

# Senčenje reliefa za večstransko uporabo

Tomaž Podobnikar

Oblikovitost zemeljskega površja lahko nazorno ponazorimo s skico, načrtom ali fotografijo, kar je povečini učinkoviteje od opisa z besedilom. V kartografiji pogosto uporabljamo geometrične metode z izohipsami, ki povezujejo iste nadmorske višine, ter metode senčenja reliefa. Lahko pa relief prikazemo v smislu trirazsežnostne kartografije, statično ali dinamično.

## Senčenje reliefa pri uporabi digitalnega modela reliefa

Analitično senčenje reliefa temelji na računalniško podprtih postopkih za vizualizacijo na podlagi digitalnega modela reliefa (DMR), v splošnem pa na podlagi kake druge poljubne površine, zapisane v digitalno obliko. Metode analitičnega senčenja slonijo na lokalnih ali globalnih osvetlitvenih modelih, največkrat v smislu razpršenega ali zrcalnega odboja svetlobe. Najbolj znane metode so razvili Brassel (1974), Phong (1975) in Horn (1981). Poznana je švicarska šola senčenja s standardnimi topografskimi pravili za predstavitev senčenega reliefa (na primer Imhof, 1982). Te metode veljajo za klasične in vsaj eno izmed njih najdemo v vsaki programski opremi za prikaz digitalnega modela reliefa. Korenine analitičnega senčenja je mogoče najti v ročnih kartografskih tehnikah senčenja reliefa z začetki izpred približno 350 let, katerih navdih so bile slikarske tehnike senčenja. Ročno senčenje, ki plastično prikazuje dejanski relief, lahko še danes občudujemo na le nekaj desetletij starih topografskih kartah.

Razvoj izboljšave metod analitičnega senčenja v zadnjem desetletju hitro napreduje predvsem z izboljšanjem kakovosti in s tem uporabnosti digitalnega modela reliefa. Znanstveniki so tako predlagali vrsto

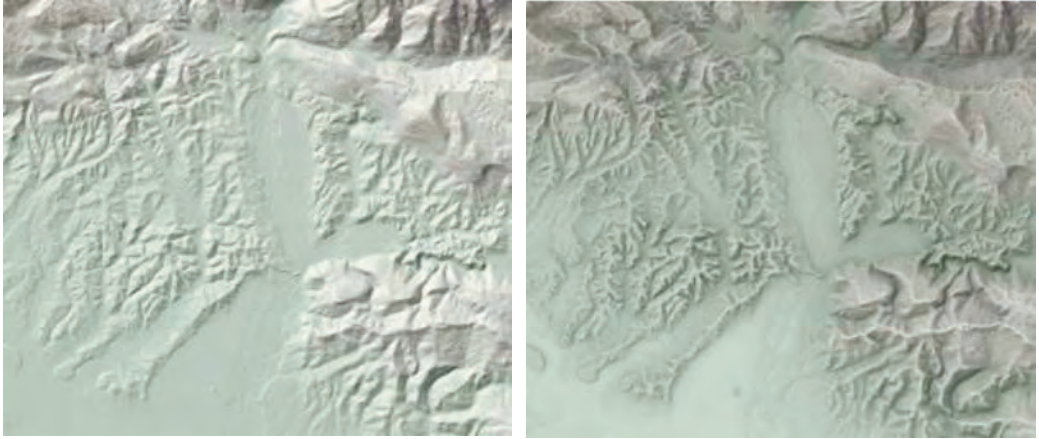
pristopov (na primer Patterson, 2004), ki upoštevajo različne tipe izvorov svetlobe, odbojnost različnih materialov, posnemanje naravnega videza reliefa, prilagajanje značilnostim reliefa ali izvedbo slikarskih tehnik.

## Napredne tehnike senčenja: indeks večsmerne vidnosti

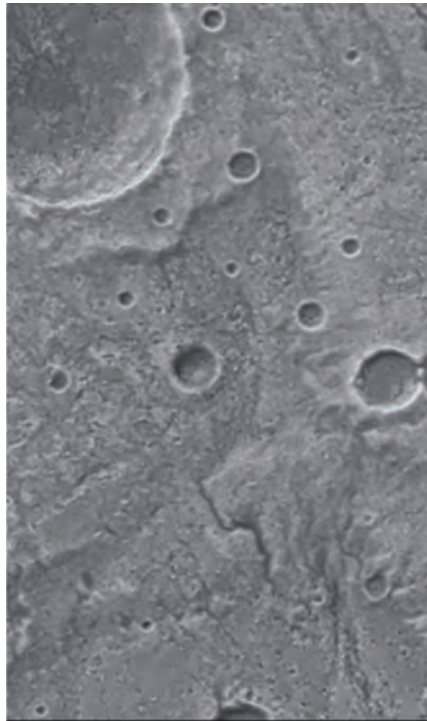
Pri razvoju naprednih metod za izboljšavo analitičnega senčenja reliefa smo si zadali naslednje cilje (Podobnikar, 2012a): upoštevanje topografskih načel in načel estetike v kartografiji, čim večja robustnost izdelave senčenja, prilagodljivost in univerzalnost prikaza ter ne nazadnje sorazmerna preprostost metod. Najprej smo poskusno razvili vrsto metod, ki so parcialno reševale posamezne probleme senčenja. Končni cilj je bila ena sama generična metoda. Razvili smo metodo analitičnega senčenja, *indeks večsmerne vidnosti*, ki deluje po naslednjih načelih: ravninska območja so prikazana v svetlejšem odtenku kot okolica, geomorfološki robovi so poudarjeni po zgledu oguljenih robov kavbojk, različne ravni podrobnosti senčenja so prikazane hkrati. Zadnje načelo omogoča, da lahko na zemljevidu manjšega merila od blizu prepoznavamo geomorfološke podrobnosti, od daleč pa predvsem še skelet reliefa – podobno kot če hkrati opazujemo celotni gozd in posamezna drevesa. Dodatna prednost metode pa je povečana ostrina podrobnosti.

## Kje vse lahko uporabimo indeks večsmerne vidnosti

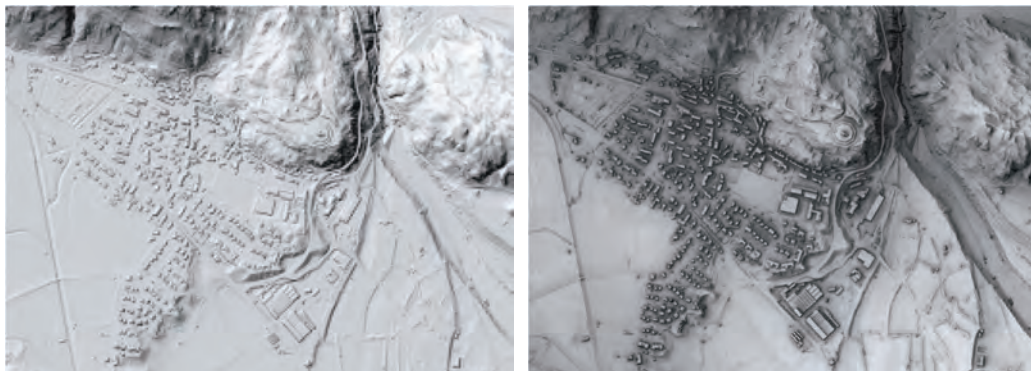
Analitično senčni relief uporabljamo kot podlago za izdelavo topografskih kart, še večkrat pa kot podlago za različne tematske karte, kot so na primer sodobne aplikacije Google Zemlja ali Geopedija za Slovenijo.



Primerjava klasičnega analitičnega senčenja, ki temelji na lokalnem modelu razpršenega odboja svetlobe (levo), pri osvetlitvi s severozahoda, ter modela z indeksom večsmerne vidnosti. Relief je obarvan s hipsometrično barvno lestvico, torej glede na nadmorsko višino. Uporabljen je razmeroma grob digitalni model reliefa (DMR) Geodetske uprave RS s prostorsko ločljivostjo 25 metrov, izdelan po lastni metodi avtorja tega članka. Stopnjo svetlosti geomorfološko poudarjenih območij je možno poljubno spreminjati. Prikazano je območje Kamnika. Obdelava: Tomaž Podobnikar.



Primerjava klasičnega analitičnega senčenja (levo) ter senčenja z indeksom večsmerne vidnosti. Uporabljen je digitalni model reliefa DMR HRSC projekta Evropske vesoljske agencije (ESA) Mars Express s prostorsko ločljivostjo 50 metrov. Prikazano je območje višavja Thaumasia. Na modelu z indeksom večsmerne vidnosti je zaznati precej več geomorfoloških detajlov kot na klasično senčenem reliefu. Obdelava: Tomaž Podobnikar. Vir podatkov: ESA.



*Primerjava klasičnega analitičnega senčenja (levo) ter senčenja z indeksom večsmerne vidnosti. Uporabljen je zelo natančen lidarski (LIDAR: Light Detection And Ranging) digitalni model površja (DMP, skupaj s stavbami) z ločljivostjo enega metra. Prikazano je območje Kobarida. Na modelu z indeksom večsmerne vidnosti je zaznati več podrobnosti kot na klasičnem modelu, poleg tega pa so boljše poudarjeni tudi grobi obrisi prikaza. Obdelava: Tomaž Podobnikar. Vir podatkov Fundacije Poti miru v Posočju je filtriran z algoritmom REIN, Kobler s sod., 2007. Parametri filtriranja so bili nastavljeni za odstranitev vegetacijskega pokrova, Kokalj s sod., 2011.*

Zavedati se moramo, da ima v praksi vsaka metoda senčenja nekatere dobre in nekatere slabe lastnosti, zato je posebej zanimiv pristop, ki smiselno kombinira najboljše lastnosti več metod (Podobnikar, 2005; Podobnikar in Vrečko, 2012). V tem delu prispevka se osredotočimo na eno že omenjeno novejšo metodo.

Uporabnost razvite metode indeksa večsmerne vidnosti bistveno presega uporabo za analitično senčenje. Gre pravzaprav za multiplikativno metodo. Posamezne značilnosti reliefa lahko poudarimo ali razvrstimo za izdelavo že omenjenih tematskih kart. Tak primer je geomorfografska karta oziroma karta geomorfoloških oblik - ta omogoča prikaz značilnosti reliefa, ki jih pogosto ne moremo zaznati s satelitskimi ali aerofotografijami in tudi ne pri terenskem delu. Tovrstne karte lahko nadgradimo z metodami geovizualizacije ali celo vizualne analitike v smislu transformacije podatkov za interaktivno vizualno prepoznavanje določenih oblik reliefa, kakršne so nazadnje tudi napake digitalnega modela reliefa (Podobnikar, 2009). V tem smislu smo zasnovali niz metod za upravljanje kakovosti pri izdelavi aktualnega *Slovenskega nacionalnega digital-*

*nega modela reliefa s prostorsko ločljivostjo 12,5 25 in 100 m* (Podobnikar, 2005). Vizualna analitika se je pokazala kot dopolnilna metoda terenskemu delu pri študiju značilnosti naravnega zemeljskega površja ter še posebej antropogenega (grajenega) površja, ki ga je v bližnji ali daljni preteklosti oblikoval človek. Metoda indeksa večsmerne vidnosti je bila v našem primeru nepogrešljiva za izboljšavo in analizo digitalnega modela reliefa planeta Marsa, kamor se človek - za sedaj - še ni odpravil na terenske raziskave (Podobnikar in Székely, 2012).

### **Uporaba senčenega reliefa v geomorfometriji in fotografiji**

Metoda indeksa večsmerne vidnosti omogoča tudi generiranje ploskev navideznih naklonov reliefa in relativnega reliefa, ki sta se pokazali uporabni za prostorske analize na različnih področjih. Obe vrsti ploskev smo uporabili pri odkrivanju in klasifikaciji značilnih geomorfoloških oblik fizičnega reliefa, kot so tipi gorskih vrhov, ter za generelizacijo (poenostavljanje) digitalnega modela reliefa.

Nadalje smo za navedeni vrsti ploskev razvili metode za iskanje krožnih oblik, kakr-

šne so stožčasti vrhovi ali kraške vrtače ter vulkanski ali meteoritski kraterji. Pri tem gre za geometrično aplikacijo odkrivanja in merjenja krožnih oblik. Analizirali smo meteoritske kraterje na delu planeta Marsa, pri čemer smo generirali »virtualne kolobarje«, ki omogočajo hkratno vizualno prepoznavanje ter izmero premera in globine kraterjev. Še bolj zanimivo je bilo iskanje stožčastih gorskih vrhov v Sloveniji, pri čemer smo prepoznali vrhove, kakršen je Storžič (Podobnikar, 2012b).

Povsod po svetu najdemo kar nekaj skorajda popolnih krožnih oblik naravnega reliefa. Še posebej zanimive so obročaste oblike, ki so po obliki podobne oblikam meteoritskih kraterjev. Tudi v Sloveniji jih je mogoče zaslediti. Eno od obročastih oblik smo prepoznali samodejno ter vizualno (s prostim očesom), oboje z indeksom večsmerne vidnosti. Uporabili smo digitalni model reliefa Slovenije s prostorsko ločljivostjo 25 metrov. Na severovzhodnem odseku zaznanega popolnega »obroč« s premerom 715 metrov je vas Tunjice pri Kamniku, nekoliko južneje od strukture pa naravni zdravilni gaj. Amfiteatralnost te krožne strukture lahko občudujete kar iz samih Tunjic ali Sv. Ane. Za kakšno geomorfološko obliko dejansko

gre, bo treba še podrobneje raziskati.

Indeks večsmerne vidnosti je možno uporabiti celo kot tehniko obdelave fotografij. Gre za simulacijo na podlagi predlagane metode. Tehnika je uporabna za bolj plastični prikaz s poudarjenimi značilnostmi za izboljšavo ostrine fotografije ter navsezadnje za klasifikacijo posnetkov pri daljinskem zaznavanju. Zanimivost metode je, da so pri razgibanih kompozicijah nekatere posameznosti izostrene in druge zmeščane (generalizirane).

Skupek opisanih pristopov omogoča izdelavo semantičnega ali celo »pametnega« digitalnega modela reliefa, ki vsebuje poleg nadmorskih višin tudi podatke o značilnih oblikah reliefa, o kakovosti podatkov, o primernosti za interpolacijo ali generalizacijo ter nazadnje tudi vse potrebne informacije za izdelavo digitalnega modela reliefa po meri uporabnika. Pri tem procesu izdelave gre za multidisciplinarni pristop, ki se dotika področij geodezije, geografije, geologije, kognitivne psihologije, prostorske informatike, trirazsežnostne računalniške grafike, obdelave (fotografskih) posnetkov in podobno. Bolj ali manj univerzalni ter geomorfološko in metrično natančni digitalni model reliefa je tako pomemben za simulacijo poplav rek ali morja ali pa na primer pri samodejni izdelavi topografske karte.



Slovarček

*Obročasta oblika Tunjice, zaznavna s prostim očesom pri uporabi modela reliefa, senčenega z indeksom večsmerne vidnosti.*

*Obdelava: Tomaž Podobnikar.*

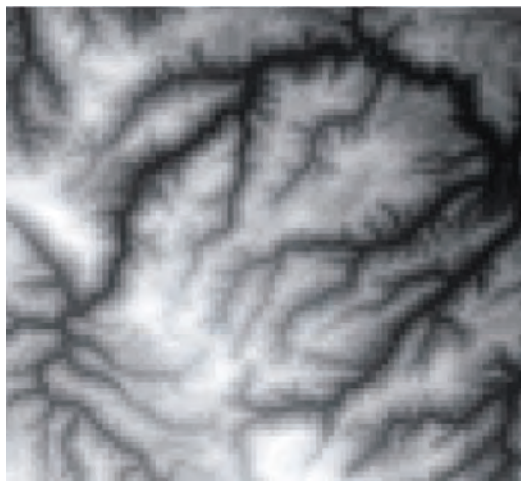




Primerjava prvotne fotografije (levo) in njene izboljšave z indeksom večsmerne vidnosti. Fotografija je bila napravljena z amaterskim žepnim fotoaparatom. Foto in obdelava: Tomaž Podobnikar.

### Digitalni model reliefa

Zemeljsko površje lahko po eni strani nazorno ponazorimo s fotografijo, skico, načrtom, po drugi strani pa z besedilom. Oba pristopa – grafično ponazoritev in opis – lahko združimo v učinkovit geografski informacijski sistem (GIS), v katerem na primer informacije o zemeljskem površju »preberemo« kar iz geokodiranih fotografij. Digitalni model reliefa (DMR) razumemo kot digitalni geokodiran zapis oblikovanosti zemeljskega površja. Nepretrgana in pogosto gladka ploskev vključuje nadmorske višine. Nadmorske višine digitalnega modela reliefa so lahko kot druge informacije GIS zapisane v mrežo pravilnih kvadratastih celic, ki pogojujejo prostorsko ločljivost, podobno kot zapis digitalnih fotografij. Površje pogosto prikazujemo manj natančno določeno, in sicer kar skupaj z ovojnico vegetacije, na primer gozda in travnika, ali pa ovojnico grajenega okolja, na primer stavb v mestu ali pa mostov. Tak model imenujemo digitalni model površja (DMP).



Vizualizacija nadmorskih višin digitalnega modela reliefa, zapisanih v mrežo kvadratastih celic, pri čemer svetlejši odtenek pomeni večjo višino.

Obdelava: Tomaž Podobnikar.

**Analično senčenje reliefa.** Tehnika vizualizacije, ki simulira naravno osvetlitev reliefa/površja ter s tem plastično ponazarja površje v trirazsežnostnem prostoru.

**Digitalni model površja (DMP).** Model, soroden digitalnemu modelu reliefa (DMR), le da vsebuje površje, kot ga zaznamo iz zraka, gledano navpično navzdol: poleg topografskega reliefa vsebuje tudi ovojnice streh stavb, zidov, viaduktov,

vegetacijskega pokrova in podobno.

**Digitalni model reliefa (DMR).** Digitalni zapis oblikovitosti zemeljskega površja (fizičnega reliefa).

**Geografski informacijski sistem (GIS).** Sistem za zajemanje, shranjevanje, vzdrževanje, obdelavo, analize, porazdeljevanje

in vizualizacijo geoprostorskih podatkov.

**Geomorfologija.** Veda, ki preučuje reliefne oblike ter vzroke in procese nastanka teh oblik.

**Geomorfometrija.** Znanost, ki razvija tehnike za kvantitativno analizo reliefnih oblik.

**Indeks večsmerne vidnosti.** Napredna generična metoda analitičnega senčenja reliefa, ki izpolnjuje osnovna topografska načela v kartografiji, poleg tega je uporabna za generalizacijo digitalnega modela reliefa (DMR), klasifikacijo geomorfoloških oblik in odkrivanja značilnosti ter za izboljšavo fotografij.

**Kartografija.** Znanost ter estetika in tehnika o izdelavi kart/zemljevidov ter o vizualizaciji površja, pojavov in podatkov o površju nebesnih teles.

**Lidar (LiDAR, Light Detection And Ranging).** Tehnologija za aktivno optično merjenje razdalj, s katero praviloma izdelamo oblak točk ter analiziramo lastnosti odbite svetlobe. Lidar je primeren za izdelavo visokoločljivostnih digitalnih modelov reliefa (DMR) / digitalnih modelov površja (DMP).

**Meteoritski krater.** Udarni krater, ki je navadno krožna depresija značilne oblike na površju, ki nastane ob trku meteorita.

**Oblikovitost reliefa/zemeljskega površja/morskega dna, oblike reliefa, reliefne oblike.** Ravnina, gričevje hribovje, gorovje, vrh, greben, dolina in podobno.

**Vizualna analitika.** Znanost analitičnega sklepanja, ki uporablja vizualne interaktivne vmesnike. Vizualno analitiko lahko uporabljamo za vizualno prepoznavanje oblik reliefa.

#### Literatura:

Brassel, K., 1974: *A Model for Automatic Hill-Shading. The American Cartographer*, 1 (1): 15–27.

Horn, B. K. P., 1981: *Hill Shading and the Reflectance Map. Proceedings of the IEEE*, 69 (1): 14–47.

Imhof, E., 1982: *Cartographic Relief Presentation*. Berlin: Walter de Gruyter.

Patterson, T., 2004: *Shaded Relief: Ideas and Techniques about Relief Presentation on Maps*, <http://www.shadedrelief.com>.

Phong, B. T., 1975: *Illumination for Computer Generated Pictures. Communications of the ACM*, 18 (6), 311–317.

Podobnikar, T., 2005: *Production of integrated digital terrain model from multiple datasets of different quality. International Journal of Geographical Information Science*, 19/1: 69–89.

Podobnikar, T., 2009: *Methods for visual quality assessment of a digital terrain model. S.A.P.I.E.N.S.*, 2 (2): 15–24.

Podobnikar, T., 2012a: *Multidirectional Visibility Index for Analytical Shading Enhancement. The Cartographic Journal*, 49 (3): 195–207 (13).

Podobnikar, T., 2012b: *Detecting Mountain Peaks and Delineating Their Shapes Using Digital Elevation Models, Remote Sensing and Geographic Information Systems Using Automatic Methodological Procedures. Remote Sens*, 4:

784–809.

Podobnikar, T., Székely, B., 2012: *Geomorfometrične analize Marsa pri uporabi DMR-ja. 17. strokovno srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko. Zbornik predavanj. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo*, 19–29.

Podobnikar, T., Vrečko, A., 2012: *Digital Elevation Model from the Best Results of Different Filtering of a Lidar Point Cloud. Transactions in GIS*, 16 (5): 603–617.

Tomaž Podobnikar udejanja ideje na področju prostorske informatike, pri čemer ga zanima predvsem modeliranje v



geografskih informacijskih sistemih (GIS). Razvija metode za upravljanje s kakovostjo, za analizo digitalnih modelov reliefa (DMR) ter za pridobivanje koristnih informacij iz kulturnega in fizičnega okolja preteklosti in sedanjosti. Z lastnim pristopom geometrične in semantične integracije več kot 25 različnih podatkov z različno kakovostjo je izdelal nacionalni digitalni model reliefa (DMR) Slovenije (12,5, 25 in 100 metrov). Napravil vrsto tematskih zemljevidov, ki med drugim vključujejo njegove napredne metode prikaza reliefa. Deluje kot član uredniških odborov revij Geodetski vestnik in ISPRS - Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Ljubiteljsko se ukvarja z jadralstvom, potapljaštvom, kolesarstvom, fotografijo in izvajanjem glasbe iz pojoče žage.