

**METODE****TOPOGRAFSKA IN GEOMORFOLOŠKA OPREDELITEV VRHOV TER ANALIZA OBLIK**

AVTOR

**dr. Tomaž Podobnikar**

Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU, Novi trg 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija  
Vienna University of Technology, Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Gusshausstrasse 27–29,  
A – 1040 Dunaj, Avstrija  
tp@zrc-sazu.si, tp@ipf.tuwien.ac.at

UDK: 551.43:528:004(234.323.63)

COBISS: 1.01

## IZVLEČEK

**Topografska in geomorfološka opredelitev vrhov ter analiza oblik**

Razvili smo metodologijo samodejne določitve značilnih vrhov in analize njihovih oblik kot vrhnjega dela vzpetin. Gorniki jih subjektivno določajo po topografskih, geomorfoloških in gorniških kriterijih. Topografski in geomorfološki kriteriji so bili upoštevani s samodejnimi postopki. Izračunane so bile točke vrhov in potencialne ploskve, ki so omogočile opis oblik vrhov kot oster, kopast, podolgovat in stožčast. Prednosti samodejnega pristopa so, da so parametri standardizirani in rezultati objektivnejši ter kakovostnejši. Študijsko območje so bile Kamniško-Savinjske Alpe ter podatki DMR-ja Slovenije.

## KLJUČNE BESEDE

morfometrija, topografija, geomorfologija, prostorske analize, GIS, DMR, vrh, Kamniško-Savinjske Alpe

## ABSTRACT

**Topographical and geomorphic determination of summits and shapes' analysis**

Methodology of automated determination and analysis of the characteristic summit's shapes as upper part of rising ground was developed. Mountaineers determine them subjectively according to topographical, geomorphic and mountaineering criteria. The topographical and geomorphic criteria were handled with automated algorithms. The points and potential surfaces of the summits were calculated. From the potential surfaces were identified the shapes of sharp, blunt, oblong and conical summits. Advantages of the automated approach are that the parameters are standardised and the results more objective and therefore of higher quality. The study area was Kamnik Alps and the data of the DTM of Slovenia.

## KEY WORDS

morphometry, topography, geomorphology, spatial analyses, GIS, DTM, peak/summit, Kamnik-Savinja Alps

Uredništvo je prispevek prejelo 11. februarja 2008.

## 1 Uvod

Vrhove gorá z različno oddaljenostjo razgledišč in z različnih zornih kotov različno vidimo, prepoznavamo in si jih predstavljamo. Od daleč lahko vidimo le nekaj izrazitejših in še te poenostavljeno, od blizu pa zaznamo tudi najmanjše vzpetine in podrobnosti na vrhovih. Drugače dojemajo gore tisti, ki z njimi živijo – prebivalci in gorniki – drugače pa tisti, ki jih redko vidijo ali določenih gorá sploh ne poznajo. Popolnoma nov pogled se odpre, ko si ustvarimo sliko gorá od zelo daleč, pri uporabi letalskih ali satelitskih posnetkov, pri uporabi zemljevida ali pa celo pri opazovanju iz letala. Vse to povzroča različno interpretacijo pojavnosti gorá, ki se spreminja celo glede na vreme, podnebje, rastje in druge pokrajinske dejavnike.

Pojma gora in vrh sta v semantičnem smislu subjektivne narave, zato najdemo zanju v geografskem smislu več izkustvenih interpretacij in nedorečenih definicij.

Pojem gora opredeljujemo po kriterijih višinskih rastlinskih pasov (Gea 2002) ali kot povezavo med primernimi višinami, nakloni ter relativnimi višinami (medmrežje 6) V Geografskem terminološkem slovarju (2005) je gora opredeljena kot »velika, masivna, navadno manj razčlenjena vzpetina, višja od griča ali hriba«.

Opis vrha, kot dela gore, je nekoliko manj zapleten. Definiramo ga z raznimi merami in z lastnostmi oblikovitosti površja glede na bližnjo okolico najvišje točke, torej glede na vrhnji del vzpetine, imenovanem tudi vršina (Badjura 1953). Možne so naslednje opredelitve vrha (SSKJ 1971–1991): »vsaka od vzpetin, v katere se gorovje v višjem delu razcepi« ali »zgornji, navadno zloženi del gore, vzpetine« ali »najvišja točka ali del gore, vzpetine«. Po Mednarodni zvezi planinskih organizacij (medmrežje 5) je pojem vrh definiran bolj tehnično 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 topografskih, geomorfoloških in gorniških kriterijih (medmrežje 2 in 5). V Geografskem terminološkem slovarju (2005) je vrh opredeljen kot »najvišji del vzpetine«.

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 (medmrežje 2). Dodatni kriterij je najmanjša vodoravna razdalja med vrhovi. Večje kot so posamezne vrednosti mer, razsežnejši in značilnejši je vrh. Geomorfološki kriteriji se nanašajo na območja vršin. Ti upoštevajo obliko vrha kot nekoliko širšega območja (vršina), na katerem lahko določimo stranske vrhove, rame, pomole, upoštevamo geološke značilnosti ipd. Gorniški kriteriji se nanašajo na vse druge, precej pristranske vidike ocenjevanja vrhov. Obsegajo pomembnost vrhov z vidika ogledov terena, kakršna je tudi naša zaznava. 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 standardizacije postopka. Problemov, ki se porajajo zaradi nedorečenih definicij, je veliko (Kern in Cuderman 2001, medmrežje 4). 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 pristranskosti 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. Na težavnost opisa kaže podatek o številu dvatisočakov v Sloveniji, ki je bil od šestdesetih let prejšnjega stoletja po različnih kriterijih in pri uporabi različnih pripomočkov, med katerimi so tudi topografske karte, ocenjen med 179 in 349 (Kern in Cuderman 2001, medmrežje 4). Alpskih štiritisočakov je uradno 128, po bolj strogih kriterijih pa naj bi jih bilo le 82 (medmrežje 2 in 5). Podobno je tudi s himalajskimi osemtisočaki, ki jih je uradno 14, po nekaterih kriterijih pa celo do 21 (medmrež-

je 1 in 3). Ocene se torej razlikujejo za od 50 do skoraj 100 %, vendar se z leti predvsem zaradi večje standardizacije zmanjšujejo. Analogno usmerjeni ali ročni pristop določitve pojma vrh je predvsem zaradi zahtevnosti aplikacij samodejnih numeričnih rešitev iskanja še vedno aktualen.

## 2 Metodološko ozadje

Numerični pristopi morfometrične interpretacije pojma vrh temeljijo največkrat na določitvi lokalnih oblik reliefa, ki jih definiramo kot točke vrhov. Vrhove se izračuna kot lokalne maksimume pri uporabi rastrskega oziroma 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, pa tudi sicer je izračun relativno enostaven. Različne pristope za prepoznavanje lokalnih vrhov je analiziral Krevs (1992). Manj je aplikacij, ki zaznavajo vrhove v širšem pomenu. Omenimo naj pristopa iskanja vrhov na podlagi lokalnih histogramov (Székely 2003) in za določanje depresij (vrtač kot inverznih vrhov) s simulacijo padavin. 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 vršine kot 2,5-razsežne ploskve. Ne glede na uporabljene metode in rezultate (točke vrhov ali ploskve vrhnih delov vzpetin), obravnavamo vrhove kot vršine. 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 medmrežje 2 in 5) 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 uporabljamo DMR Slovenije, ki je na voljo kot digitalni modeli višin (DMV) ločljivosti 12,5, 25 in 100 m (Geodetska uprava ... 2005). Različna ločljivost DMV-jev omogoča določanje različno pomembnih in značilnih vrhov, pri čemer moramo dobro poznati predvsem geomorfološko kakovost uporabljenega DMV-ja.

Študijsko območje velikosti 50 krat 40 km so Kamniško-Savinjske Alpe. Kontrolni podatki so kote kot del zbirk DTK 25, REZI 25 (Geodetska uprava ... 2005) ter spiska dvatisočakov (Kern in Cuderman 2001, medmrežje 4).

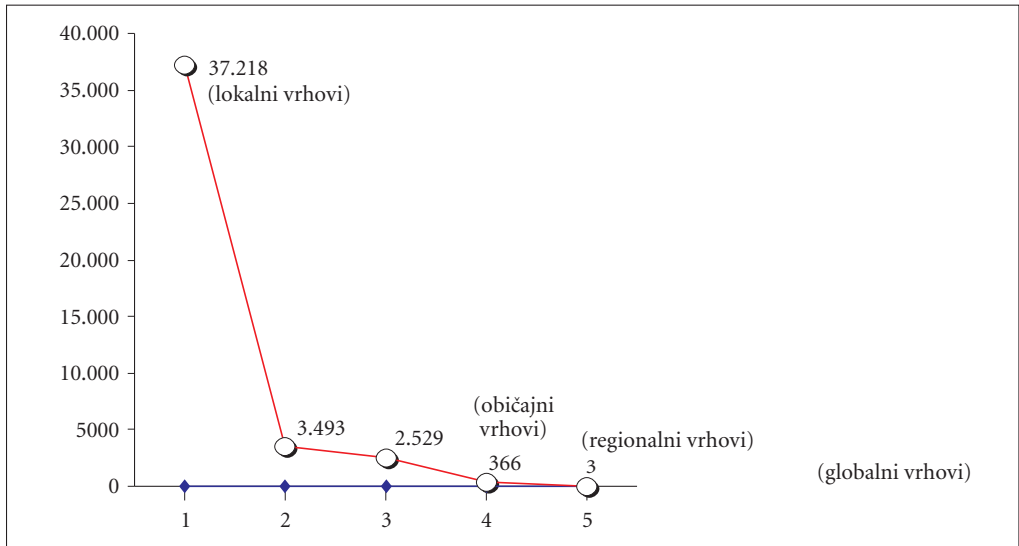
## 3 Metodologija določitve vrhov po topografskih kriterijih

Za izpolnitev osnovnih topografskih kriterijev določitve vrhov predlagamo naslednji postopek:

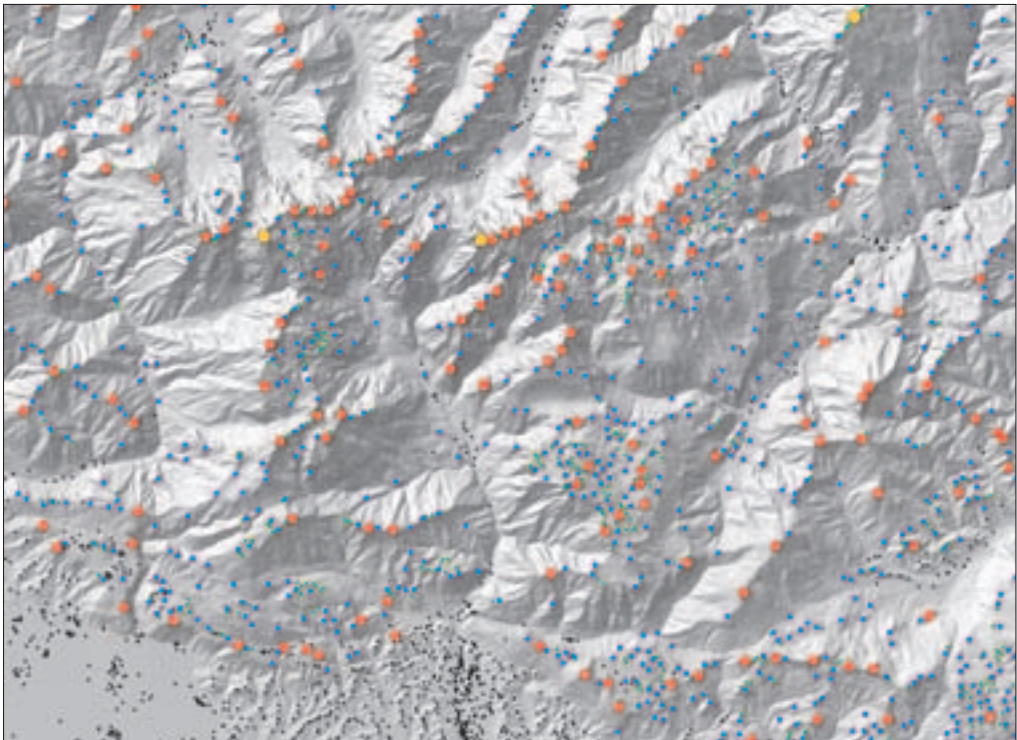
- 1. izračun lokalnih vrhov (V) iz DMV-ja pri uporabi lokalnega okna 3 krat 3 celice,
- 2. izbor vrhov, ki niso v ravninah (pri čemer so neizraziti vrhovi v ravninah označeni z VR) s klasifikacijo DMV-ja (Podobnikar 2005) (VR <> ravnina),
- 3. izbor glede na najmanjšo vodoravno razdaljo med vrhovi ( $dL > 150$  do 200 m),
- 4. izračun (običajnih) vrhov – izbor glede na relativno višino vrhov ( $dV > 25$  do 30 m) in
- 5 izračun regionalnih vrhov – izbor glede na najmanjšo vodoravno razdaljo med vrhovi ( $dL_2 > 2000$  m).

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

V prvem koraku izračunamo lokalne vrhove (V). V drugem koraku izločimo vse lokalne vrhove, ki so na ravninskem območju (VR). Upoštevamo razvrstitev po kriterijih naklona, ukrivljenosti in nadmorskih višin površja ob določeni stopnji generalizacije DMV-ja (Podobnikar 2005). S kriterijem najmanjše dovoljene vodoravne razdalje med vrhovi ( $dL$ ) ohranimo v tretjem koraku glede na prejšnji korak le vrhove, ki so najvišji v polmeru  $dL$ . V četrtem koraku izvajamo kriterij relativne višine vrhov ( $dV$ ) kot osnovni topografski kriterij. Algoritem določi zaključeno območje (vršino), ki je do vrednosti



Slika 1: Število točk vrhov po korakih: od lokalnih prek običajnih do regionalnih vrhov (velja za celotno študijsko območje Kamniško-Savinjskih Alp).



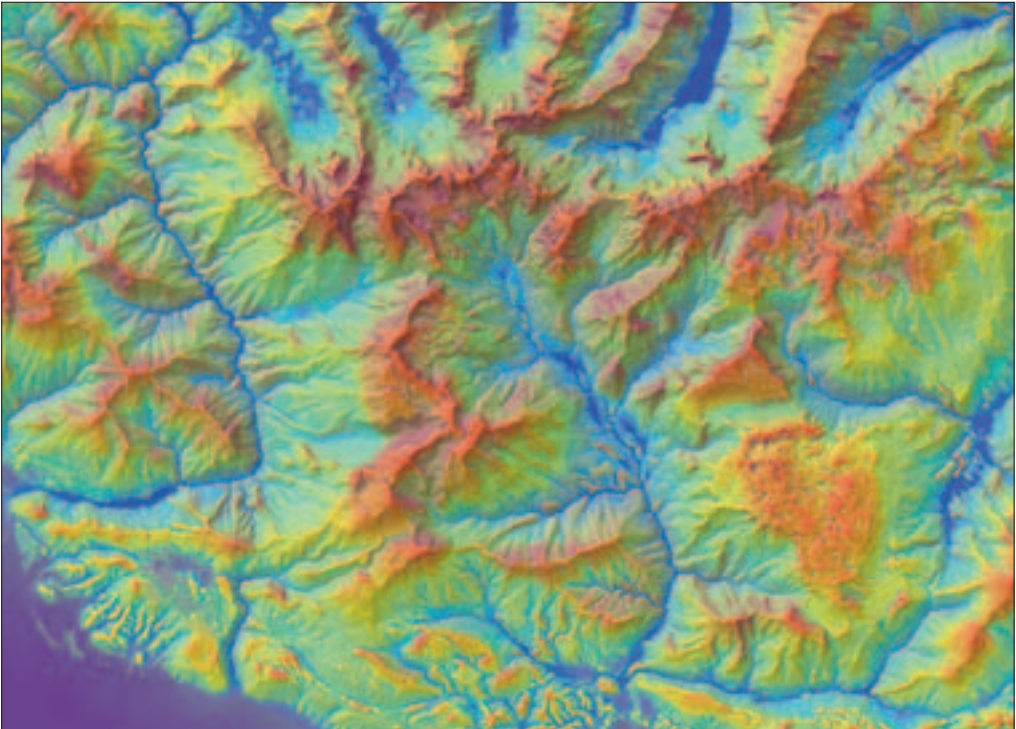
Slika 2: Vrhovi, glede na pet korakov topografskih kriterijev: črne (1), zelene (2), modre (3), rdeče (4) in rumene (5) pike (območje 27 krat 19 km).

relativne višine  $dV$  nižje od pripadajočega vrha. Nato algoritem preišče vršino in prešteje preostale vrhove, določene v prejšnjem koraku. Če ne najde nobenega, potem privzame obravnavani vrh kot topografsko definiran vrh. Začenši z najvišjim se postopek ponavlja do najnižjega vrha. 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 (medmrežje 2). V obeh primerih dobimo nekoliko različne, dopolnjujoče se rezultate. V petem koraku ponovimo postopek tretjega koraka pri čemer je  $dL_2 = 2000$  m. Slika 2 prikazuje vseh pet korakov določitve vrhov po topografskih kriterijih na študijskem območju. Za ta del naloge smo uporabili DMV 12,5.

#### 4 Metodologija določitve vrhov po geomorfoloških kriterijih

Za določitev vrhov po geomorfoloških kriterijih smo predvideli izdelavo zveznih ploskev, ki jih po analogiji fizikalnih potencialov imenujemo potencialne ploskve. Metodologija omogoča po eni strani kontrolo določitve vrhov po topografskih kriterijih, po drugi pa geomorfološke opise oblike vrhov. Vse postopke smo testirali na treh različno natančnih DMV-jih 12,5, 25 in 100, kar je omogočilo hierarhično razvrstitev posameznih vrhov glede na razsežnost njihove okolice ali glede na podrobnost geomorfoloških oblik ter omogočalo analizo robustnosti posameznih tehnik. Poleg omenjenega je testiranje pri več ločljivostih omogočilo ločitev bolj značilnih od manj značilnih vrhov. Posamezni algoritmi



Slika 3: Potencialna ploskev vsakršnih (običajnih) vrhov. Rdeča so območja z večjo možnostjo za take vrhove. Bolj izpostavljeni so vrhovi okoli katerih so vijolični odtenki (območje 22,0 krat 15,5 km).

so natančneje opisani v člankih Podobnikarja (2005 in 2008b), medtem ko druge podrobnosti in širši pogled na postopek določitve vrhov opisujemo v nadaljevanju.

Metodologija temelji na omenjenem pridobivanju potencialnih ploskev različnih značilnosti vrhov glede na večje število klasificiranih zveznih spremenljivk (in indeksov). Najprej generiramo zvezne spremenljivke, kot so nakloni, ukrivljenosti in druge, pomembne za opis geomorfoloških značilnosti vršin. Spremenljivke dokumentirajo vzorce in pojave v prostoru (Haining 2003). Izdelava temelji na različnih operacijah prostorskih analiz pri uporabi DMV-ja (Burrough in McDonnell 1998). Pri tem upoštevamo vplivna območja različnih mer, ki omogočajo opis določenih geomorfoloških značilnosti vršin (Podobnikar 2005 in 2008b).

Dvojiške indekse, ki opisujejo značilna območja, izračunamo s pretvorbo zveznih spremenljivk v dvojiške glede na izbran prag. Pri določitvi pragu si pomagamo z različnimi pristopi, kot so analize histogramov, z metodami s katerimi poiščemo možno rešitev, jo uporabimo za problem ter preizkusimo njeno uspešnost, predvsem pa z izkušnjami pri kombinaciji metod in oceni rezultatov. Vsakega izmed indeksov šifriramo z dvomestno kodo, ki opisuje značilnosti kot sta merilo (pomembnost vrha) in oblika vrhov. Vrhovi imajo lahko več kod za isti indeks, ki predstavljajo več značilnosti vrhov, na primer ostri in stožčasti hkrati.

V preglednici 1 je prikazano, da je na primer podolgovat (vsakršen) vrh šifriran z dvomestno kodo 23, ki je sestavljena iz oznake za kategoriji 1 in 2.

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

oznaka kategorije	kategorija 1 (merilo)	kategorija 2 (oblika)
1	regionalen	ostri vrh
2	(običajen)	kopasti vrh
3	–	podolgovati vrh
4	–	stožčasti vrh
5	–	vsakršni (nedefinirani) vrh

Glede na značilnost vrha, ki jo obravnavamo, izberemo indekse glede na ustrezno kodo. Indekse, ki preostanejo po preverjanju odvisnosti med posameznimi indeksi (pri čemer soodvisne izločimo), kombiniramo med seboj za izračun potencialne ploskve (Husdal 2002). Potencialne ploskve alternativno izračunamo glede na primerno uravnotežen histogram normaliziranih vrednosti izbranih zveznih spremenljivk. Višja je vrednost na potencialni ploskvi, večja je možnost, da najdemo vrh z iskanimi lastnostmi.

Na študijskem območju smo izmed velikega števila izbrali 25 indeksov, primernih za napovedovanje (glej tudi Podobnikar 2005 in 2008b). Posamezne potencialne ploskve smo izračunali s seštevanjem izbranih indeksov (ali normaliziranih zveznih ploskev) za naslednje kode: 13, 14, 15, 21, 22, 23, 24 in 25 (glede na preglednico 1).

Slika 3 prikazuje potencialno ploskev za kodo 25, določeno iz (normaliziranih) zveznih spremenljivk vsakršnih (običajnih) vrhov (preglednica 1).

Numerično kakovost določitve vrhov lahko povečamo s primerjalno analizo rezultatov 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 medsebojno kontrolo. Hkrati pripomore k izboljšanju izbora vrhov ter k natančnejšemu ter obširnejšemu opisu oblike vršin. Zanimiva sta dva načina povezave obeh kriterijev, in sicer kot dodaten izbor točk vrhov (izračunanih po topografskih kriterijih) pri uporabi geomorfoloških kriterijev in označitev oblike vrhov z analizo potencialnih ploskev v okolici točk vrhov (glej tudi Podobnikar 2008a).

## 5 Interpretacija rezultatov

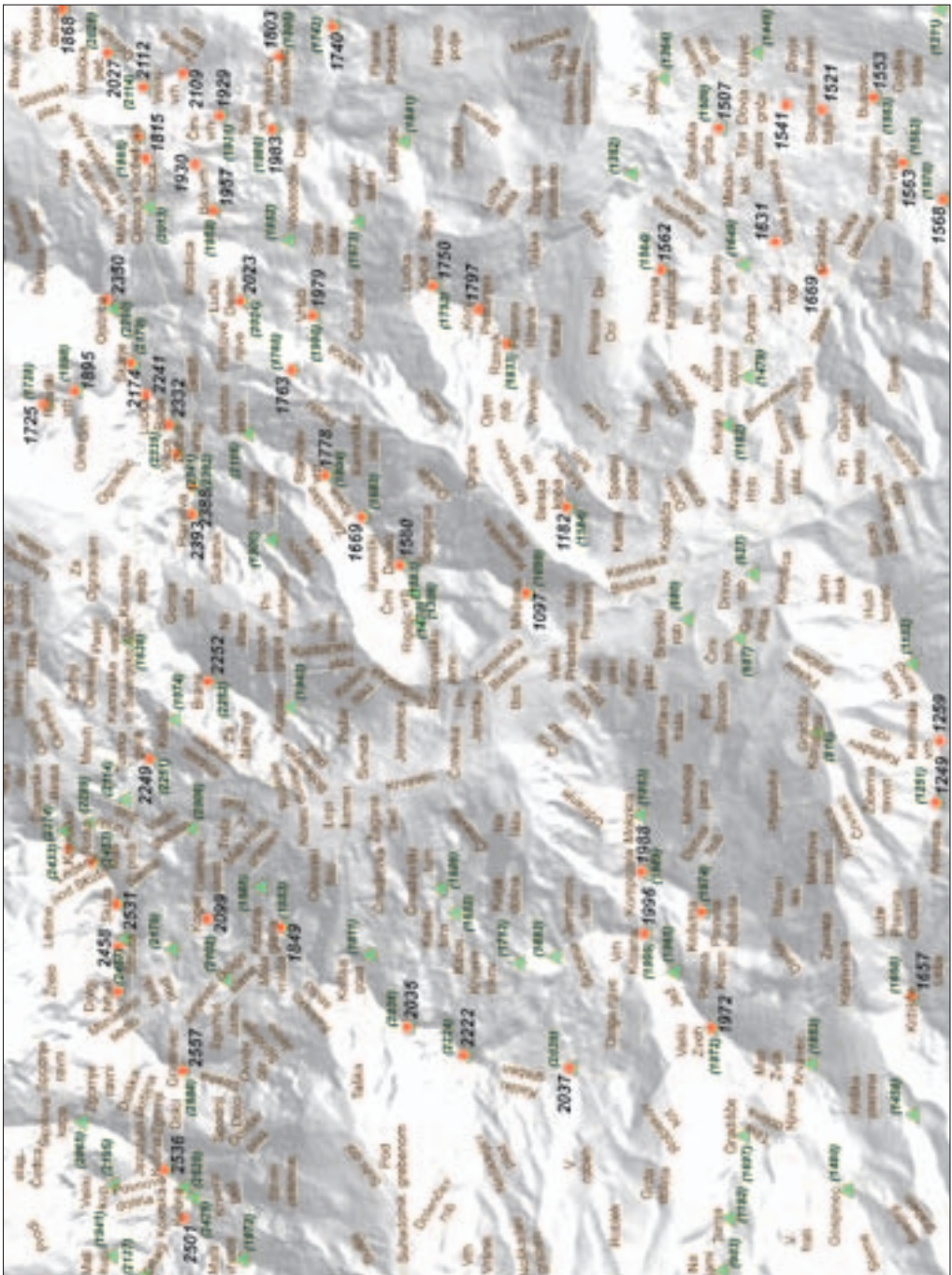
Oceno o uspešnosti samodejne uporabe topografskih in geomorfoloških kriterijev podkrepimo z interpretacijo rezultatov. Slika 4 prikazuje primerjavo vrhov s kotami topografske karte DTK 25 in z registrom zemljepisnih imen REZI 25 (Geodetska uprava ... 2005). Višine vrhov so izračunane neposredno iz DMV-ja 12,5, 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.

Vrhove nad 2000 m nadmorske višine podkrepimo s spiskom dvatisočakov Kamniško-Savinjskih Alp, ki vsebuje 41 vrhov (Spisek 1; medmrežje 4) in z novejšim z 48 vrhovi (Spisek 2; Kern in Cuderman 2001). Med samodejno pridobljenimi vrhovi smo identificirali 42 dvatisočakov (Spisek 3). 11 od 41 vrhov ali približno četrtino vrhov s Spiska 1 nismo identificirali kot vrhove Spiska 3 (preglednica 2). Za primerjavo smo kontrolirali oba obstoječa spiska med seboj: 12 od 42 vrhov, ki jih ni v Spisku 1, smo našli v Spisku 2, 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) primerljive kakovosti.

*Preglednica 2: Spisek 41 dvatisočakov Kamniško-Savinjskih Alp z imeni in višinami v metrih (Spisek 1; medmrežje 4). V mastnem tisku so vrhovi, ki se ne ujemajo s samodejno določenimi vrhovi iz Spiska 3.*

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

Izvedli smo enostavno primerjavo vrhov s toponimi iz zbirke REZI 25 (Geodetska uprava ... 2005). Nekatera imena vrhov namreč etimološko veliko povedo o obliki vrhov, kot so na primer Ojstrica, Kopa, Planjava, Tolsti vrh, Storžič in Grintovec. Zanimiva je tudi interpretacija slike 3, ki kaže na to, da so najizrazitejši vrhovi v Kamniško-Savinjskih Alpah Storžič (zahodno od vidnega območja na sliki 3), Kozji vrh, Grintovec, Goli vrh, Skuta, Brana in Ojstrica. Prav v vseh primerih se kot pomemben pojavlja Grintovec, ki je hkrati najvišji vrh Kamniško-Savinjskih Alp. Kljub vsemu pa Grintovec po gorniških kriterijih morda ni najpomembnejši vrh, saj je po eni strani geološko »grintav«, po drugi pa je glede na tipična opazovališča relativno skrit za drugimi, nekoliko nižjimi vrhovi. Zanimivo je analizirati visoki planoti, Veliko in Menino planino, ki sta relativno izraziti na potencialni ploskvi vrhov (slika 3). V obeh



Slika 4: Vizualizacija numeričnega generiranja točk vrhov (rdeče pike z višinami), kote vrhov iz DTK 25 (zeleni trikotniki z višinami v oklepajih) in z zemljepisna imena iz REZI 25 (območje 13,0 krat 9,5 km).



primerih velja, da gre za gruči (manjših) kopastih vrhov oziroma za rahlo valovito in izpostavljeno visokogorsko pokrajino.

## 6 Sklep

Opisali in potrdili smo tezo, da lahko pri numeričnem pristopu oziroma s samodejnimi analizami v prostoru izvajamo določene standarde za določitev vrhov kot vršin. S topografskimi kriteriji določimo vrhove, ki so za določeno mero nad okolico, z geomorfološkimi pa z opisom oblike okolice vrhov (vršin) dodatno podpremo določanje vrhov. Opredelitev vrhov po obeh kriterijih smo samodejno izvajali glede na alpinistične mednarodne standarde. Največji potencialni problem pri samodejni določitvi vrhov so izjeme, na katere naletimo. Teh v naravi ne zmanjka, ko se začnemo spuščati v podrobnosti. Narava problema je podobna kartografski generalizaciji, ki jo lahko do večje mere uspešno avtomatiziramo, vseh izjem pa praktično ni mogoče opisati in upoštevati. Za razumevanje izjem je ključni dejavnik še vedno človek. V konkretnem primeru preostane ocena pristranske (in analogne) narave le še vedno za končno tehtanje in za odločitve o zadostitvi prepoznanih vrhov vsem ali morda samo bistvenim kriterijem. Robustnost in kakovost predlagane metodologije opisa vrhov smo ocenili in potrdili z uporabo DMV-jev različnih ločljivosti ob primerno generaliziranih značilnostih površja. Ocenjujemo, da smo s predlagano rešitvijo problema povečali kakovost prepoznavanja vrhov različnih oblik.

### Zahvala

*Večina tehnik za opis vrhov je nastala leta 2001 kot eden izmed hobijev, s katerim sem nadaljeval razvoj metod za integracijo podatkov za izdelavo digitalnega modela reliefa na ZRC 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 Republike Slovenije.*

## 7 Viri in literatura

- Badjura, R. 1953: Ljudska geografija: Terensko izrazoslovje. Ljubljana.
- Burrough, P. A., McDonnell, R. A. 1998: Principles of Geographical Systems Information Systems: Spatial Information Systems and Geostatistics. Oxford.
- Gea 2002: Kaj je gora: Tema meseca: Mednarodno leto gora 2002. Gea, april. Ljubljana.
- Geodetska uprava Republike Slovenije 2005: 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.
- Husdal, J. 2002: How to use IDRISI GIS for decision making. Medmrežje: <http://www.husdal.com/blog/2002/09/how-to-use-idri.html> (7. 12. 2007).
- Kern, M., Cuderman, M. 2001: Projekt 2000: Slovenski dvatisočaki. Medmrežje: [http://www2.arnes.si/~mcuder/2000/2000\\_projekt.html](http://www2.arnes.si/~mcuder/2000/2000_projekt.html) (7. 12. 2007).
- Krevs, M. 1992: Iskanje lokalnih ekstremov na DMR. Geografski vestnik 64. Ljubljana. Medmrežje 1: <http://www.club4000.it/elenco.html> (7. 12. 2007).
- Medmrežje 2: <http://www.lamontagnanonperdona.com/Bollettinouiaa.htm> (7. 12. 2007).
- Medmrežje 3: <http://www.peakware.com/> (7. 12. 2007).
- Medmrežje 4: <http://staro.gore-ljudje.net/geo/si/2-tis1.htm> (18. 8. 2007).
- Medmrežje 5: <http://www.uiaa.ch> (7. 12. 2007).
- Medmrežje 6: <http://www.unep-wcmc.org/habitats/mountains/background.htm> (7. 12. 2007).

- Podobnikar, T. 2002: Model zemeljskega površja – DMR ali DMV? *Geodetski vestnik* 46-4. Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2005: Production of integrated digital terrain model from multiple datasets of different quality. *International journal of geographical information science* 19-1. London.
- Podobnikar, T. 2008a: Določitev značilnih gorskih vrhov in analiza njegovih oblik. *Geodetski vestnik* 52-1. Ljubljana.
- Podobnikar, T. 2008b: Enhancing terrain features for improved cartographic visualisation. *Second International Conference on Cartography & GIS, Proceedings 1*. Borovec.
- SSKJ 1970–1991: Slovar slovenskega knjižnega jezika. Ljubljana.
- Székely, B. 2003: The Eastern Alps in an envelope – an estimation on the »missing volume«. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie* 230. Stuttgart.

## 8 Summary: Topographical and geomorphic determination of summits and shapes' analysis

(translated by the author)

The study focuses on detecting the points of summits and analysing surroundings to determine their shapes. For the conception »summit« (peak) and its surrounding as a rising ground or mountain, more meanings in semantic sense can be found. The meanings tend to be subjective in their nature. The mountain can be defined as relationship between suitable heights, slopes and relative heights. Summits can be defined as prominent upper part of the mountains; as the highest point of the mountain; as a point that arises a certain degree above its surroundings, etc. A particular summit should have a certain amount autonomy and individuality. For more technical determination of the summits can be considered the international standards of alpinists where the rules are formulated according to the following criteria: topographic, geomorphic and alpinistic (mountaineering's) definition of features.

Several methods have been developed. The topographic and geomorphic criteria were handled with automated algorithms. The locations of summit points and potential surfaces of the summits were calculated, and shapes of sharp, blunt, oblong and conical summits were identified and analysed. A digital terrain model (DTM) was used as data set for applying numerical algorithms. The alpinistic criterion considers the importance of summits based on inspection of terrain as a subjective perception of humans. This was used for additional evaluation of the applied algorithms.

For fulfilling the topographic criterion the following algorithm is proposed: (1) calculation of local summits; (2) selection of summits that are not on flat areas; (3) applying a minimum horizontal distance between summits; (4) and applying a relative height of summits. In the each step of the procedure one more criteria was considered on the data of previous step. The number of points decreased in each step, for example: 37,218 (as local summits), 3493, 2529, and 366 (as finally topographically determined summits). Additionally, 3 summits that consider all mountain range were determined as regional.

The determination of summits using geomorphic criteria was carried out by calculating continuous spatial functions called potential surfaces. At the beginning continuous (descriptive) variables were generated that are important for the geomorphic description of areas around the summits. Binary indexes that may describe the areas around the summits were calculated by classification of continuous variables using »trial and error« methods. The next step was explaining the indexes for later selection as independent to each other and suitable for the particular potential surface calculation (according to significance and shapes). Among the large number of indexes 25 were selected to be significant for prediction.

The determined locations and shapes of the summits were compared to two textual lists of summits positions and heights. Number and locations of the summits determined by automatic methods was not more dissimilar to (two lists) reference data, than the various subjective human-based methods differentiate to each other. Additionally the geomorphic aspect was tested as comparison of automatically computed summits' shapes with the toponyms from a database of geographical names. Etymology

of toponyms can explain the shapes and other characteristics of the summits. Advantages of the automated approaches are that the parameters are standardised and the results are more comparative, more objective, and therefore of higher quality. We estimate that proposed developed methods increased the quality of identification of summits and explained some of the summits' shapes. The procedures have been fully implemented for the area of Kamnik Alps using a DTM of Slovenia with resolution of 12.5, 25 and 100 m.

