

METODE**ANALIZA VIDNOSTI S PROSTORSKIM KOTOM
ODPRTEGA NEBA**

AVTOR

Klemen Zakšek

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

UDK: 910:528:004(497.4)

COBISS: 1.01

IZVLEČEK

Analiza vidnosti s prostorskim kotom odprtega neba

V članku je predstavljen izračun prostorskega kota odprtega neba, ki je pomemben pri modeliranju naravnih procesov in uporaben v mnogih aplikacijah, ki temeljijo na analizi vidnosti. V nasprotju z običajnimi analizami vidnosti, s katerimi določimo vidno območje zemeljskega površja iz izbrane točke, s predstavljeno metodo izdelamo raster, katerega vsaka celica nosi posplošen podatek o vidnosti neba. Izračun temelji na kontekstualni analizi digitalnega modela višin, zato na rezultate poleg podatkov vplivajo tudi oblika in velikost premikajočega se okna.

KLJUČNE BESEDE

prostorski kot odprtega neba, vidnost, zemeljsko površje, kontekstualne analize

ABSTRACT

Using sky-view factor for visibility analysis

This article presents the sky-view factor computation. The sky-view factor is an important dataset for a natural process modeling, but it can also be used in many applications that are based on visibility analyses. Visible areas of the Earth's surface are usually determined regarding a single chosen point, but this method allows one to generate a raster whose cells contain generalized data about the sky visibility. The computation is based on the contextual analysis of the DEM, thus results are influenced by the data and moreover, by the shape and the size of the moving window.

KEY WORDS

sky-view factor, visibility, Earth surface, contextual analyses

Uredništvo je prispevek prejelo 23. avgusta 2006.

1 Uvod

Analiza vidnosti je pomemben del aplikacij geografskih informacijskih sistemov: urbanisti, na primer, jo uporabljajo pri načrtovanju rabe prostora, vojska jo potrebuje za čim bolj prikrite pomike svojih enot. Veliko študij analiz vidnosti najdemo v arheologiji. Maschnerja (1996) je zanimalo, kako je obseg morja, vidnega z obale, vplival na obrambno sposobnost vasi na Aljaski; Ogburn (2001) se je ukvarjal z analizo poselitve glede na vidnost vzpetin, na katerih naj bi bili postavljeni religiozni objekti; Lambers in Sauuerbier (2006) sta preučevala, od kje so vidni geoglifi v Peruju. V Sloveniji sta Stančič in Veljanovski (1998) pri izdelavi napovedovalnega arheološkega modela uporabila kumulativno vidnost, z metodo Monte Carlo je bila simulirana vidnost oddajnikov mobilne telefonije (Oštir in ostali 2000), Zavadlav in Oštir (2004) sta uporabila vidnost pri estetskem vrednotenju vrhov slovenske planinske transverzale, omeniti pa velja tudi preizkuse algoritmov Kaučiča in Žalika (2001), ki sta se ukvarjala z njihovo učinkovitostjo.

Analizo vidnosti v geografskih informacijskih sistemih razumemo kot prostorsko analizo, s katero glede na izbrano točko določimo binarni sloj (ne)vidnega površja s pomočjo digitalnega modela višin (Kvamme in sodelavci 1997). Operacija določitve vidnega območja iz izbrane točke (angleško *viewshed*) je običajno vezana le na eno točko, kar je predvsem pri modeliranju naravnih procesov manj uporabno, zato je vidnost v rastru bolje opisati s poljubno izbranim indeksom vidnosti, ki je lahko na primer razdalja do najbolj oddaljenega objekta na obzorju ali višinski kot obzorja.

V nadaljevanju predstavljamo izračun prostorskega kota odprtega neba, ki smo ga izračunali za Slovenijo na podlagi novega digitalnega modela višin z ločljivostjo 100 m DMV-100 (Podobnikar in sodelavci 2005). Digitalni modeli višin so pomembni pri določanju vpliva reliefa na osončenost (Yard in sodelavci 2005; Robinson 2006) ali temperaturo (Blennow 1998; Bourbia in Awbi 2004) in številnih drugih aplikacijah.

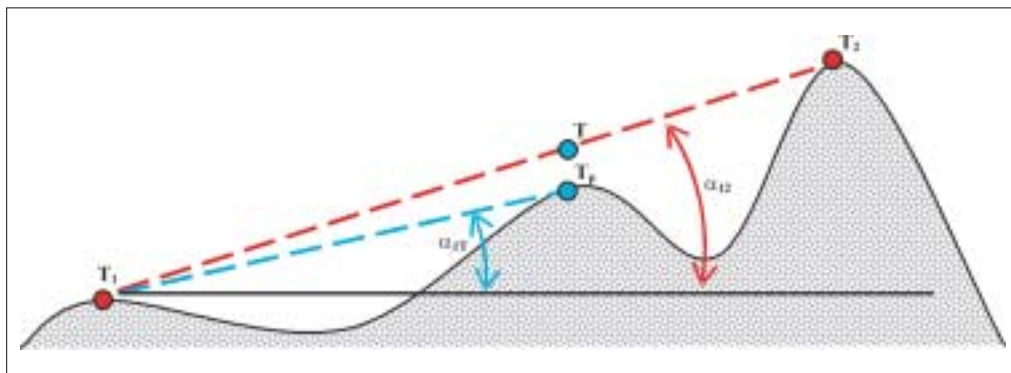
Naš izračun smo primerjali tudi s poenostavljenimi, a mnogo hitrejšimi metodami izračuna prostorskega kota odprtega neba.

2 Analiza vidnosti

Na vidnost vpliva več dejavnikov, zato se moramo pred začetkom analize odločiti, katere bomo upoštevali. V Sloveniji vidnost najbolj omejuje razgiban relief. Glede na veliko gozdnatost Slovenije sta pomembna dejavnika tudi višina in gostota rastja, saj znotraj gozda vidimo le nekaj deset metrov okoli sebe. Ker je v Sloveniji malo visokih zgradb, antropogeni dejavniki pri nas niso večja ovira pri vidnosti. Ker so meteorološke razmere težko predvidljive, jih pri analizi vidnosti običajno zanemarimo, čeprav večkrat močno omejujejo vidnost, na primer megla. Pri daljših razdaljah na vidnost vplivata tudi ukrivljenost Zemlje in refrakcija, ki pa druga drugo izničujeta, tako da je njun skupni vpliv načeloma manjši od natančnosti vhodnih podatkov.

Pred analizo vidnosti se moramo odločiti, ali bomo določali aktivno ali pasivno vidnost. Običajno nas zanima, katero območje vidimo iz izbrane točke, kar je aktivna vidnost. Če pa nas zanima območje, s katerega je točka vidna, govorimo o pasivni vidnosti. Kadar na vidnost vpliva le relief, lahko aktivno in pasivno vidnost izenačimo. Če upoštevamo tudi rastje, lahko opazovalec z vrha nekega hriba vidi gozd v dolini (aktivna vidnost), opazovalec znotraj gozda v dolini pa zaradi krošenj ne vidi hriba (pasivna vidnost). Zaradi pomanjkljivih podatkov o rastju in izrazitega pomena oblikovanosti površja v Sloveniji naša študija temelji izključno na DMV-100 m, tako da lahko razlike med aktivno in pasivno vidnostjo zanemarimo.

Izbrati je treba tudi način predstavitve vidnosti. Rezultati se pri običajnih analizah nanašajo na eno samo točko (določamo vidno površino ali vidna območja vzdolž linije proti drugi točki), lahko pa delamo z več točkami (določamo na primer, ali točka vidna z vseh vrhov). Pri rastrskih analizah vidnosti rezultati ne povedo, kateri del površja je viden, temveč za vsako rastrsko celico opisujejo vidnost z izbranim indeksom, ki je lahko na primer površina vidnega površja ali količina vidnega neba. Določanje indeksa



Slika 1: Točka T_2 je vidna s točke T_1 , saj je točka T (na povezovalni liniji med točko T_1 in T_2) višja od pripadajoče točke površja T_p , oziroma višinski kot proti točki T_2 je višji od višinskega kota proti točki T_1 .

vidnosti za raster je časovno zelo zamudno in je povezana z uporabo primerno optimiziranega algoritma (Kaučič in Žalik 2001; Kim in sodelavci 2004).

Večina algoritmov za izračun medsebojne vidnosti dveh točk površja, ki ju lahko predstavimo s krajevnima vektorjema $T_1 = (x_1, y_1, z_1)$ in $T_2 = (x_2, y_2, z_2)$, temelji na dejstvu, da sta točki vidni, ko je na povezovalni liniji vsaka točka, predstavljena s krajevnim vektorjem T ($T = (x, y, z) = T_1 + t \cdot (T_2 - T_1)$; $0 < t < 1$) višja od pripadajoče točke površja T_p (Kaučič in Žalik 2001). Ta pogoj lahko opišemo tudi s pomočjo višinskih kotov (slika 1): točka T_2 je vidna iz točke T_1 , če je višinski kot iz točke T_1 za vsako točko T med njima vedno manjši od višinskega kota proti točki T_2 ($\alpha_{12} > \alpha_{1T}$). Za določitev vidnosti po vsej površini okoli izbrane izhodiščne točke ponavljamo postopek v poljubnem številu izbranih smeri.

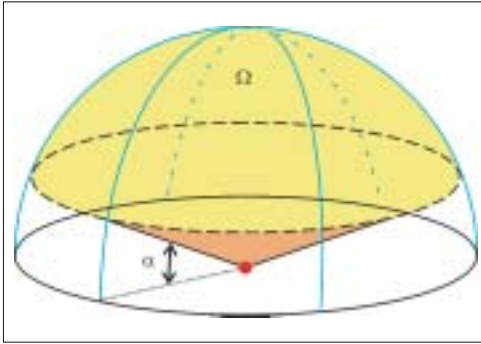
3 Prostorski kot odprtega neba

Pri modeliranju meteoroloških procesov je večkrat pomembno, koliko odprtega neba je nad površjem, torej nad vsako točko. Ta podatek je pomemben na primer pri ohlajanju. Površje oddaja dolgovalovno sevanje v atmosfero, zato se bolj ohladijo tisti deli površja, ki imajo v svoji okolici več zraka, in ob enakih meteoroloških razmerah se površje v dolini ohladi manj kot površje na grebenu, kajti površje na grebenu lahko oddaja toploto tudi vstran in ne samo gor, kot je to možno v dolini. Količina odprtega neba vpliva tudi na difuzno osončenost. Na ravnini prejme poljubna ploskev veliko več energije z difuzno svetlobo kot v ozki dolini, saj prihaja difuzna svetloba z neba (razpršuje se na molekulah zraka in na aerosolu). Neba je na odprtem prostoru vidnega neprimerno več, zato je tudi difuzna obsevanost na odprtem večja.

Najprimernejša mera za izražanje odprtosti neba je prostorski kot. Ta je povezan s površino pripadajočega predmeta na krogelni ploskvi, tako kot je običajni kot v ravnini povezan s pripadajočim krožnim lokom. Prostorski kot poljubnega predmeta z izbranega opazovališča je količnik med površino tega predmeta in krogelne površine, ki ima polmer enak oddaljenosti opazovališča do predmeta (medmrežje):

$$\Omega = k \cdot S : R^2,$$

kjer je Ω prostorski kot, k konstanta, S površina predmeta, projiciranega na krogelno ploskev polmera R , ki je enak razdalji med opazovališčem in predmetom. Če je vrednost konstante k ena, izražamo prostorski kot v steradianih Sl. V meteorologiji je primernejša konstanta $1 : 2\pi$, kar pomeni, da ima prostorski kot nebesne poloble vrednost ena; zaloga vrednosti prostorskega kota pa tako leži na intervalu



Slika 2: Prostorski kot stožca Ω (z rumeno obarvan viden del nebesne poloble) lahko določimo, če poznamo kot med na glavo postavljenim stožcem in vodoravno ravnino α .

med 0 in 1 (v angleškem jeziku se je za tako definirani prostorski kot uveljavil izraz *sky-view factor*). Izračunati se da prostorski kot predmeta vsakršne oblike, a najbolj pogosto računamo prostorski kot telesu, ki ga omejuje stožec. Predstavljajmo si, da smo znotraj na glavo postavljenega stožca brez dna, katerega lupina oklepa z vodoravno ravnino kot A (slika 2); potem je prostorski kot odprtega neba na najnižji točki (Marks in ostali 1979):

$$\Omega = \cos^2 A.$$

Ker so geometrijsko pravilna telesa v naravi prej izjema kot pravilo, poskušamo dejansko površje poenostaviti s plaščem stožca: potrebujemo tak stožec, katerega prostorski kot odprtega neba je enak prostorskemu kotu dejanskega površja. Predvidevamo, da se to zgodi v primeru, ko povprečen višinski kot obzorja površja ustreza kotu med stožcem in vodoravno ravnino. Ovire na obzorju so namreč tiste, ki omejujejo vidnost neba. To pomeni, da moramo poiskati za vsako stojišče tiste predmete na površju, ki v izbranih smereh omejujejo pogled. Potem definiramo prostorski kot odprtega neba z enačbo:

$$\Omega = \cos^2 A_p,$$

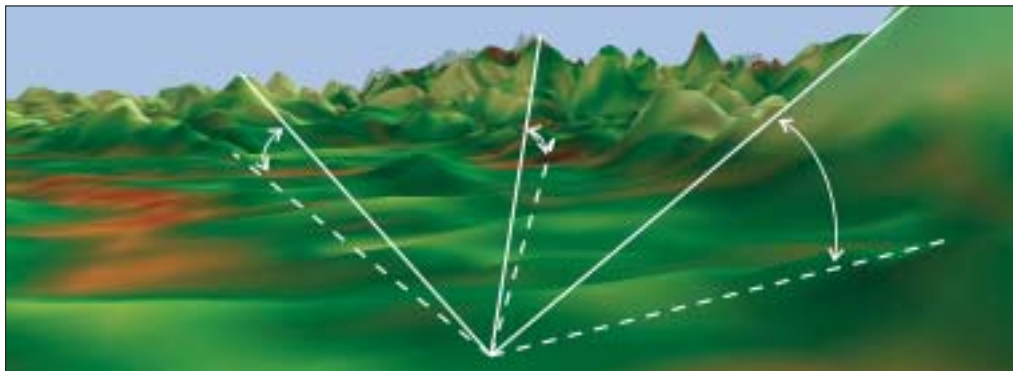
kjer povprečen višinski kot obzorja A_p izračunamo v n poljubnih smereh (slika 3):

$$A_p = (A_1 + A_2 + \dots + A_n) : n.$$

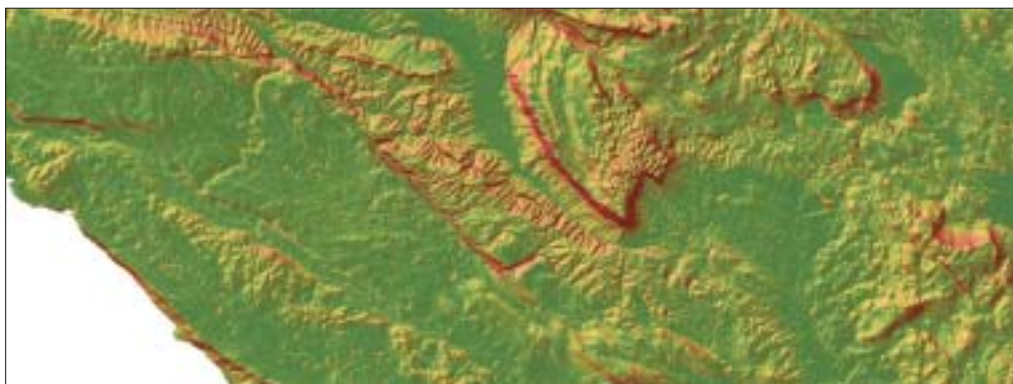
V literaturi (na primer Duffie in Beckman 1991) največkrat zasledimo, da je pri izračunu prostorskega kota odprtega neba vrednost povprečnega višinskega kota obzorja enaka polovici naklona reliefa S za posamezno celico DMV (ob predpostavki, da vidnost omejuje le relief). Gre za poenostavitev, pri kateri celico, za katero računamo prostorski kot, na eno stran omejimo z neomejenim ravnim pobočjem in na drugo stran s tangentno ravnino na relief. To pomeni, da računamo povprečni višinski kot obzorja le v dveh smereh. Višinski kot obzorja v eni smeri je naklon v celici, v drugi smeri je enak nič, torej je povprečni višinski kot obzorja polovica naklona posamezne celice DMV. Izboljšana metoda dodatno upošteva še linearno odvisnost od naklona reliefa (Tian in ostali 2001):

$$\Omega = 0,75 + (0,25 \cdot \cos S) - (0,5 : \pi \cdot S).$$

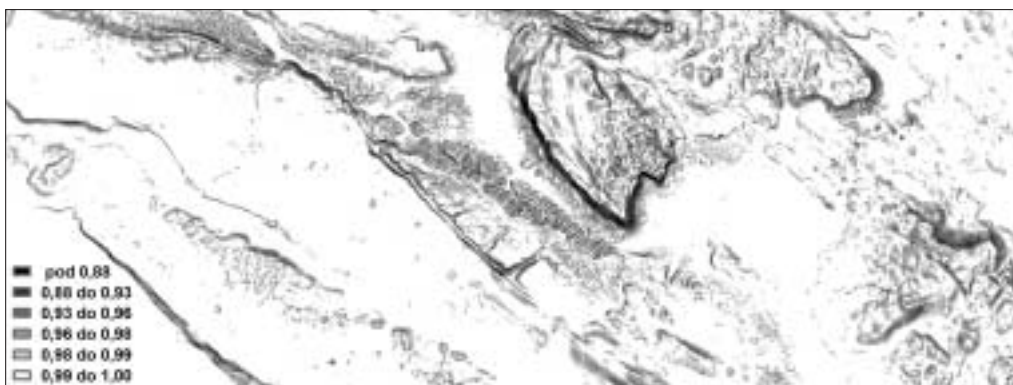
Slike 4, 5, 6, 7 in 8 prikazujejo rezultate izračuna prostorskega kota na različne načine v jugozahodnem delu Slovenije z Nanosom v sredini. Iz naklonov reliefa (slika 4) sta izračunana prostorska kota odprtega neba po gornjih poenostavitvah (slika 5 in 6), boljši približek z iskanjem obzorja v več smereh



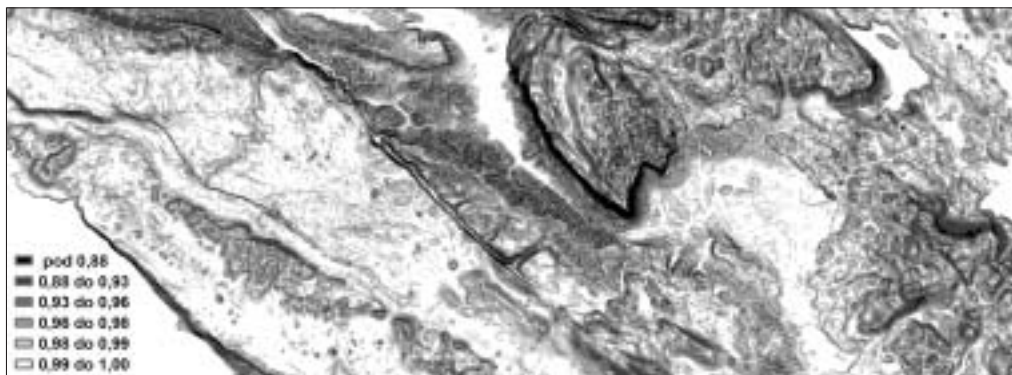
Slika 3: Ponazoritev določitve višinskega kota obzorja v poljubnem številu smeri iz naključno izdelanih podatkov; stojišče je v presečišču linij, polne linije predstavljajo smeri proti vrhu površja v izbranih smereh na obzorju in črtkane ustrezne vodoravne smeri.



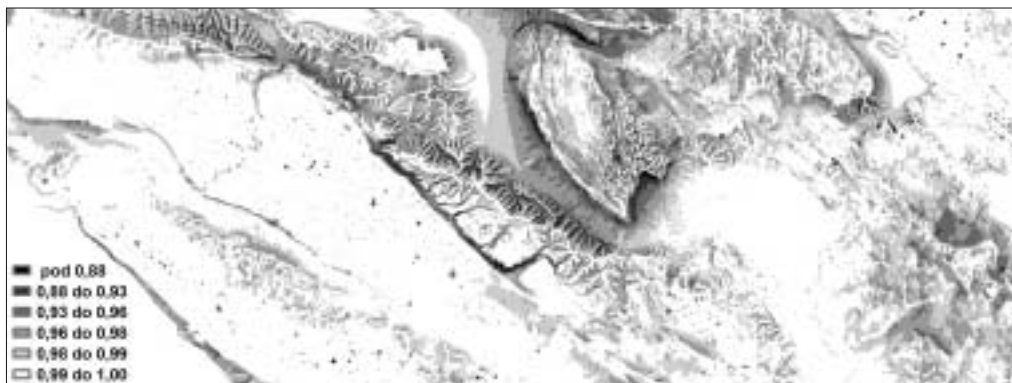
Slika 4: Nakloni površja in senčen relief (vir: DMV-12,5, november 2005, © Geodetska uprava Republike Slovenije); zelena barva predstavlja bolj ravna, rdeča bolj strma območja, velikost območja je 60,3 krat 22,5 km.



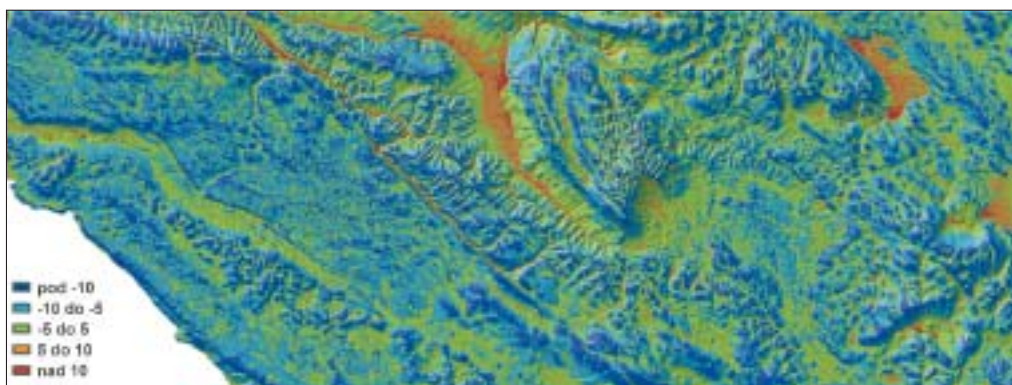
Slika 5: Prostorski kot odprtega neba, izračunan po poenostavljeni metodi (Duffie in Beckman 1991), velikost območja je 60,3 krat 22,5 km.



Slika 6: Prostorski kot odprtega neba, izračunan po poenostavljeni (Tian in ostali 2001), velikost območja je 60,3 krat 22,5 km.



Slika 7: Prostorski kot odprtega neba, izračunan s povprečnim višinskim kotom obzorja v 360 smereh na največji razdalji 5 km, velikost območja je 60,3 krat 22,5 km.



Slika 8: Razlika med višinskimi koti obzorja, izračunanega iz podatkov na slikah 7 in 6 (za večino območja je višinski kot obzorja pri poenostavljeni metodi pričakovano vsaj za 5° nižji), velikost območja je 60,3 krat 22,5 km, v ozadju senčen relief (vir: DMV-12,5, november 2005, © Geodetska uprava Republike Slovenije).

pa je predstavljen na sliki 7. Vidimo, da imajo po obeh enostavnih metodah izračuna pobočja močno podcenjen, doline pa močno precenjen prostorski kot odprtega neba, kar je še posebej očitno na sliki 8, ki predstavlja razliko v višinskih kotih obzorja, določenih iz prostorskih kotov odprtega neba v več smereh in po metodi Tiana in ostalih (2001).

4 Izračun prostorskega kota odprtega neba za vso Slovenijo

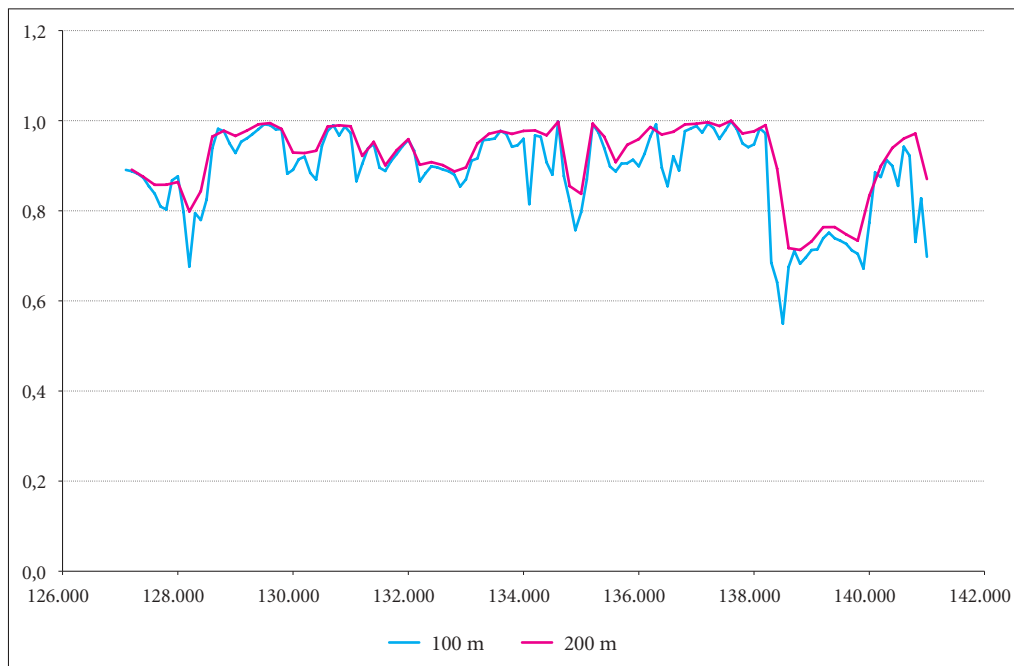
Prostorski kot odprtega neba je bil določen za vso Slovenijo na osnovi DMV-100. Vplivi rastja in antropogenih elementov niso bili upoštevani, ker ustrezni podatki niso bili na voljo. Zaradi rastrske zapisa podatkov je s kontekstualnimi analizami treba določiti povprečni višinski kot obzorja za vsako rastrsko celico posebej – v določenem številu smeri je treba poiskati najbolj oddaljeno, iz izbrane celice še vedno vidno točko znotraj »premikajočega se okna« izbrane oblike in velikosti. Algoritem preverja, ali je v izbrani smeri višinski kot proti naslednji celici večji od višinskega kota proti prejšnji celici. Kadar je to res, postane ta celica potencialno obzorje za izbrano začetno celico v izbrani smeri. Premiki natančno vzdolž izbrane smeri so na DMV nemogoči, zato so premiki izvedeni skozi tiste celice, ki so najbližje izbrani smeri. Teoretično bi morali ta postopek ponavljati do neskončne oddaljenosti v neskončnem številu smeri, v praksi pa sta bila največja oddaljenost in število smeri določena na podlagi testiranja.

Premikajoče se okno kontekstualne analize ima obliko kroga, zato lahko rečemo največji razdalji iskanja horizonta polmer iskanja. Za testiranje najprimernejšega polmera iskanja sta bili izbrani stojišči pri Vodících in Bohinju. Z večanjem polmera se prostorski kot odprtega neba pričakovano zmanjšuje. Stopnja zmanjševanja je odvisna od oblike reliefa. V bližnji okolici Vodíc je površje sorazmerno ravno, zato so pri manjših spremembah polmera spremembe prostorskega kota neopazne; prve večje vzpetine so od stojišča oddaljene nekaj kilometrov in šele takrat se prostorski kot odprtega neba znatneje spremeni. V Bohinju je površje bolj razgibano, zato so že pri manjših polmerih spremembe v prostorskem kotu odprtega neba bolj opazne. Pri zelo zaprtih območjih se na večjih razdaljah prostorski kot odprtega neba sploh ne spremeni, ker obzorje sestavljajo bližnje vzpetine, ki omejujejo prostorski kot odprtega neba. Testiranje je pokazalo, da bi v večini primerov zadostoval polmer iskanja 7 km, kljub temu je bila zaradi večje natančnosti izbrana razdalja 10 km. Na zelo razgibanem površju bi bil zadosten tudi mnogo krajši polmer iskanja obzorja. Omejen polmer daje dobre rezultate tudi v primeru uravnane reliefa, saj zaradi velikih razdalj visoke ovire vidimo pod majhnim višinskim kotom.

Preglednica 1: Testni izračun prostorskega kota odprtega neba na dveh stojiščih pri različnih polmerih iskanja obzorja.

dolžina v km	prostorski kot odprtega neba (Vodice)	prostorski kot odprtega neba (Bohinj)
3	0,999939	0,990761
5	0,999892	0,981887
7	0,999762	0,979291
10	0,999499	0,976942
15	0,999004	0,976686

Pri polmeru 10 km lahko poleg tega zanemarimo še vpliv ukrivljenosti Zemlje in refrakcije, kar poenostavi izračun. Na tej razdalji je njun skupni vpliv na višine 6,8 m, kar je še v razredu natančnosti DMV (Podobnikar in ostali 2005), tako da upoštevanje popravkov ne bi bistveno pripomoglo k natančnosti izračuna. Ker ne iščemo obzorja na neskončnih razdaljah, je prostorski kot odprtega neba sistematično zmanjšan, in ker ne upoštevamo ukrivljenosti Zemlje, je sistematično zvečan. To pomeni, da poenostavitvi izničujeta napake druga drugo.



Slika 9: Prerez (v smeri sever-jug) skozi sloja prostorskega kota odprtega neba ločljivosti 100 m (modra linija) in 200 m (rdeča linija) na območju Julijskih Alp.

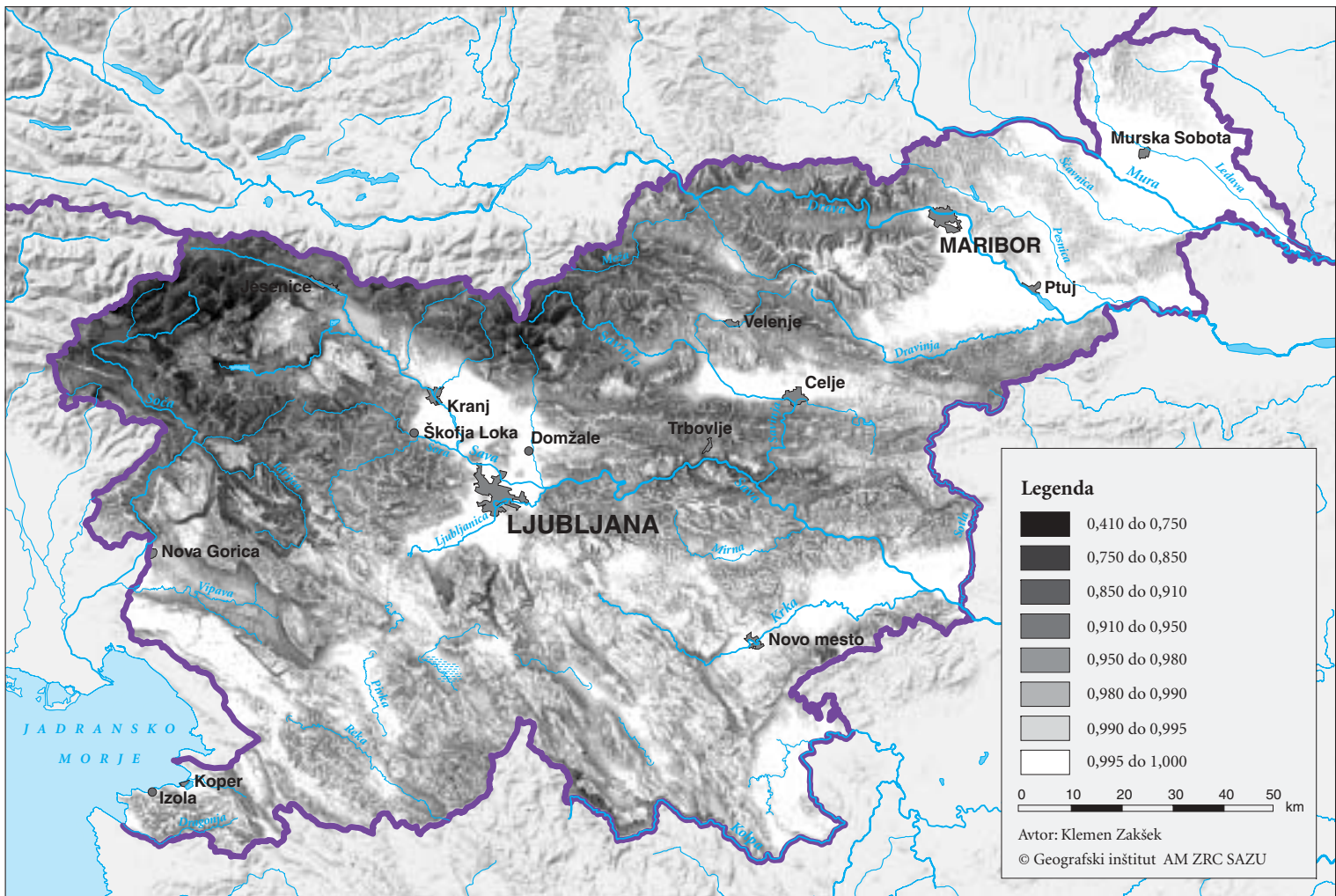
Določiti je treba tudi število smeri, v katerih iščemo obzorje. Da bi čim bolj izkoristili DMV, smeri spreminjamo za tak kot β , ki pri največjem polmeru iskanja obzorja pomeni eno širino celice DMV. Pri polmeru iskanja 10 km in ločljivosti DMV-100 m pomeni to 628 smeri. Zaradi dolgotrajnega izračuna je bilo testirano tudi iskanje v 360 smereh. Ker so bile razlike zanemarljive, so končni rezultati določeni v 360 smereh. To pomeni, da so v premikajočem se oknu glede na ločljivost in največjo razdaljo iskanja obzorja še vedno upoštevane skoraj vse celice, zato rezultati bolj mehko prehajajo iz ene skrajnosti v drugo kot pri poenostavljenih metodah izračuna.

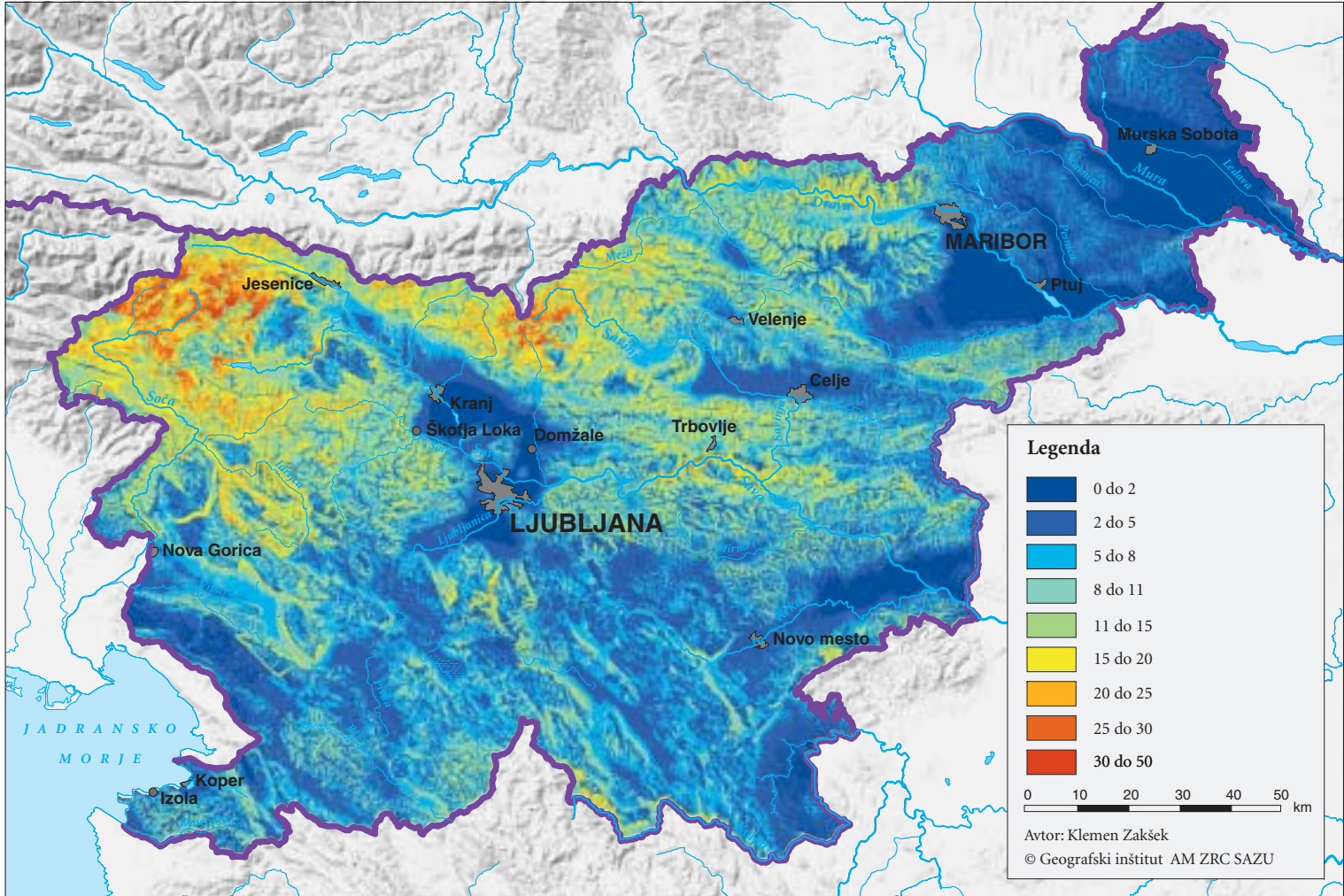
Za projekt Sončno obsevanje v Sloveniji (Kastelec in ostali 2005) je bil izračun prostorskega kota odprtega neba že narejen v ločljivosti 200 m, uporaba podrobnejšega DMV pa je pomenila 16-krat daljši čas izračuna – zmogljiv osebni računalnik (procesor AMD Athlon 64 2800+, 1 GB RAM, Windows XP Profesional) je bil polno obremenjen pet tednov. Slika 9 prikazuje prerez skozi oba sloja na 13 km dolgi črti v Julijskih Alpah, kjer se izkaže ločljivost 100 m za veliko bolj podrobno.

Za Slovenijo izračunan prostorski kot odprtega neba (slika 10) zavzema vrednosti med 0,4 in 1,0, njegova povprečna vrednost je 0,97 in standardni odklon 0,04. S slike 10 je razvidno, da so vrednosti prostorskega kota odprtega neba zelo spremenljive na območju Julijskih in Kamniško-Savinjskih Alp, izrazita so tudi zaprta območja, na primer na območjih Iškega Vintgarja in Posavskega hribovja. Za nekatere analize vidnosti je primernejša uporaba sloja, ki prikazuje povprečni višinski kot obzorja (slika 11). Ta zavzema na območju Slovenije kot med 0° in 50° , njegova srednja vrednost je $7,7^\circ$ in standardni odklon $5,9^\circ$.

Slika 10: Prostorski kot odprtega neba za Slovenijo. (► stran 105)

Slika 11: Povprečni višinski kot obzorja v stopinjah za Slovenijo. (► stran 106)





5 Sklep

Za konec naj navedemo še nekaj možnosti uporabe prostorskega kota odprtega neba. Gre za podatke, ki je nujen v nekaterih meteoroloških aplikacijah, saj je odvisnost med energijo in prostorskim kotom odprtega neba v številnih procesih energijske bilance premosorazmerna; na primer ob oblačnem vremenu ocenimo osončenost tako, da (difuzno) energijo, ki jo zabeleži piranometer na ravnem površju, pomnožimo s prostorskim kotom odprtega neba. V zadnjem času je bilo veliko truda vloženega v iskanje povezave med prostorskim kotom odprtega neba in toplotnimi otoki v mestih ali poledico na cestah. Vendar se v teh primerih prostorskega kota ne modelira, ampak izmeri iz fotografij, posnetih s širokokotnim objektivom, ki lahko posname celotno nebesno poloblo, zato so na fotografiji vidne vse ovire, ki omejujejo matematični horizont. Ob primerno kakovostnih podatkih o površju bi lahko prostorski kot odprtega neba določili tudi na način, opisan v članku.

Seveda je prostorski kot odprtega neba možno uporabiti tudi v druge namene. Ne glede na to, da je predstavljena analiza pravzaprav dopolnilo k običajni analizi vidnosti (običajno nas zanima velikost vidne površine in ne neba), lahko predvidevamo, da je v večini primerov vidna površina statistično povezana s prostorskim kotom odprtega neba. Zato lahko rezultate te analize uporabimo na primer pri iskanju primernih mest za odlagališča odpadkov ali za oddajnike radijskih signalov. Seveda lahko take analize izvajamo le na državni ali regionalni ravni. Za končno odločitev na lokalni ravni je vseeno treba narediti še nekaj klasičnih analiz vidnosti na podrobnejših podatkih o površju (vključno s podatki o vegetaciji).

Bolj kot sam izračun prostorskega kota odprtega neba so zanimivi rezultati, saj je bilo tudi drugje v svetu narejenih le malo podobno zahtevnih analiz v tako visoki ločljivosti in za tako veliko območje. V članku opisan postopek je bil uporabljen za izračun prostorskega kota vidnega neba za vso Slovenijo, katere površje smo predstavili le z DMV, za natančnejše rezultate bi morali upoštevati vsaj še podatke o rastju. Rezultati so odvisni od nastavitve kontekstualne analize – boljši so pri večjih premikajočih se oknih, vendar lahko dobimo še vedno zadovoljive rezultate, če delamo z manjšim številom smeri in manjšim polmerom iskanja obzorja. Poenostavljene metode, ki temeljijo na naklonu površja, so primerne le za podatke slabe ločljivosti na območju z neizrazitim reliefom.

6 Viri in literatura

- Blennow, K. 1998: Modelling minimum air temperature in partially and clear felled forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 91. Amsterdam.
- Bourbia, F., Awbi H. B. 2004: Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate, Part 1: Air and surface temperature measurements. *Renewable Energy* 29. Oxford.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A. 1991: *Solar engineering of thermal process*. New York.
- Kastelec, D., Rakovec, J., Jeromel, M., Glavač-Šah, R., Zakšek, K., Podobnikar, T. 2005: Sončno obsevanje v Sloveniji. Elaborat, Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana.
- Kaučič, B., Žalik, B. 2001: Izbira primerne metode računanja vidnosti na digitalnem modelu reliefa. *Geodetski vestnik*, 45-3. Ljubljana.
- Kim, Y. H., Rana, S., Wise, S. 2004: Exploring multiple viewshed analysis using terrain features and optimisation techniques. *Computers & Geosciences* 30. Oxford.
- Kvamme, K., Oštir, K., Stančič, Z., Šumrada, R. 1997: *Geografski informacijski sistemi*. Ljubljana.
- Lambers, K., Sauerbier, M. 2006: GIS-based visibility studies of the Nasca geoglyphs at Palpa, Peru. *International Workshop on Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage, proceedings*. Rotterdam.
- Marks, D., Dozier, J., Davis, R. E. 1979: A clear-sky longwave radiation model for remote alpine areas. *Archiv fur Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Series B*, 27. Dunaj.

- Maschner, H. D. G. 1996: *The Politics of Settlement Choice on the Northwest Coast: Cognition, GIS, and Coastal Landscapes*. Anthropology, Space, and Geographic Information Systems. New York. Medmrežje: http://en.wikipedia.org/wiki/Solid_angle (22. 8. 2006).
- Ogburn, D. 2001: *The Inca Occupation and Forced Resettlement in Saraguro, Ecuador*. Doktorat, University of California, Santa Barbara. Santa Barbara.
- Oštir, K., Stančič, Z., Podobnikar, T. 2000: *Pridobivanje in uporaba prostorskih podatkov visoke ločljivosti pri načrtovanju omrežja mobilne telefonije 1999–2000*. Ljubljana.
- Podobnikar, T., Zakšek, K., Oštir, K., Kokalj, Ž., Pisek, M. 2005: *Izdelava modela reliefa Slovenije*. Elaborat, Inštitut za antropološke in prostorske študije. Ljubljana.
- Robinson, D. 2006: *Urban morphology and indicators of radiation availability*. Solar Energy, v tisku. Amsterdam.
- Stančič, Z., Veljanovski, T. 1998: *Arheološki napovedovalni modeli in GIS*. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997–1998. Ljubljana.
- Tian, Y. Q., Davies-Colley, R. J., Gong, P., Thorrold., B. W. 2001: *Estimating solar radiation on slopes of arbitrary aspect*. Short communication. Agricultural and Forest Meteorology 109. Amsterdam.
- Vir prostorskih podatkov: © 2005 Geodetska uprava Republike Slovenije.
- Yard, M. D., Bennett, G. E., Mietz, S. N., Coggins, L. G. Jr., Stevens, L. E., Hueftle, S., Blinn, D. W. 2005: *Influence of topographic complexity on solar insolation estimates for the Colorado River, Grand Canyon*. Ecological Modelling 183. Amsterdam.
- Zavadlav, N. Oštir, K. 2004: *Percepcija slovenske planinske tranzverzale*. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003–2004. Ljubljana.

7 Summary: Using sky-view factor for visibility analysis

(translated by the author)

A visibility analysis is an important part of many GIS applications: it is used in urban planning, military, etc. but the most interesting visibility analyses have lately been preformed in archaeology. The visibility analysis has also been widely used in Slovenia for an archaeological predictive model, for an evaluation of the beauty of mountain peaks etc. The visibility analysis is defined as a spatial analysis which produces a binary layer of (in)visible surface that is usually presented with a DEM. This operation, usually called viewshed, can be preformed within most of the GIS software. However, its results are valid only for a single standing point, thus the analysis is unusable in some applications, which need an averaged visibility index written in a raster. Therefore, other tools and other methods have to be used in order to determine a visibility index, which can provide information about the distance to the object on the horizon, the size of the visible area, the elevation angle of the horizon etc. The new Slovenian DEM with a 100 m resolution was used for the computation of the sky-view factor, which is significant for solar radiation and temperature modelling, but it can be used in many other applications. The results were compared with results obtained by simplified analyses.

Visibility is influenced by many factors. Relief is the greatest limitation for visibility in Slovenia. There is also a lot of forest in our county, thus the density and the height of vegetation are important parameters. Anthropogenic parameters do not influence the visibility significantly because of the low buildings. Meteorological conditions are neglected because of their (un)predictability although the fog can significantly reduce the visibility. The common influence of the Earth curvature and the light refraction is usually lower as the accuracy of the input data so it can be neglected. One has to decide whether an active (which area is seen from a point) or a passive (from which area is the point visible) visibility analysis will be preformed. The difference can be neglected if only the relief influences the visibility – this was the case in the described study because there were no appropriate data about vegetation available, thus the surface was presented only with the DEM. Visibility can be expressed with a viewshed

from a single point, viewshed from more points or visibility index written in a raster. Since the computation of a visibility index in a raster requires a lot of time, it is important to use the optimal algorithm. Most algorithms are based on a fact that a point is visible from a chosen point if there is no intersection between the line connecting two points and the surface (surface is always below the line among the points). This condition has to be examined in many directions in order to check the visibility of the entire area.

Data about the size of the sky visible above the surface is especially relevant to natural process modelling. This data are important for example for cooling down – the areas with more open sky cool down faster. The size of the visible sky is also important for diffuse radiation – a plane receives much more diffuse radiation because it is coming from the sky and there is much more of the visible sky in the plane as in the valley. The most convenient measure for expressing the size of the visible sky is a solid angle. The solid angle Ω is proportional to the surface area, S , of a projection of that object onto a sphere centred at that point, divided by the square of the sphere's radius, R ($\Omega = k \cdot S : R^2$). The solid angle is also called sky-view factor when the proportionality constant k value equals $1 : 2\pi$. The sky-view factor, whose values are always between 0 and 1, is easily computed when the visible sky is limited with a cone surface ($\Omega = \cos^2 A$; A – angle between the cone and the horizontal plane). However, perfect geometrical bodies are rare in nature, thus the actual surface is approximated with a cone – the inclination of the cone is approximated with the average elevation angle of the horizon. Therefore, the elevation angle has to be determined in multiple directions and its mean value is then used for sky-view factor computation. The computation of the horizon in multiple directions is usually time consuming, thus simplified methods only use small vicinity and only two directions to compute the sky-view factor. These approaches are based on a slope analysis but the comparison with a sophisticated method has shown that the values can have an overestimated and slopes an underestimated sky-view factor. This means that simplified methods can be used only for low resolution data in an area with mild geomorphology.

The sky-view factor was computed for the whole Slovenia. Only the DEM was used as input data. The horizon was determined for every cell with contextual analysis – the most distant but still visible cell was determined in a limited number of directions within a moving window. The size and the shape of the moving window have a significant influence on results, thus the optimal size of the moving window and the number of directions were determined experimentally. Two areas were chosen for testing: one in a large plane below the mountains and one within the mountain area. It was found that with the rough geomorphology even small moving window sizes can be successfully used. It was determined that the optimal radius of the moving window equals 10 km. The Earth curvature and the refraction can be neglected at this size of the moving window, because their influence is approximately the same as the DEM accuracy. The horizon was computed in 360 directions, because this number enables most of the cells within the moving window to influence the result. The results were also compared with the previously computed sky-view factor in the resolution of 200 m. The new results show more detail but their computation was much longer – approximately five weeks on a relatively strong PC. The mean sky-view factor value in Slovenia equals 0.97 (minimum 0.4, standard deviation 0.04). It varies significantly in Alpine region and there are also some »closed« areas in the other parts of Slovenia. The average elevation angle of the horizon was also determined (mean value of 7.7°, standard deviation of 5.9° and maximum of 50°).

To conclude, the sky-view factor can be used in meteorology because the energy balance is in many cases linearly correlated with it. There were a lot of studies performed lately, searching for a correlation between the sky-view factor and a heat island in a city or frost and roads. The sky-view factor is actually a complement to the usual result of the visibility analysis – one is usually interested in the visible area of the Earth surface and not in the sky, but it can be assumed that the sky-view factor is also correlated with the area of the visible surface. Then it can also be used in many other applications on a state or a regional level. The described results are also interesting because there were only a few attempts to model visibility with such a complex contextual analysis over such a large area so far.