zanemariti morebitne napake. Omejenost primernosti prostora omejujejo predvsem zavarovana območja, zato smo na preostalih območjih omejili možnost napake z relativno nizko mejno vrednostjo oddaljenosti od cest po stroškovni ploskvi (naklon pobočja).

V študiji so bili izdelani odločitveni modeli za tri časovna obdobja: poletje, zimo in celo leto. Pridobljeni podatki so bili klasificirani v binarne sloje glede na določena območja omejitve - primerna območja so bila klasificirana z 1, neprimerna pa z 0. Pri slojih osončenosti so bila primerna območja le tista, kjer je bila relativna razlika med kvaziglobalnim in globalnim obsevom večja ali enaka 0 %. Tako pripravljene sloje so bili nato prekriti (sešteti) in s tem so bila izločena vsa območja, ki niso zadoščala vsem pogojem. Pri določitvi možnih lokacij izgradnje elektrarn sta bila dodana še sloja z naselji in vodnimi površinami. Končni rezultat je bil pridobljen s prekrivanjem dobljenih slojev primernih območij za gradnjo stanovanj in elektrarn za posamezno časovno obdobje.

Zaradi večjega vpliva senc na kvaziglobalni obsev je bilo pričakovati, da bo razlika v primernih območjih med zimo in poletjem občutna, vendar se je izkazalo, da jo lahko zanemarimo in uporabimo le območja izdelana na podlagi razlike med letošnjim kvaziglobalnim in globalnim obsevom. Primerna območja za izkoriščanje sončne energije za obdobje celega leta so prikazana na sliki 4. Primerna območja na Krasu se nahajajo le med Divačo, Sežano in Lipico. Seveda je

možno namestiti sončne celice na že obstoječe stavbe (na Krasu je mnogo vasi, ki ne sodijo v najprimernejša območja), ki niso znotraj predvidenih območij, kajti vpliv na naravno okolje je v teh primerih zanemarljiv, vpliv na kulturno krajino pa je lahko občuten (nameščene sončne



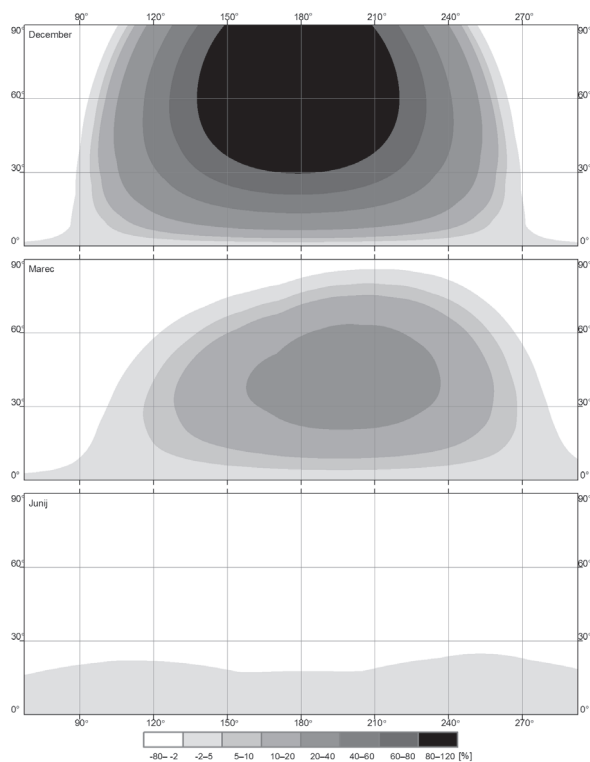
celice z velikim naklonom lahko povzročijo estetsko neskladje na starih kraških hišah).

Slika 4: Najprimernejša območja za ekstenzivno (energetsko ugodne novogradnje) in intenzivno (elektrarne) izkoriščanje sončne energije (vir: PK 250, avgust 2006, © Geodetska uprava Republike Slovenije).

Rezultate o najugodnejših orientacijah lahko prikažemo v grafični in tabelarni obliki. Na abscisi grafa 1 so naneseni azimuti naklona, na ordinati pa naklon; sivine predstavljajo relativno spremembo glede na globalni obsev pri izbrani prostorski orientaciji ploskve. Smeri naklonov so omejene z azimutom 70° na vzhodu in 290° na zahodu, ker s še nadaljnjim pomikanjem proti severu ne prikažemo nobenih značilnih vzorcev. Vsi grafi so izdelani za tri izbrane mesece (december, marec in junij), ki največ povedo o relativnih spremembah sončnega obseva poljubno orientiranih ploskev skozi leto. Rezultate lahko predstavimo tudi za vsak mesec posebej (preglednica 1). Če bi prostorsko orientacijo sprejemnika vsak mesec posebej spreminjali, bi lahko tekom celega leta pridobili približno 21 % sončne energije, pri konstantni orientaciji preko celega leta pa približno 13 % več kot pri vodoravnem sprejemniku. S pravilnim orientiranjem sprejemnika lahko največ energije pridobimo v zimskem in najmanj v poletnem času.

Časovno obdobje	Azimut [°]	Naklon [°]	Prejet obsev na sprejemniku [MJm ²]	Prejet obsev na vodoravni ploskvi [MJm ²]	Prirastek [%]
leto	181	32	5368,3	4741,6	13,2
januar	189	66	347,3	155,7	123,1
februar	189	57	398,8	236,1	68,9
marec	200	42	489,0	383,5	27,5
april	191	22	471,4	447,1	5,4
maj	173	10	611,7	604,7	1,2
junij	252	7	660,6	659,1	0,2
julij	251	15	704,4	692,9	1,7
avgust	204	20	631,8	602,4	4,9
september	175	34	483,3	414,1	16,7
oktober	167	49	395,0	279,3	41,4
november	167	62	277,8	149,1	86,3
december	179	67	259,8	117,7	120,7

Preglednica 1: Najugodnejše prostorske orientacije sprejemnikov sončne energije za Krás s pričakovanimi vrednostmi sončne energije.



Graf 1: Relativna sprememba obseva glede na globalni obsev (prirastek v energiji pri primerjavi poljubno orientirane in vodoravne ploskve sprejemnika) za mesece december, marec in junij v okolici Sežane.

Vidimo lahko, da je decembra možno pridobiti veliko energije ob relativno velikem naklonu proti jugu. Po drugi strani junija z nagibanjem ploskve zelo hitro »pridelamo izgubo«. Vzrok za to je vzhajanje in zahajanje sonca v poletnih mesecih na severni nebesni polobli, zato je v naših krajih npr. ob poletnem sončnem obrat sonce le 8 ur na južni nebesni polobli in kar 6 na severni. V splošnem bi sicer predvidevali, da znaša najugodnejši naklon poleti približno 20° , a zaradi odvisnosti direktne osončenosti od kosinusa vpadnega kota ni tako. Namreč, če sprejemnik nagnemo za 20° proti jugu, »ujamemo v opoldanskih urah nekaj sonca več« – zaradi lastnosti kosinusne funkcije, ki spreminja vrednosti počasi v okolici 0, gre v tem primeru le za nekaj odstotkov. Po drugi strani pa naklon 20° proti jugu močno zmanjša vpadni kot v jutranjih in večernih urah, zato je zaradi lastnosti kosinusne funkcije, ki zelo hitro spreminja vrednosti v okolici $\pi/2$, osončenost sprejemnika zmanjšana za več deset odstotkov. Zjutraj in zvečer je lahko tako orientiran sprejemnik celo v lastni senci.

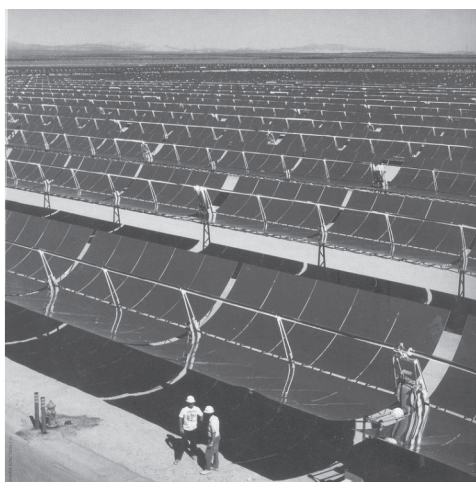
Na koncu je treba rezultate tudi kritično oceniti, kar pa je v primeru odločitvenih modelov vedno težko, ker so meje primernosti dejavnikov običajno določene deduktivno glede na politične in ekonomske zahteve. Pravzaprav nikoli ni prave odločitve, vedno gre za iskanje kompromisa med lokalno skupnostjo, varovanjem okolja, ekonomskimi cilji itd. Bolj objektivno bi bilo možno oceniti določitev najugodnejših prostorskih orientacij sprejemnika, vendar tudi tu nastopijo težave. Orientacije so bile določene na osnovi meteoroloških slojev, ki so bili interpolirani iz meritev, ker pa je merilnih postaj glede na nehomogenost Slovenije malo, je težko oceniti natančnost interpolacije. Nadmorska višina je bila kot dodaten parameter zaradi višinske porazdelitve oblačnosti upoštevana pri interpolaciji meritev, vendar je spreminjanje osončenosti odvisno še od drugih dejavnikov, ki nimajo sistematičnega vpliva. Zgodi se lahko celo, da se v določenem časovnem obdobju vreme močno razlikuje od pričakovanih razmer, takrat podatki, določeni na podlagi meritev med letoma 1994 in 2003, niso primeren vir za določanje najugodnejših orientacij sprejemnika. Zato lahko predvidevamo nihanja v absolutni vrednosti letnega obseva, relativni prirastki pri najugodnejših orientacijah pa so ocenjeni dovolj natančno – za orientacijo popolnoma natančna postavitev sprejemnika ni bistvenega pomena, saj se prirastek pri nekaj stopinjah drugače zasukanega sprejemnika spremeni kvečjemu za pol odstotka v zimskem času, poleti pa so razlike zanemarljive.

4 DISKUSIJA

Obalno-kraška regija je najbolj osončena v Sloveniji, zato lahko rečemo, da je izraba sončne energije najbolj smiselna prav na tem območju. V članku smo z metodami GIS nakazali tista območja, kjer bi jo lahko ugodno izkoristili. Sončna energija ima namreč velik potencial pri pridobivanju električne energije, ki je večinoma še neizkoriščen. Razloge lahko iščemo v majhni izhodni moči in majhnem izkoristku sončnih celic. Danes se na trgu dobi sončne celice s 15 % izkoristkom. To pomeni, da optimalno orientirane sončne celice na območju Krasa lahko letno proizvedejo približno 220 kWh (810 MJ) električne energije na m^2 . Če upoštevamo, da letna poraba elektrike na posamezno gospodinjstvo znaša približno 4000 kWh (če ima ogrevanje drug vir energije; SURS, 2007), bi za pokritje celotne letne potrebe po elektriki potrebovali manj kot 20 m^2 sončnih celic. Kljub temu, da je njihova cena zaradi izboljšane tehnologije izdelave in

boljšega oblikovanja padla, je strošek postavitve in vzdrževanja še vedno dokaj visok, a se lahko povrne v približno desetih letih.

Sončne celice lahko postavimo kamorkoli, tudi na že obstoječe hiše. Za postavitve energetske varčnih novogradenj in sploh za postavitve sončnih elektrarn pa širša javnost morebiti ne bi bila tako navdušena. Glede na odmeve javnosti na poskus postavitve vetrnih elektrarn na Volovji rebri, bi bilo utopično pričakovati, da bi bila možna izgradnja elektrarne primerljive s tisto v Almeri (Španija; PSA, 2007), kjer vsa zrcala odbijajo sončno energijo v »točkovno« gorišče na vrhu stolpa (slika 5 levo), ki je največji poseg v prostor, saj je lahko visok več deset metrov. Mogoče bi imela več možnosti zrcala, ki usmerijo sončno energijo v gorišče na premici (cev; uporabljeno v Kramer Junction, ZDA; SOLAQ, 2007), saj v takem primeru ne potrebujemo stolpa (slika 5 desno). Če bi uporabili to tehnologijo ob morju, bi lahko z »odpadno« toploto celo destilirali morsk vodo, do česar bo morda ob nadaljnjih poletnih sušah celo prišlo. Izhodna moč teh elektrarn zaenkrat ne presega 10 MW, kar je sicer dovolj za potrebe manjše tovarne, vendar je realno pričakovati, da bomo v prihodnosti lahko nadomestili kako od obstoječih elektrarn z izgradnjo primerno velikega kompleksa in z napredkom tehnologije (povprečne hidroelektrarne v Sloveniji imajo izhodno moč nekaj 10 MW).



Slika 5: Sončni elektrarni v Španiji (levo; PSA, 2007) in ZDA (desno; SOLAQ, 2007).

Literatura in viri:

Baban, S. M. J., Parry, T. (2001). *Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK. Renewable energy*, 24/1: 59–71.

Dolinar, M. (2006). *Prostorska porazdelitev trajanja sončnega obsevanja*. V: D. Perko, J. Nared, M. Čeh, D. Hladnik, T. Podobnikar, R. Šumrada (ur.). *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2005–2006* (str. 61–72). Ljubljana: Založba ZRC.

Energetika. (2005). Maribor: Pedagoška fakulteta, Oddelek za tehniko. Pridobljeno 9. 1. 2007 s spletne strani <http://www2.pimb.uni-mb.si/tehnika/vsebina/projekti/energetika/index.html>.

Gabrovec, M., Kastelec, D. (1998). *Sončno obsevanje*. V: J. Fridl, D. Kladnik in D. Perko (ur.), *Geografski atlas Slovenije* (str. 104–105). Ljubljana: DZS.

- Gabrovac, M., Pavlin, B., Skobir, M. (1998). *Razporeditev prebivalstva in možnosti izkoriščanja sončne energije v Sloveniji*. V: M. Krevs, D. Perko, T. Podobnikar, Z. Stančič (ur.). *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997–1998* (str. 135–140). Ljubljana: Založba ZRC.
- Hočevar, A., Petkovšek, Z., Pristov, J., Rakovec, J., Roškar, J., Zupančič, B., Kajfež - Bogataj, L. (1980). *Razporeditev potenciala sončne energije v Sloveniji. Končno poročilo o rezultatih raziskav*. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, VTOZD za agronomijo.
- Kastelec, D., Rakovec, J., Jeromel, M., Glavač-Šah, R., Zakšek, K., Podobnikar, T. (2005). *Sončno obsevanje v Sloveniji. Končno poročilo o rezultatih raziskav*. Ljubljana: Fakulteta za matematiko in fiziko, Katedra za meteorologijo.
- Kastelec, D., Rakovec, J., Zakšek, K. (2007). *Sončno energija v Sloveniji*. Ljubljana: Založba ZRC.
- Kokalj, Ž. (2004). *Vrednotenje pokrajinskoekoloških tipov Slovenije v luči pokrovnosti, izdelane s klasifikacijo satelitskih posnetkov Landsat*. Diplomsko naloga. Ljubljana: Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo.
- Kokalj, Ž., Oštir, K. (2006). *Ugotavljanje pokrovnosti Slovenije iz satelitskih posnetkov Landsat*. *Geografski vestnik*, 78/2: 85–95.
- Naravovarstveni atlas. (2007). ARSO. Pridobljeno 9. 1. 2007 s spletne strani <http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp>
- Petkovšek, Z. (2004). *Burja v Sloveniji in nekoliko južneje*. V Cegnar, T. et al. (ur.), *Pol stoletja Slovenskega meteorološkega društva* (str. 251–268). Ljubljana: Slovensko meteorološko društvo.
- Podobnikar, T., Mlinar, J. (2006). *Integriranje podatkov reliefa Slovenije*. V: D. Perko, J. Nared, M. Čeh, D. Hladnik, T. Podobnikar, R. Šumrada (ur.). *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2005–2006* (str. 61–72). Ljubljana: Založba ZRC.
- PSA. (2007). Pridobljeno 9. 1. 2007 s spletne strani <http://www.psa.es>.
- SOLAQ. (2007). Pridobljeno 9. 1. 2007 s spletne strani <http://www.solaq.biz>.
- SURS. (2007). Pridobljeno 17. 1. 2007 s spletne strani <http://www.stat.si>.
- Zakšek, K., Podobnikar, T., Oštir, K. (2005). *Solar radiation modelling*. *Computers & Geosciences*, 31/2, 233–240.
- Zakšek, K. (2006). *Analiza vidnosti s prostorskim kotom odprtega neba*. *Geografski vestnik*, 78/2, 97–109.
- Vir prostorskih podatkov: © 1999–2006 Geodetska uprava Republike Slovenije*

Prispelo v objavo: 19. januar 2007
Sprejeto: 6. marec 2007

Klemen Zakšek, univ. dipl. inž. geod.

ZRC SAZU - Inštitut za antropološke in prostorske študije, Novi trg 2, SI-1000 Ljubljana
 E-pošta: klemen.zaksek@zrc-sazu.si

Aleš Marsetič, univ. dipl. inž. geod.

ZRC SAZU - Inštitut za antropološke in prostorske študije, Novi trg 2, SI-1000 Ljubljana
 E-pošta: ales.marsetic@zrc-sazu.si

Žiga Kokalj, univ. dipl. geog.

ZRC SAZU - Inštitut za antropološke in prostorske študije, Novi trg 2, SI-1000 Ljubljana
 E-pošta: ziga.kokalj@zrc-sazu.si