DOLOČITEV ZNAČILNIH GORSKIH VRHOV IN ANALIZA NJIHOVIH OBLIK

DETERMINATION AND SHAPE ANALYSIS OF THE CHARACTERISTIC MOUNTAIN PEAKS

Tomaž Podobnikar

UDK: 004:528.93:551.4

POVZETEK

Namen prispevka je opis razvoja samodejnih metod za določitev in analizo oblik značilnih vrhov kot vrhnjega dela vzpetin. Določitev lokalnih vrhov s podatki digitalnega modela reliefa (DMR) po metodologiji lokalnega okna velikosti 3 krat 3 celice omogoča praktično vsaka programska oprema za analizo prostorskih podatkov. Precej večji problem predstavlja definiranje značilnejših vrhov, ki jih gorniki subjektivno določajo po topografskih, geomorfoloških in gorniških kriterijih. Topografski in geomorfološki kriteriji so bili upoštevani s samodejnimi algoritmi. Izračunane so bile točke in potencialne ploskve vrhov ter iz slednjih identificirane oblike vrhov kot oster, kopast, podolgovat in stožčast. Število in položaji vrhov, določenih po samodejnih metodah, se ne razlikujejo bolj od referenčnih podatkov, kot se razlikujejo različne subjektivne ocene med seboj. Prednosti samodejnega pristopa so, da so parametri standardizirani, rezultati so laže preverljivi, objektivni in zato tudi kakovostnejši. Študijsko območje so Kamniške in Savinjske Alpe ter podatki DMR Slovenije z ločljivostjo 12,5, 25 in 100 m.

KLJUČNE BESEDE

vrh, topografija, geomorfologija, DMR, prostorske analize

Klasifikacija prispevka po COBISS-u: 1.01

ABSTRACT

The purpose of this paper is a description of development of the automated methods for determination and analysis of peaks and shapes as the upper part of the rising ground. The determination of local peaks by means of the digital terrain model (DTM) on the basis of a moving window of 3 by 3 grid cell analysis is facilitated by almost each software for raster-based data analysis. The definition of characteristic peaks, which are subjectively determined by mountaineers according to topographical, geomorphological and mountaineering criteria, is a more important problem. The topographical and geomorphological criteria were handled with automated algorithms. The points and potential surfaces of the peaks were calculated. From the potential surfaces the shapes of sharp, blunt, oblong and conical peaks were identified. The number and locations of the peaks determined by automatic methods do not differ against the reference data more than the various subjective human-based methods differentiate among each other. The advantages of the automated approach are that the parameters are standardised and the results more comparative, more objective, and therefore of higher quality. The study area was the Kamnik Alps and the data of the DTM of Slovenia with a resolution of 12.5, 25 and 100 m, respectively.

KEY WORDS

peak/summit, topography, geomorphology, DTM, spatial analysis

1 UVOD

Za pojem »vrh« v geografskem pomenu najdemo več interpretacij in je v semantičnem smislu subjektivne narave. Vrhove z različno oddaljenostjo gledišč in z različnih zornih kotov različno vidimo, identificiramo in si jih predstavljamo. Od daleč lahko vidimo le nekaj izrazitejših, od blizu zaznamo vrh tudi na vsaki najmanjši vzpetini. Dejansko je popolnoma drugače definirati vrh npr. v Alpah, na Pohorju, v Panonski nižini ali v Himalaji. Pomembna je namreč sama oblika in okolica vrha (vršina; Badjura, 1953), torej celotna pojavnost vzpetine. Pogled na gore in vrhove iz različnih dolin (perspektiv) dodatno povzroča različno interpretacijo njihove pojavnosti, pri čemer se zaznavanje spreminja celo glede na vreme, podnebje, rastje in druge okoljske pogoje bivanja.

Geografsko lahko vrh definiramo z različnimi merami glede na okoliško obliko in lastnosti površja. Ozadje problema definicije vrhov tiči v nedorečenih standardih. Najprej razširimo pojem vrhov na gore. Po Gei (2002) so najpomembnejši kriteriji za določitev gore višinski vegetacijski pasovi. Po UNEP-u (2007) je gora definirana kot povezava med primernimi višinami, nakloni ter relativnimi višinskimi razlikami. Razmerja med elementi so izkustveno določena. Preidimo na vrhove – v SSKJ (1971–1991) je vrh definiran kot »vsaka od vzpetin, v katere se gorovje v višjem delu razcepi«, ali kot »zgornji, navadno del gore, vzpetine« ali pa kot »najvišja točka ali del gore, vzpetine«. Po UIAA (2007) je vrh definiran kot točka, ki je za določeno vrednost dvignjena nad okolico. Pri tem mora biti posamezen vrh z določeno stopnjo samostojen in neodvisen. Za določitev vrhov, natančneje štiritisočakov, so se po mednarodnih standardih alpinistov izoblikovala pravila po naslednjih kriterijih (UIAA, 1994 in 2007):

- topografski
- geomorfološki
- gorniški

Za upoštevanje *topografskih* kriterijev uporabljamo geometrične analize za določitev točk vrhov. Po njih mora biti relativna višina med vrhom in okolico (najbližjim izrazitejšim sedlom/prevalom/prelazom) vsaj 30 m (UIAA, 1994). Dodatni kriterij je minimalna vodoravna razdalja med vrhovi. Večje kot so posamezne vrednosti mer, razsežnejši in značilnejši je vrh. *Geomorfološki* kriteriji se nanašajo na pojavo vrhnjega dela vzpetin. Ti upoštevajo obliko vrha kot nekoliko širšega območja, na katerem lahko določimo stranske vrhove, rame, pomole, upoštevamo geološke značilnosti ipd. *Gorniški* kriteriji se nanašajo na vse druge, precej subjektivne vidike ocenjevanja vrhov. Pri tem obsegajo pomembnost vrhov z vidika ogledov terena, kakršna je tudi zaznava hribolazcev. Upoštevajo tudi kakovost dostopnosti, pogostost dostopa, zgodovinsko pomembnost, pomembnost za turiste in druge človeške kriterije. Za določitev vrhov lahko poljubno kombiniramo vse tri kriterije, kar dodatno zmanjšuje možnost standardiziranosti postopka. Problemov, ki se porajajo zaradi nedorečenih definicij, je veliko (SD, 2001; Kern in Cuderman, 2001). Težaven primer je, da vrh lahko vsebuje v širšem smislu dva ali več enakovrednih vrhov, ki so si hkrati zelo blizu.

Izkustveni ali analogni pristopi določitve vrhov temeljijo predvsem na tradiciji, izkušnjah in vizualnih ocenah, torej na subjektivnosti pri zaznavanju naravnih pojavov, predvsem v bližini vzpetin živečih

in gornikov. Slednji poznajo vrhove in druge značilnosti gorá najbolje in »od blizu«. Pred okoli petdesetimi leti so raziskovalci poskušali predvsem opisno standardizirati vrhove gorá. Tako so jih v Sloveniji pogosto zanimali dvatisočaki, v celotnih Alpah štiritisočaki, v Himalaji osemtisočaki ipd. Kako je pojem vrh težko standardizirati (kljub omenjenim topografskim, geomorfološkim in gorniškim kriterijem), kaže podatek o številu dvatisočakov v Sloveniji, ki je po različnih kriterijih in podatkih od 60. let prejšnjega stoletja dalje in pri uporabi različnih pripomočkov, med katerimi so tudi topografske karte, ocenjen med 179 in 349 (Kern in Cuderman, 2001; SD, 2001). Alpskih štiritisočakov je uradno 128, po bolj strogih kriterijih pa naj bi jih bilo le 82 (UIAA, 1994 in 2007). Podobno je tudi s himalajskimi osemtisočaki, ki jih je uradno 14, po nekaterih kriterijih pa celo do 21 (C4, 1990–2007; Peakware, 2002–2006). Analogno usmerjen pristop določitve pojma vrh je predvsem zaradi zahtevnosti aplikacij samodejnih numeričnih rešitev iskanja še vedno aktualen.

Numerični ali računalniški pristopi interpretacije pojma vrh temeljijo največkrat na določitvi lokalnih oblik reliefa, ki jih definiramo kot točke vrhov (podobno tudi točke vrtač ali sedel). Vrhove se izračuna kot lokalne maksimume pri uporabi rastrskega oz. matričnega zapisa višin reliefa ali digitalnega modela reliefa (DMR; Podobnikar, 2002). Navedene postopke za določitev lokalnih vrhov vsebujejo programi za analizo prostorskih podatkov, kot del zapletenejšega sistema – geografskih informacijskih sistemov (GIS), pa tudi sicer je izračun relativno enostaven. V tem smislu je različne tovrstne algoritme analiziral Krevs (1992) na izbranih območjih Slovenije. Težje je najti aplikacije, ki zaznavajo vrhove v širšem pomenu, kljub temu da poznamo veliko število potencialnih metod, ki bi lahko pomagale pri določitvi vrhov. Omenimo naj pristopa iskanja vrhov na podlagi lokalnih histogramov (Székely, 2003) in določanje depresij (vrtač) s simulacijo padavin, pri čemer v našem primeru izračunane depresije zamenjamo z vrhovi. Za razlikovanje od lokalnih vrhov uporabljamo za bolj zapletene numerično opredeljene vrhove izraz »(običajni) vrhovi«. Poleg definiranja in iskanja točk vrhov, ob katerih opredelimo okolico v določeni oddaljenosti od njih, analiziramo tudi vrhnje dele vzpetin kot 2,5-razsežne ploskve. Ne glede na uporabljene metode in rezultate (točke vrhov ali ploskve vrhnjih delov vzpetin), obravnavamo vrhove kot območja vrhnjih delov vzpetin. Pri tem nas zanima tudi njihova oblika.

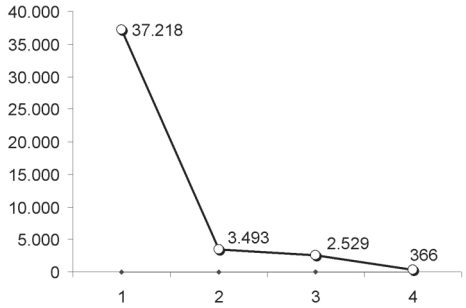
Različne metode numerično usmerjenega pristopa določanja vrhov, ki temeljijo na metodologiji analognega pristopa, so lahko odlično izhodišče za kakovostno in objektivno določitev vrhov. V sestavku se poskušamo držati osnovnih standardov na tem področju (glej UIAA, 1994 in 2007) in hkrati predlagati lastne rešitve. Pri tem pretvorimo topografske in nekatere geomorfološke kriterije v numerično obliko, medtem ko uporabljamo gorniške le za interpretacijo numeričnih rezultatov. Za izračun vrhov se naslanjamo na DMR Slovenije ločljivosti 12,5, 25 in 100 m (GU, 2005). Različna ločljivost DMR omogoča določanje različno pomembnih in značilnih vrhov, pri čemer moramo dobro poznati kakovost uporabljenega DMR. Za študijsko območje smo izbrali del Slovenije velikosti 50 x 40 km – Kamniške in Savinjske Alpe. Kot kontrolne podatke smo uporabili kote in rečno mrežo kot del DTK 25, REZI 25 (GU, 2005) ter spiska dvatisočakov (SD, 2001; Kern in Cuderman, 2001).

2 DOLOČITEV VRHOV PO TOPOGRAFSKIH KRITERIJIH

Za izpolnitev osnovnih topografskih kriterijev določitve (običajnih) vrhov predlagamo naslednji postopek:

1) izračun lokalnih vrhov (V) iz DMR-ja pri uporabi lokalnega okna 3 krat 3 celice
2) izbor vrhov, ki niso v ravninah (pri čemer so neizraziti vrhovi v ravninah označeni z VR) s klasifikacijo DMR-ja (Podobnikar, 2005) (VR <> ravnina)
3) izbor glede na najmanjšo vodoravno razdaljo med vrhovi (dL > 150 do 200 m)
4) izbor glede na relativno višino vrhov (dV > 25 do 30 m)

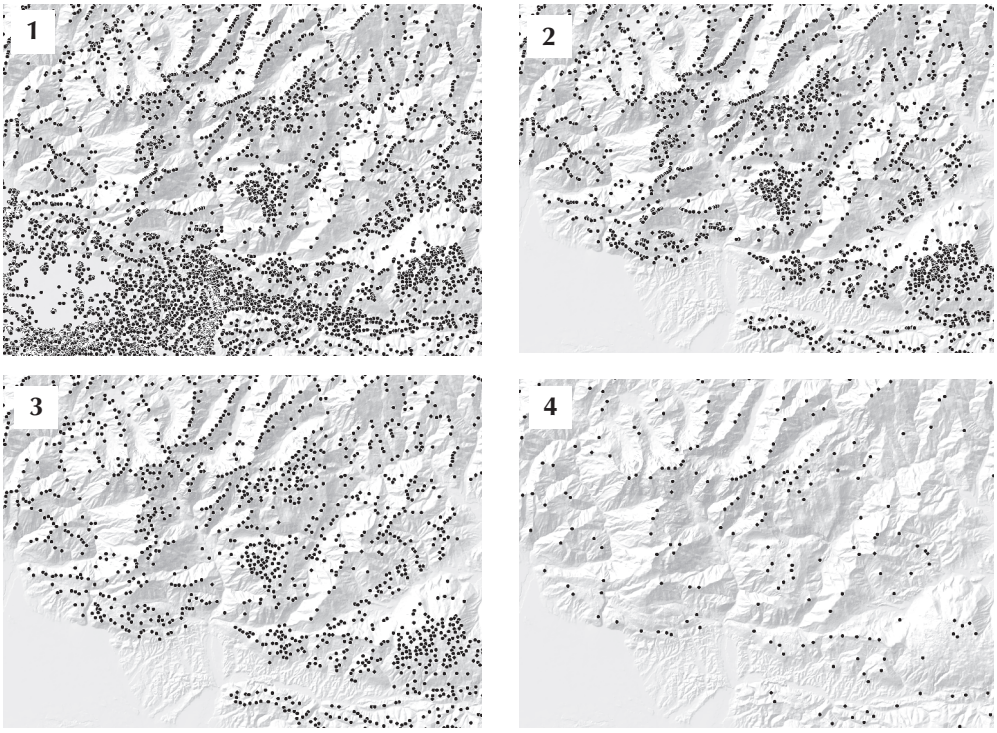
V vsakem koraku postopka uporabljamo le vrhove, izračunane v predhodnem koraku (graf 1).



Graf 1: *Število točk vrhov po posameznih korakih za študijski primer: od lokalnih (1) do (običajih) vrhov (4), določenih po topografskih kriterijih (velja za celotno študijsko območje Kamniških in Savinjskih Alp).*

V prvem koraku izračunamo lokalne vrhove (V). Predvsem zaradi hitrejšega računanja v drugem koraku izločimo vse lokalne vrhove, ki se nahajajo na ravninskem območju (VR) glede na klasifikacijo po kriterijih naklona, ukrivljenosti in nadmorskih višin površja ob določeni stopnji generalizacije DMR-ja (Podobnikar, 2005). Na takih območjih namreč dobimo polno lokalnih vrhov, ki pomenijo le neznatne izboklinice. Dodatni kriterij je lahko, da izločimo vse vrhove, ki so nižji od določenega praga; v našem primeru smo računali vrhove nad 600 m. S kriterijem najmanjše dovoljene vodoravne razdalje med vrhovi (dL) ohranimo v tretjem koraku glede na prejšnji korak le vrhove, ki so najvišji v krogu s polmerom dL. V četrtem koraku upoštevamo kriterij relativne višine vrhov (dV) kot osnovni topografski kriterij. Algoritem deluje tako, da izračuna zaključeno območje, ki je do vrednosti relativne višine dV nižje od pripadajočega vrha. Nato preišče zaključeno območje in prešteje preostale vrhove, določene v prejšnjem koraku. Če ne najde nobenega, potem privzame obravnavani vrh kot topografsko definiran vrh. Postopek se ponavlja do najnižjega vrha, začenši z najvišjim. S tem kriterijem smo dejansko upoštevali, da so vrhovi med seboj ločeni s sedli, nižjimi vsaj za dV, kljub temu da sedelnih točk nismo iskali. Vrhove izračunamo po dveh nekoliko različnih kriterijih, in sicer glede na dL = 200 m, dV = 30 m ter v drugo dL = 150 m, dV

= 25 m (UIAA, 1994). V obeh primerih dobimo nekoliko različne, dopolnjujoče se rezultate. Slika 1 prikazuje vse štiri korake določitve vrhov po topografskih kriterijih na študijskem območju. Za ta del naloge smo uporabili DMR z ločljivostjo 12,5 m.



Slika 1: *Določitev vrhov glede na štiri korake topografskih kriterijev (območje 30 krat 20 km).*

3 DOLOČITEV VRHOV PO GEOMORFOLOŠKIH KRITERIJIH

Za določitev vrhov po geomorfoloških kriterijih smo predvideli izdelavo potencialnih ploskev (po analogiji s fizičnimi potenciali). Metodologija omogoča po eni strani kontrolo določitve vrhov po topografskih kriterijih, po drugi pa geomorfološke opise oblike vrhov, kot so: »oster vrh«, »kopast vrh«, »podolgovat vrh«, »stožčast vrh«, »vrh z razgibano okolico«, »regionalni vrh«, »globalni vrh« ipd. Vse postopke smo testirali na treh različno natančnih DMR-jih ločljivosti 12,5, 25 in 100 m, kar je omogočilo hierarhično razvrstitev posameznih vrhov glede na razsežnost njihove okolice in glede na podrobnost geomorfoloških oblik ter omogočalo analizo robustnosti posameznih tehnik. Na primer pri ločljivosti 12,5 m in ožji okolici je bil posamezen vrh določen kot podolgovat, pri ločljivosti 100 m in nekoliko širši okolici pa lahko kot okroglast (ali kake druge oblike). Poleg omenjenega je testiranje pri več ločljivostih omogočilo ločitev bolj od manj značilnih vrhov. Metodologija je obširna ter vsebuje veliko število inovativnih tehnik in prestopov. Posamezni algoritmi so natančneje opisani v člankih Podobnikarja (2005 in 2008), medtem ko druge podrobnosti in nekoliko širši pogled na postopek določitve vrhov opisujemo v nadaljevanju.

Metodologija temelji na pridobivanju potencialnih ploskev (slojev, funkcij, potencialov) različnih značilnosti vrhov glede na večje število klasificiranih zveznih spremenljivk (in indeksov). Najprej generiramo (opisne) zvezne spremenljivke, pomembne za opis geomorfoloških značilnosti okolice vrhov. Zvezne spremenljivke dokumentirajo vzorce in pojave v prostoru (Haining, 2003). Izdelava spremenljivk temelji na različnih operacijah prostorskih analiz pri uporabi DMR (Burrough in McDonnell, 1998). Pri tem upoštevamo vplivna območja različnih velikosti, ki omogočajo opis določenih geomorfoloških značilnosti okolice vrhov (Podobnikar, 2005 in 2008).

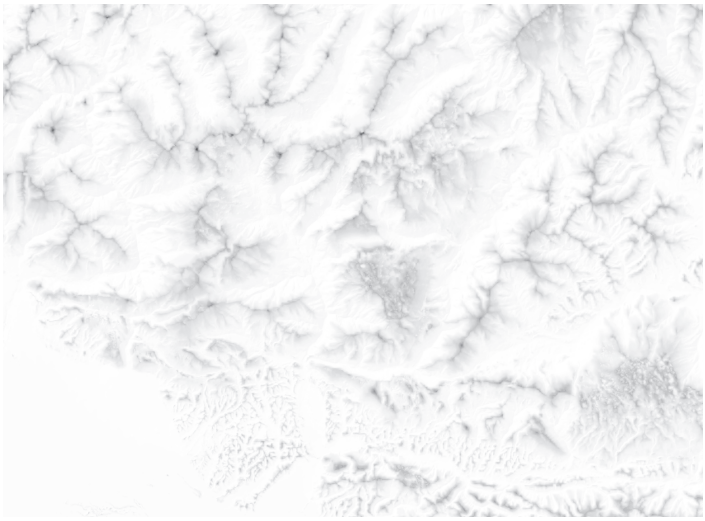
Binarne indekse, ki opisujejo značilna območja, izračunamo s klasifikacijo zveznih spremenljivk dvojiške. Prag za pretvorbo določimo na več načinov. Pomagamo si s točkami vrhov, ki smo jih določili po topografskih kriterijih (rezultat prejšnjega razdelka), z analizami histogramov ter z drugimi tehnikami za razumevanje vzorcev ter z metodami, s katerimi poiščemo možno rešitev, jo uporabimo za problem ter preizkusimo njeno uspešnost, predvsem pa z izkušnjami. Vsakega izmed indeksov šifriramo z dvomestno kodo, ki opisuje značilnosti, kot sta merilo (pomembnost vrha) in oblika iskanih vrhov. Nekateri vrhovi imajo lahko več kod (za isti indeks), ki predstavljajo več značilnosti vrhov, npr. oster in stožčast hkrati. V preglednici 1 se vidi, da je na primer podolgovat (vsakršen) vrh šifriran z dvomestno kodo 23, ki je sestavljena iz oznake za kategoriji 1 in 2.

Oznaka kat.	*Kategorija 1 (merilo)*	*Kategorija 2 (oblika)*
1	regionalen	oster
2	(običajen)	kopast
3		podolgovat
4		stožčast
5		vsakršen (nedefinirano)

Preglednica 1: *Kategorije dvomestnih kod za razvrstitev indeksov po njihovih značilnostih in namembnosti za izračun potencialnih ploskev.*

Sledi pojasnjevanje indeksov, ki se nanaša na globlje razumevanje naravnih pojavov (značilnosti vrhov) in označevanje (izbor) indeksov. Cilj tega postopka je torej izbor indeksov, kodiranih po posameznih namembnostih, primernih za izračun potencialnih ploskev. Potencialne ploskve izbranih značilnosti vrhov (z določenimi kodami) pridobimo s postopki pojasnjevanja in odločanja, kot je testiranje hipoteze, ali so indeksi neodvisni in značilno različni (Stančič in Kvamme, 1999). Hipoteze testiramo s tehnikami izračuna večkratne regresije ali pa npr. z iterativnim odvzemanjem/dodajanjem indeksov ter s preizkušanjem njihove primernosti za določitev izbrane potencialne ploskve kot optimalnega prediktorja. Potencialne ploskve alternativno izračunamo glede na primerno uravnotežen histogram normaliziranih vrednosti izbranih zveznih spremenljivk namesto binarnih indeksov. Pridobljene potencialne ploskve vrhov kot kombinacija izbranih (značilnih) indeksov (ali zveznih spremenljivk) torej napovedujejo možnost obstoja vrhov in še več, vrhov določene oblike. Višje vrednosti pomenijo večji potencial.

Na študijskem območju smo glede na opisane kriterije iz velikega števila izbrali 25 indeksov, primernih za prediktorje (glej tudi Podobnikar, 2005 in 2008, Podobnikar in Dorninger, 2007). Posamezne potencialne ploskve smo izračunali s seštevanjem izbranih indeksov (ali normaliziranih zveznih ploskev). Potencialne ploskve smo izračunali za naslednje kode glede na preglednico 1: 13, 14, 15, 21, 22, 23, 24 in 25. Slika 2 prikazuje potencialno ploskev, določeno iz (normaliziranih) zveznih spremenljivk vsakršnih (nedefinirano) regionalnih vrhov kot prediktorjev vrhov (koda 15, preglednica 1).



Slika 2: *Potencialna ploskev vsakršnih regionalnih vrhov. S temnejšimi odtenki so prikazana območja z večjo možnostjo za take vrhove (območje 30 krat 20 km).*

4 POVEZAVA TOPOGRAFSKIH IN GEOMORFOLOŠKIH KRITERIJEV

Numerično kakovost določitve vrhov povečamo s primerjalno analizo več metod. V našem primeru povezujemo metodi za analizo topografskih in geomorfoloških kriterijev. V obeh primerih uporabljamo točke vrhov, pridobljene po topografskih kriterijih, in potencialne ploskve, pridobljene po geomorfoloških kriterijih. Kombinacija več metod omogoča relativno kontrolo posameznih metod (med seboj). Hkrati pripomore k izboljšanju izbora vrhov ter k natančnejšemu ter obširnejšemu opisu oblike vrhnjega dela vzpetin. Predlagamo dva načina povezave obeh kriterijev:

- izbor točk vrhov glede na potencialne ploskve in
- označitev oblike vrhov z analizo potencialnih ploskev v okolici točk vrhov.

V tem delu naloge smo uporabili DMR-je z ločljivostjo 12,5, 25 in 100 m, v odvisnosti od merila izbora in oblike vrhov.

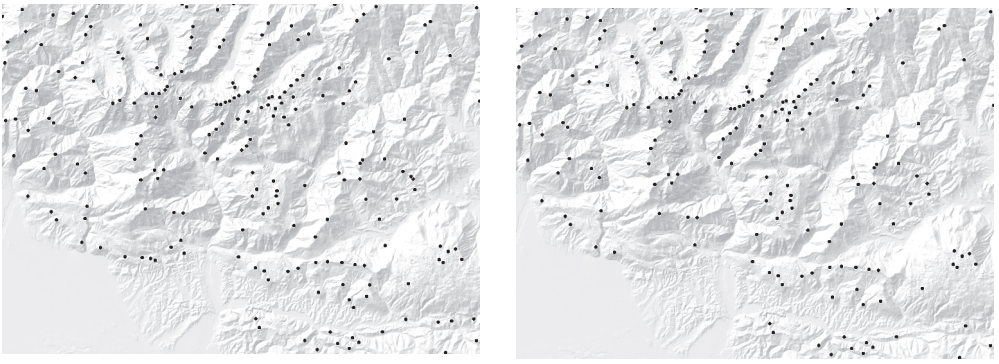
4.1 Izbor vrhov

Točke vrhov so bile natančno položajno določene za zelo razgibano območje Alp, vendar po relativno blagih topografskih kriterijih z majhno najmanjšo dovoljeno vodoravno razdaljo (dL) in nizkim kriterijem relativne višine vrha (dV). Predlagamo naslednji izpopolnjeni postopek natančnejšega izbora vrhov, določenih po topografskih kriterijih, glede na geomorfološke kriterije:

1) prekrivanje točk vrhov in potencialnih ploskev,

2) izbor vrhov, ki se prekrivajo z visokimi vrednostmi potencialne ploskve (visok potencial).

Slika 3 prikazuje izbor 346 vrhov po opisanem postopku (desno) glede na 366 vrhov, določenih s topografskimi kriteriji (levo). Ker smo želeli ohraniti večino točk vrhov, smo prag za določitev območij visokega potenciala nekoliko spustili. S spreminjanjem praga pri klasifikaciji potencialne ploskve lahko postopno izločamo točke vrhov na manj razgibanih območjih, tako da na koncu ostanejo le pomembnejši, regionalni alpski vrhovi.



Slika 3: *Izbor vrhov z izločevanjem po geomorfoloških kriterijih (desno) pri uporabi vrhov, določenih po topografskih kriterijih (levo). Velja za kodo 25, ki pomeni vsakršne (običajne) vrhove (preglednica 1, območje 30 krat 20 km).*

4.2 Označitev oblike vrhov

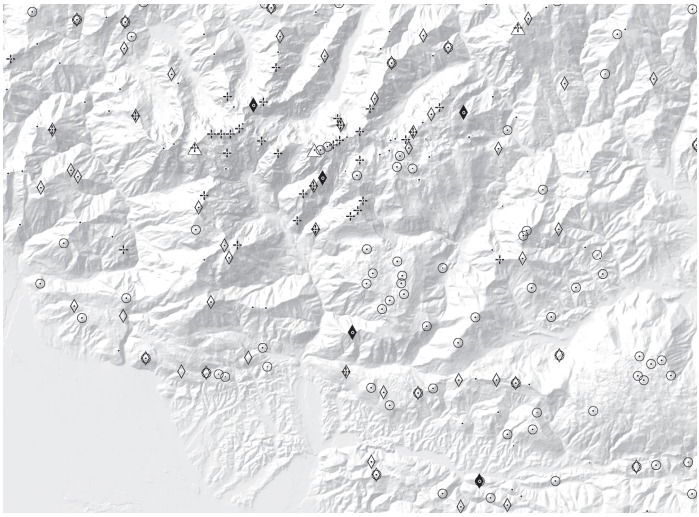
Drugi način povezave topografskih in geomorfoloških kriterijev je poglobljena analiza potencialnih ploskev v okolici točk vrhov za določanje oblik vrhnjih delov vzpetin. Postopek izbora je v prvi točki enak izboru vrhov, opisanem v prejšnjem razdelku. Razlika je v drugi točki, saj točk vrhov ne izločamo, temveč označujemo različne oblike, kot sta oster ali kopast vrh. Preglednica 2 prikazuje povezave med posameznimi oblikami vrhov, ki jih obravnavamo. Najzapletenejši med navedenimi so stožčasti, pri katerih je pogoj, da so ostri in okroglasti (črna polja; Badjura, 1953), medtem ko povezave med drugimi tipi vrhov niso obvezujoče (siva polja) ali jih ni (bela polja). Povezave veljajo le pod pogojem, da obravnavamo okolico vrhov približno enakih velikosti – da torej uporabljamo isti DMR in primerljive parametre analiz.

Z opisano metodo označitve oblik vrhov smo dobili 52 ostrih vrhov (koda 21), 153 kopastih vrhov (koda 22) in različno podolgovate vrhove (koda 23). V naštetih primerih so bile oblike izračunane glede na relativno majhno oddaljenost od vrhov. Tri regionalne vrhove (koda 15) smo

	Oblika	*oster*	*kopast*	*okroglast*	*podolgovat*	*stožčast*
→	*oster*	x				
→	*kopast*		x			prisekan stožec
→	*okroglast*			x		
→	*podolgovat*				x	
→	*stožčast*					x

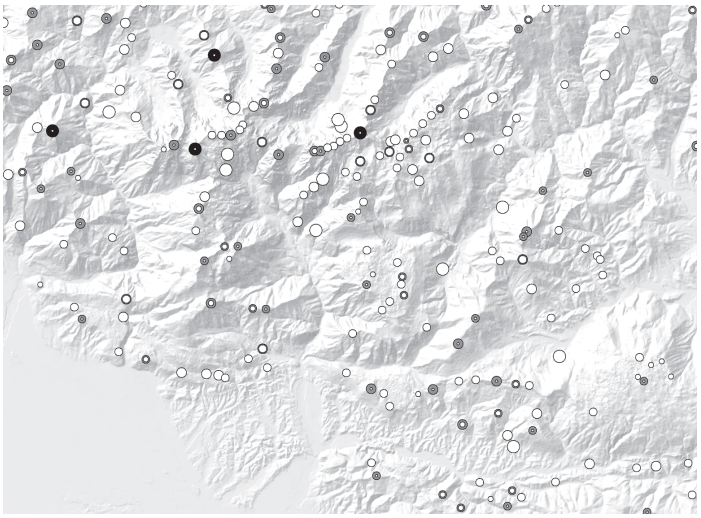
Preglednica 2: *Enosmerne povezave med oblikami vrhov, pri čemer beremo vrstice in odčitavamo v stolpcih. Bela polja pomenijo, da ni povezave, siva, da je povezava možna, in črna, da je obvezujoča. Uvedemo pojem okroglast, ki pomeni eno izmed klasifikacij podolgovatosti z oznako 3 znotraj kategorije 2 (glej preglednico 1).*

izračunali po dodatnem topografskem kriteriju, in sicer glede na najmanjšo razdaljo med vrhovi, dL = 2 km, pri čemer smo dL določili s poskusi (slika 4).



Slika 4: *(Običajni) vrhovi (pika) in regionalni vrhovi (trikotnik). Dodatne oznake pomenijo obliko vrhov: križec – oster vrh, prazen krožec – kopast vrh, romb – podolgovat vrh (poln romb pomeni večjo podolgovatost). Ostri in kopasti vrhovi se izključujejo, podolgovatost pa jih lahko dopolnjuje. Nekateri vrhovi niso dodatno klasificirani, saj s svojo obliko ne spadajo dovolj izrazito v katero izmed obravnavanih oblik (območje 30 krat 20 km).*

Za vrhove smo izračunali stopnjo stožčavosti kot obliko vrhov za tri različna merila (različni DMR-ji) oz. vplivna območja vrhov ali velikosti vrhnjih delov vzpetin (kodi 14 in 24). Na sliki 5 je prikazan primer stožčavosti vrhov glede na relativno veliko oddaljenost (malo merilo) do 500 m od vrhov.

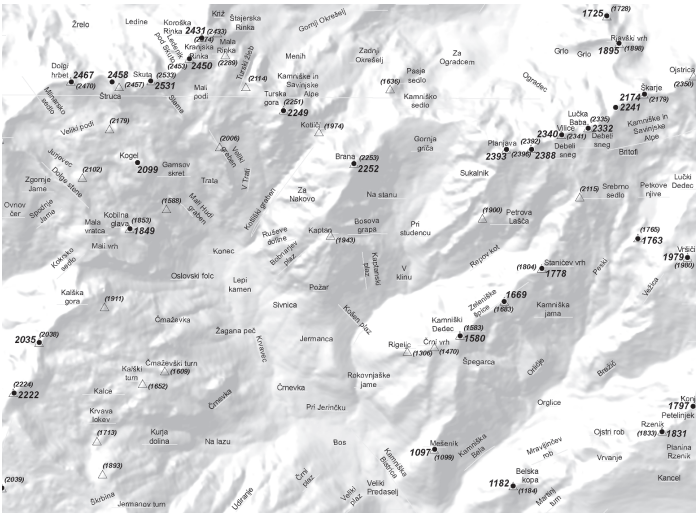


Slika 5: *Stožčavost vrhov za oddaljenost do 500 m. Velik črn krog z majhno belo piko pomeni izrazito stožčavost, manjši siv krog zaznavno stožčavost, beli krogi različnih velikosti so nestožčasti vrhovi. Pri tem je velikost črnega kroga pogojena s standardnim odklonom vseh višin na določeni oddaljenosti od vrha ter velikost belega kroga z višinsko razliko med točko vrha in povprečno vrednostjo višin na določeni oddaljenosti (območje 30 krat 20 km).*

5 INTERPRETACIJA REZULTATOV

Oceno o uspešnosti avtomatizacije topografskih in geomorfoloških kriterijev podkrepimo z interpretacijo rezultatov. Slika 6 prikazuje primerjavo vrhov s kotami topografske karte DTK 25 in z registrom zemljepisnih imen REZI 25 (GU, 2005). Višine vrhov so izračunane neposredno iz DMR-ja Slovenije z ločljivostjo 12,5 m, tako da so zaradi generalizacije največkrat za nekaj metrov nižje od dejanskih. Nekaj vrhov ima izrazito različne višine glede na kote DTK 25 ali so zamaknjeni za do nekaj sto metrov. Problema nismo raziskali, verjetno pa se skriva v kakovosti DMR Slovenije, DTK 25 ali zajemu podatkov.

Vrhove nad 2000 m nadmorske višine podkrepimo s spiskom dvatisočakov v Kamniških in Savinjskih Alpah (preglednica 3), ki vsebuje 41 vrhov (Spisek 1; SD, 2001) in dodatno z novejšim spiskom z 48 vrhovi (Spisek 2; Kern in Cuderman, 2001). Med vrhovi smo po avtomatiziranem postopku identificirali 42 dvatisočakov (Spisek 3). 11 od 41 vrhov (~1/4) s Spiska 1 nismo identificirali kot vrhove Spiska 3. Za primerjavo smo kontrolirali tudi oba obstoječa spiska med seboj: 12 od 42 vrhov, ki jih ni v Spisku 1, smo našli v Spisku 2, kot na primer Vilice (2341 m), Škarje (2179 m). Glede na variabilnost obstoječih Spiskov (1 in 2) pri ocenah za določitev dvatisočakov, je torej naša ocena (Spisek 3) primerljiva.



Slika 6: *Vizualizacija za primerjavo kakovosti numeričnega generiranja točk vrhov (črne pike z nadmorskimi višinami) v primerjavi s kotami vrhov iz DTK 25 (trikotniki z nadmorskimi višinami v oklepajih) in z zemljepisnimi imeni iz REZI 25 (območje 7,8 krat 5,7 km).*

Grintovec	2558	**Mala Rinka**	**2289**	Kogel	2100
Jezerska Kočna	2540	Brana	2252	Mrzli vrh	2094
Skuta	2532	Turska gora	2251	Krofička	2083
Na Križu (Kokr. Kočna)	2484	Lučka Brana (Baba)	2244	Velika Raduha	2062
Kokrska Kočna	**2475**	Kalški Greben	2224	**Krnička gora**	**2061**
Dolgi hrbet	2473	Mrzla gora	2203	**Velika Kalška gora**	**2058**
Štruca	2457	**Kljuka**	**2137**	Ute	2029
Kranjska Rinka	2453	Storžič	2132	Mala Raduha	2029
Mali Grintovec	**2447**	Debeli špic	2128	Poljske device	2028
Koroška Rinka (Križ)	2433	Velika Baba	2127	Lučki Dedec	2023
Planjava	2394	**Veliki kup**	**2126**	**Mala Kalška gora**	**2019**
Planjava – vzhodni vrh	2392	Velika Zelenica	2114	**Mala Baba**	**2018**
Ojstrica	2350	Veliki vrh	2110	**Mala Ojstrica**	**2017**
Štajerska Rinka	**2289**	Ledinski vrh	2108		

Preglednica 3: *Spisek 41 dvatisočakov v Kamniških in Savinjskih Alpah z imeni in nadmorskimi višinami v metrih (Spisek 1; SD, 2001). V mastnem tisku so vrhovi, ki se ne ujemajo s samodejno določenimi vrhovi Spiska 3.*

Izvedli smo enostavno primerjavo vrhov s toponimi iz zbirke REZI 25 (GU, 2005). Nekatera imena vrhov namreč etimološko veliko povedo o obliki vrhov, kot so Ojstrica, Kopa, Planjava, Tolsti vrh, Storžič, Grintovec ipd. Zanimiva je tudi interpretacija slike 2, ki kaže na to, da so najizrazitejši vrhovi v Kamniških in Savinjskih Alpah Storžič (zahodno od vidnega območja na sliki 2), Kozji vrh, Grintovec, Goli vrh, Skuta, Brana in Ojstrica (najtemnejša območja). Poleg tega so vsi ti vrhovi tudi ostri (slika 4). Iz iste slike lahko razberemo, da so po drugih kriterijih, pri

katerih igrata pomembno vlogo nadmorska višina in razdalja med vrhovi, najizrazitejši (regionalni) Grintovec, Planjava in Raduha. Izrazito stožčasta vršna območja vrhov imajo Storžič, Pristovški Storžič (Kärtner Storschitz) (v obeh primerih že toponim obeta stožčasto obliko), ter na sliki 5 vidni Kozji in Goli vrh, Grintovec in Ojstrica. Omeniti velja vrhove, pri katerih oblika ni bila posebej klasificirana po danih kriterijih in so označeni le s pikami (slika 4). Primer je Kočna, ki je sicer markanten vrh, viden tako z Jezerskega kot iz Ljubljane. Za tovrstne vrhove je še veliko izzivov pri iskanju primernega algoritma za opis oblike. Prav v vseh primerih se kot pomemben pojavlja Grintovec, ki je hkrati najvišji vrh Kamniških in Savinjskih Alp. Kljub vsemu pa Grintovec po gorniških kriterijih morda ni najpomembnejši vrh, saj je po eni strani geološko »grintav«, po drugi pa glede na tipična stojišča relativno skrit za drugimi, nekoliko nižjimi vrhovi. Zanimivo je analizirati visoki planoti, Veliko in Menino planino, ki sta relativno izraziti na potencialni ploskvi regionalnih vrhov (slika 2). Na sliki 4 se v obeh primerih pokaže, da gre za gruči (manjših) kopastih vrhov, oziroma da gre za rahlo valovito in izpostavljeno visokogorsko pokrajino.

6 SKLEP

Pokazali smo, da lahko z numeričnim pristopom oz. kvantitativnimi metodami uporabimo določene standarde za določitev vrhov kot vrhnjega dela vzpetin. S topografskimi kriteriji določimo vrhove, ki so za določeno mero nad okolico, z geomorfološkimi pa z opisom oblike okolice vrhov dodatno podpremo odločitve pri določitvi vrhov. Opredelitev vrhov po obeh kriterijih smo popolnoma avtomatizirali glede na alpinistične mednarodne standarde. Največji potencialni problem pri samodejni določitvi vrhov so izjeme, na katere naletimo. Problem je po naravi podoben samodejni kartografski generalizaciji, ki jo lahko do večje mere relativno uspešno avtomatiziramo, vseh izjem pa praktično ni mogoče opisati in upoštevati. Za obravnavo izjem je ključni dejavnik še vedno človek. V konkretnem primeru preostane ocena subjektivne (in analogne) narave le še za končno tehtanje in pravo odločitev o tem, ali numerično procesiran vrh zadošča vsem ali morda samo bistvenim kriterijem. Robustnost in kakovost predlagane metodologije opisa vrhov smo ocenili in potrdili z nekaj pristopi, kot je uporaba DMR-jev različnih ločljivosti ob primerno generaliziranih značilnostih površja. Ocenjujemo, da smo s predlagano rešitvijo problema in razvitimi metodami povečali kakovost identifikacije vrhov različnih oblik in hkrati avtomatizirali skorajda vso nalogo določitve vrhov. Opisano metodologijo lahko uporabimo tudi za opis vrtač ali vdrtin, pri čemer so osnovni principi podobni, problemi pa so nekoliko drugačni.

ZAHVALA

Večina tehnik za opis vrhov je nastala leta 2001 kot eden izmed hobijev, ki je nadaljeval razvoj metod za integracijo podatkov za izdelavo digitalnega modela reliefa na Znanstvenoraziskovalnem centru SAZU. Metodologija določitve vrhov po geomorfoloških kriterijih je nastala ob podpori projekta TIMIS.plus.II kot del programa »HRSC na Mars Expressu« s pomočjo Avstrijske agencije za promocijo znanosti v okviru programa ASAP. Pomemben del podatkov je posredovala Geodetska uprava RS. Za pregled sestavka in koristne pripombe se zahvaljujem dr. Marku Krevsu, dr. Dušanu Petroviču, dr. Josefu Jansi, Juriju Mlinarju, Marjanu Podobnikarju in Marjanu Jarnjaku.

LITERATURA IN VIRI:

Badjura, R. (1953). Ljudska geografija : Terensko izrazoslovje. Državna založba Slovenije, Ljubljana

Burrough, P. A., McDonnell, R. A. (1998). Principles of Geographical Systems Information Systems : Spatial Information Systems and Geostatistics. Oxford University Press

C4 (1990–2007). Club 4000 http://www.club4000.it/elenco.html

Gea (2002). Kaj je gora : Tema meseca: Mednarodno leto gora 2002. Gea, april, str. 15.

GU (2005). Geodetska uprava Republike Slovenije. DMR Slovenije ločljivosti 12,5, 25 in 100 m, REZI 25 (Register zemljepisnih imen v merilu 1 : 25.000), DTK 25 (Državna topografska karta merila 1 : 25.000)

Haining, R. (2003). Spatial Data Analysis: Theory and Practice. Cambridge University Press

Kern, M., Cuderman, M. (2001). Projekt 2000: Slovenski dvatisočaki http://www2.arnes.si/~mcuder/2000/2000_projekt.html

Krevs, M. (1992). Iskanje lokalnih ekstremov na DMR / The recognition of local surface extremes on DEM. Geografski vestnik 64, str. 205–218.

Peakware (2002–2006). World Mountain Encyclopedia. Peakware http://www.peakware.com/

Podobnikar, T. (2002). Model zemeljskega površja – DMR ali DMV? / Earth's Digital Surface Model – DTM or DEM? Geodetski vestnik 46/4, str. 347–353.

Podobnikar, T. (2005). Production of integrated digital terrain model from multiple datasets of different quality. International journal of geographical information science, 19/1, str. 69–89.

Podobnikar, T. (2008). Enhancing terrain features for improved cartographic visualisation. Second International Conference on Cartography & GIS. (v tisku)

Podobnikar, T., Dorninger, P. (2007). Enhanced visualisation of Mars surface features from HRSC DTM. V: European Mars Science and Exploration Conference: Mars Express & ExoMars; European Space Agency, ESTEC, Noordwijk. http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=41364&fbodylongid=1990

SD (2001). Poimenovane vzvišene kote z višino 2000 m in več v RS. Slovenski dvatisočaki. http://staro.gore-ljudje.net/geo/si/2-tis1.htm

SSKJ (1970–1991). Slovar slovenskega knjižnega jezika. SAZU, Inštitut za slovenski jezik, Ljubljana, DZS.

Stančič, Z., Kvamme, K. (1999). Settlement Pattern Modelling through Boolean Overlays of Social and Environmental Variables. V Barcelo, J.A., Briz, I., Vila, A. (ur.), New Techniques for Old Times, CAA 98, BAR International Series 757: str. 231–237.

Székely, B. (2003). The Eastern Alps in an envelope – an estimation on the "missing volume". N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 230, Stuttgart, str. 257–275.

UIAA (1994). Quattromila delle Alpi – Elenco ufficiale UIAA. UIAA-Bulletin 145. http://www.lamontagnanonperdona.com/Bollettinouiaa.htm

UIAA (2007). Mednarodna zveza planinskih organizacij (Union Internationale des Associations d'Alpinisme / International Mountaineering and Climbing Federation). http://www.uiaa.ch

UNEP (2007). UNEP (United Nations Environment Programme) World Conservation Monitoring Centre. http://www.unep-wcmc.org/habitats/mountains/background.htm

Prispelo v objavo: 24. oktober 2007
Sprejeto: 12. december 2007

dr. Tomaž Podobnikar, mag., univ. dipl. inž. geod.
Znanstvenoraziskovalni center SAZU, Novi trg 2, 1000 Ljubljana
E-pošta: tp@zrc-sazu.si in
Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Dunaj, Avstrija
E-pošta: tp@ipf.tuwien.ac.at