

**METODE    *METHODS*    *METHODE***

UDK 911.2:551.4.002

**ISKANJE LOKALNIH RELIEFNIH EKSTREMOV NA DMR**

**Marko Krevs<sup>\*</sup>**

*Izvleček*

*Iskanje lokalnih reliefnih ekstremov je eden prvih korakov k "avtomatski morfometrični analizi". Na podlagi uporabe različnih metod na treh izbranih območjih poskuša avtor priti do nekaterih osnovnih spoznanj o njihovi uporabi in nadaljnjem razvoju.*

*Ključne besede: "avtomatska" morfometrična analiza, digitalni model reliefa (DMR), lokalni reliefni ekstremi.*

**THE RECOGNITION OF LOCAL SURFACE EXTREMES  
ON DEM**

*Abstract*

*The recognition of local surface extremes is one of the first steps towards the "automatic morfometric analysis". On the basis of the appli-*

---

<sup>\*</sup> dipl.geogr., Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva 2, 61000 Ljubljana

*cation of different methods on three cases, the autor searches for some basic knowledge about their use and their further development.*

*Key words: "automatic" morfometric analisys, digital elevation model (DEM), local surface extremes.*

Morfometrija ali morfografija (prikaz reliefnih oblik) je poglavitna naloga in osnova vsakega geomorfološkega kartiranja (Gams 1968, 75). Ker zahteva ročna morfometrična analiza izredno veliko delovnega časa izkušenega geomorfologa (Gams 1968, 74; Natek 1983, 76), se zdi "avtomatska morfometrična analiza" sen vsakogar, ki se ukvarja z geomorfološkim kartiranjem. Slovenski geomorfologi (Natek 1983, 77-82) se zavedajo koristi, ki bi jih lahko prinesla. Pred desetimi leti je ta sen morda izgledal še nedosegljivo daleč, danes pa ga lahko začnemo postopoma uresničevati. To nam omogočajo predvsem izkušnje pri razvoju domačega znanja, metod in računalniških programov (npr. Gabrovec & Krevs 1987-1990; Krevs 1989; Krevs 1992 a) ter razvoj geografskih informacijskih sistemov (GIS), s katerimi so rezultati našega dosedanjega dela povezljivi.

Prve izkušnje na področju "avtomatskega" ugotavljanja značilnosti reliefa je prinesla uporaba digitalnega modela reliefa (DMR) na različnih geografskih področjih (npr. Bat 1989; Gabrovec 1990; Perko 1991). S tem pa možnosti uporabe DMR v geografiji oziroma geomorfologiji niso izčrpane. Med večletnim sodelovanjem avtorja z raziskovalci na področju geomorfologije, v zadnjem času pa tudi klimatogeografije (Žiberna 1992), se je pokazala možnost in tudi želja po razpoznavanju nekaterih reliefnih oblik oziroma "elementov" neposredno iz DMR.

V prispevku si bomo ogledali nekaj prvih korakov v to smer. V dostopni domači in tuji literaturi avtor ni zasledil tovrstnih poskusov. Izjema je prispevek skupine raziskovalcev s Havajske univerze (Futch & Chin & McGranagh & Lay 1992), ki pa so tudi šele v začetni fazi razvoja metodologije. Na primeru iskanja lokalnih reliefnih ekstremov (od tukaj naprej v besedilu: ekstremov) bomo spoznali nekatere probleme, ki se pojavljajo pri izbiri ustreznih postopkov ter poskusili podati nekaj temeljnih napotkov za njihovo uporabo in nadaljnji razvoj. Rezultate

uporabe metod bomo prikazali le na podatkih DMR 100x100 metrov, ker smo jih imeli že zbrane. Naše izsledke pa bomo lahko s pridom uporabili tudi na podatkih z večjo ločljivostjo.

### Lokalni reliefni ekstremi

Omejili smo se na dva nasprotna si "reliefna elementa" - lokalne reliefne minimume in lokalne reliefne maksimume (od tukaj naprej v besedilu: minimumi oziroma maksimumi). Šele z nadaljnjo analizo bomo ugotavljali, ali gre za dna dolin, kraških polj, za terase, slemena, vrhove in podobno. O tovrstnih spoznanjih bomo poročali vzporedno z razvojem metodologije na tem področju. Že v prvem koraku, ki ga opisuje naš prispevek, pa se pokaže vrsta problemov in zahtev, ki jih moramo spoznati in rešiti še preden se odločimo za podrobnejšo analizo.

Najbolj groba opredelitev lokalnih reliefnih minimumov je naslednja: to so območja, za katera velja, da leže nižje od površja v okolici. Za lokalne reliefne maksimume analogno zapišemo: to so območja, ki leže višje od površja v okolici. V konkretnem primeru moramo odgovoriti na dva sklopa vprašanj:

- 1) kako bomo opredelili "lokalnost", t.j.:
  - kako obsežno bomo opredelili okolico posameznega preučevanega območja (v našem primeru celice 100x100 metrov),
  - kakšne oblike bo ta okolica,
  - ali bomo v obravnavo vzeli vse celice v okolici, ali le izbrane med njimi;
- 2) kako bomo opredelili reliefno obliko, ki jo iščemo:
  - v koliko smereh (in v katerih) glede na obravnavano celico mora biti izpolnjena postavljena zahteva v zvezi z ekstremom,
  - kolikšna odstopanja od zahtev glede celic v okolici še toleriramo.

Oglejmo si nekaj možnih opredelitev minimumov (definicije maksimumov so jim analogne). Območje, za katerega preverjamo veljavnost postavljenih zahtev, je vsaka posamezna celica v DMR. Vse celice, ki jih

štejemo v okolico obravnavane celice, imenujmo kar okolica. Z reliefnimi depresijami v preglednici označujemo vse konkavne reliefne oblike ("vdolbine"). S kolikih strani so omejene z višjim svetom, določimo z izbrano opredelitvijo minimuma. Območje (celica) je lokalni reliefni minimum, če:

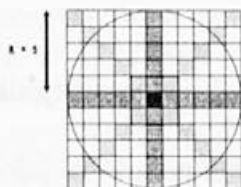
DEFINICIJA NEGA MINIMUMA	LOKALNEGA RELIEF-	MOŽNI RAZLAGA	REZULTATI oz.
A) je okolica v vseh smereh višja od nje		-najgloblje ležeča celica v "reliefnem lijaku", ki ima natanko eno celico na dnu (če sta dve ali več, ni zadoščeno zahtevi, da morajo biti vse višje)	
B) so vse celice v vseh smereh v okolici višje ali enako visoke		-dna reliefnih depresij ustrezne (ali višje) razsežnosti, ki so vodoravna, vključno z robom, kjer se dno začne vzpenjati	
C) so vsaj v dveh nasprotnih si smereh (od obravnavane celice navzven v okolico) vse celice višje		-poišče le za natančno eno celico široka dna dolin	
D) so vsaj v dveh nasprotnih si smereh (od obravnavane celice navzven v okolico) vse celice višje ali enako visoke		-poleg tistih pod b tudi dna ožjih dolin z ravnim ali nagnjenim dnom, ter "sedla", kjer se dolini "razte- kata" v nasprotni si smeri	
E) je okolica v povprečju višja od nje		-ne sloni na obliki, ampak na povprečnih značilnostih oblikovanosti reliefa; ublažen vpliv posameznih odstopanj	
F) je okolica v povprečju višja od nje, hkrati pa nobena od celic ni nižja, kot ploskev, ki omejuje še sprejemljiv "tolerančni kot" med vodoravno ravnino in to ploskvijo, gledano iz obravnavane celice		-izmed tistih pod e izloči celice, pri katerih katera izmed celic v okolici "preveč" odstopa od postavljene meje tolerance	
G) so celice vsaj v eni smeri (od obravnavane celice navzven v okolico) višje (ali enako visoke), kot obravnavana celica		-pri strožjem kriteriju dobimo vse celice, ki so na dnu ali na pobočju in ne na njegovem vrhu; pri ohlapnejšem kriteriju še vse celice, ki ležijo v vodoravni ravnini	
H) so celice vsaj v eni smeri (od obravnavane celice navzven v okolico) višje (ali enako visoke), kot obravnavana celica, nobena izmed celic v okolici pa ni nižja, kot ploskev, ki omejuje še sprejemljiv "tolerančni kot" (glej f)		-izmed tistih pod g izloči celice, pri katerih katera izmed celic v okolici "preveč" odstopa od postavljene meje tolerance nobena izmed celic v okolici pa ni nižja, kot ploskev, ki omejuje še sprejemljiv "tolerančni kot" (glej f)	

K tem opredelitvam lahko dodamo še vrsto variant z drugačnimi ali novimi kriteriji. V naših obravnavah smo npr. uporabili še en dodaten kriterij, ki ga ni med zgornjimi: če je bilo zadoščeno "tolerančnemu kriteriju" (npr. pri opredelitvi H), ne pa kriteriju za določitev samega minimuma, smo pregledali še sosednje celice, če je katera od njih minimum ("upoštevanje sosedsstva"). V tem primeru je tudi obravnavana celica dobila status lokalnega reliefnega minimuma.

Nekoliko podrobneje si oglejmo še izbiro "oblike" in velikosti "okolice" posameznih obravnavanih celic ter določitev "tolerančnega kota".

Najpogostejša oblika "okolice" obravnavane celice je kvadratna (z obravnavano celico na sredini). V GIS se takšna "drseča območja" imenujejo filtri, ker na posamezno celico gledamo "skozi" celice v njeni bolj ali manj bližnji okolici.

Najdoslednejši postopek bi bil, če bi za vsako celico obravnavali vse celice v njeni okolici (npr. na območju takega filtra). Če pa je okolica obsežna, to pomeni zelo veliko računalnikovega dela, ne da bi prišli do bistveno boljših rezultatov, kot z "zvezdastimi" filtri. Pri slednjih določimo, v koliko med seboj za enak kot razmaknjenih smeri od obravnavane celice navzven bomo nabirali celice, ki nam bodo predstavljale "okolico". Zemeljsko površje praviloma ni tako nepravilnih oblik, da jih ne bi zaznali s tako poenostavljenim filtrom. Običajno iščemo v 4 (proti severu, vzhodu, jugu in zahodu) ali v 8 smereh (še po vmesnih "diagonalnih" smereh). Pri "zvezdastih" filtrih se moramo med drugim zavedati, da s širjenjem "okolice" (t.j. velikosti filtra) zanemarjamo vse večji delež celic (na skici so bele barve), ki dejansko ležijo v tej "okolici". Iz tabele je razvidno, kako z velikostjo R narašča delež neupoštevanih površin.



V večini naših obdelav smo uporabili zvezdaste filtre v 8 smeri, vendar ne kvadratne, temveč okrogle oblike. Tako smo zajeli v obravnavo le tiste izmed obarvanih celic na skici, katerih vsaj polovica površine leži znotraj narisane kroga.

R	P4 %	P8 %	
1	56	100	$P4 = 100 \frac{2(2R + 1) - 1}{(2R+1)^2}$
2	36	68	
3	27	51	
4	21	41	
5	17	34	$P8 = 100 \frac{4(2R + 1) - 3}{(2R+1)^2}$
6	15	29	
7	13	25	
itd.			

Pojasnilo: P4 predstavlja delež celic v kvadratu z osnovnico  $(2R+1)$ , ki so upoštewane v računih pri filtru v 4 smeri; P8 predstavlja delež celic v kvadratu z osnovnico  $(2R+1)$ , ki so upoštewane v računih pri filtru v 8 smeri.

Določitev velikosti "okolice" (R) je predvsem vsebinske narave. Manjša ko je, bolj je občutljiva na drobne reliefne oblike; bolj ko je obsežna, manj so rešitve "lokalne". Na DMR s podrobno mrežo podatkov (npr. 10x10 metrov) bi npr. lahko z  $R=1$  iskali celo relativno majhne vrtače. Pri iskanju večjih reliefnih depresij, npr. potencialnih območij zadrževanja večjih jezer hladnega zraka (Žiberna 1992), pa izberemo večji R in s tem preverjamo veljavnost postavljenega kriterija v širši okolici.

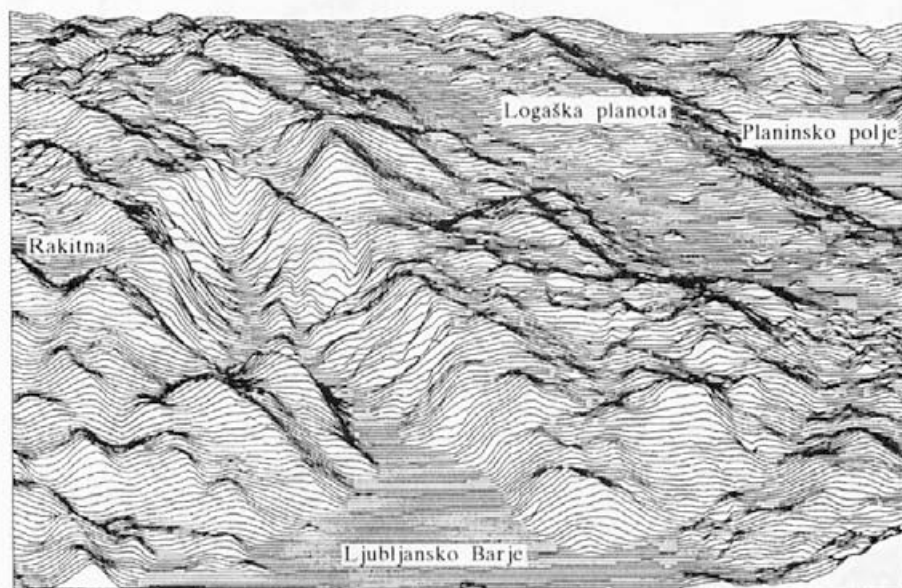
"Tolerančni kot" (TK) določimo z namenom, da med minimume (ali analogno med maksimume) uvrstimo tudi celice, za katere velja, da je lahko neka celica v "okolici" tudi nižja, vendar ne za več, kot določimo s tem kotom. To pomeni, da poiščemo npr. tudi celice na dnu dolin, nagnjenem za manj, kot znaša TK.

### Prve ugotovitve o uporabljenih metodah

Za analize smo uporabili podatke za jugozahodno obrobje Ljubljanskega Barja, za del Polhograjskega hribovja ter za osrednji del Slovenskih goric. Večina prikazanih rezultatov se nanaša le na prvo območje, zato je zaradi lažje predstave prikazano na sl. 1.

Uporabili smo definicije B, F in H (slednjo tudi z varianto s preverjanjem neposredno sosednjih celic), različne velikosti "okolice" ( $R=100$ ,

200 oziroma 500 metrov) ter različne "tolerančne kote" (TK=2, 5 oziroma 10 stopinj). Oglejmo si le nekatere izmed številnih slik in tabel ter podčrtajmo nekaj glavnih ugotovitev. Navedene oznake za metode in njihove parametre se nanašajo na opise v prejšnjem poglavju. Avtor se bralcem opravičuje, ker je zaradi primerjav številnih metod jezik predstavitve zelo "tehničen".

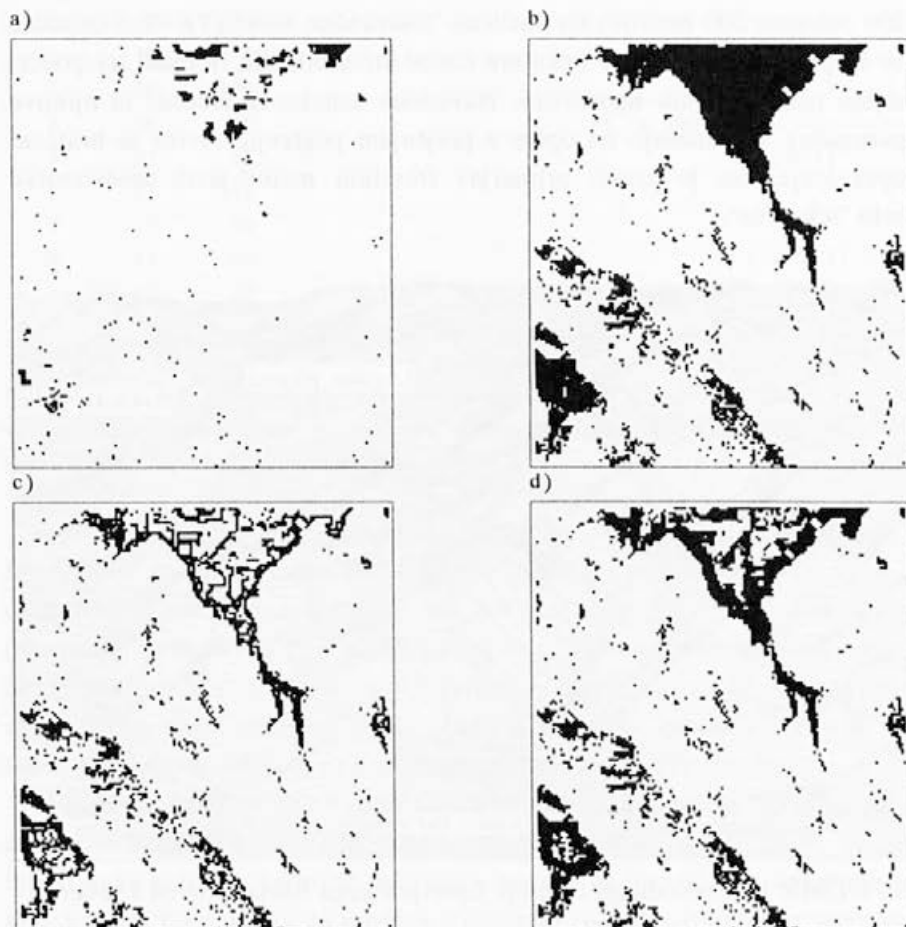


Sl. 1: DMR jugozahodnega obrobja Ljubljanskega Barja (pogled s severa).

Tab. 1: Deleži celic, ki so ekstremi, od vseh celic na obravnavanem območju jugozahodnega obrobja Barja, po uporabi različnih definicij ekstremov (R=500 m; TK za F in H je 2 stopinji - glej razlago v besedilu.)

Definicija	% minimumov	% maksimumov	% min & max*
B	2.36	1.81	0.00
F	13.32	4.62	0.00
H brez sosed.	10.50	3.43	0.17
H s sosed.	16.40	7.79	5.63

\* Delež celic, ki jih metoda določi hkrati za minimum in maksimum, od vseh celic.



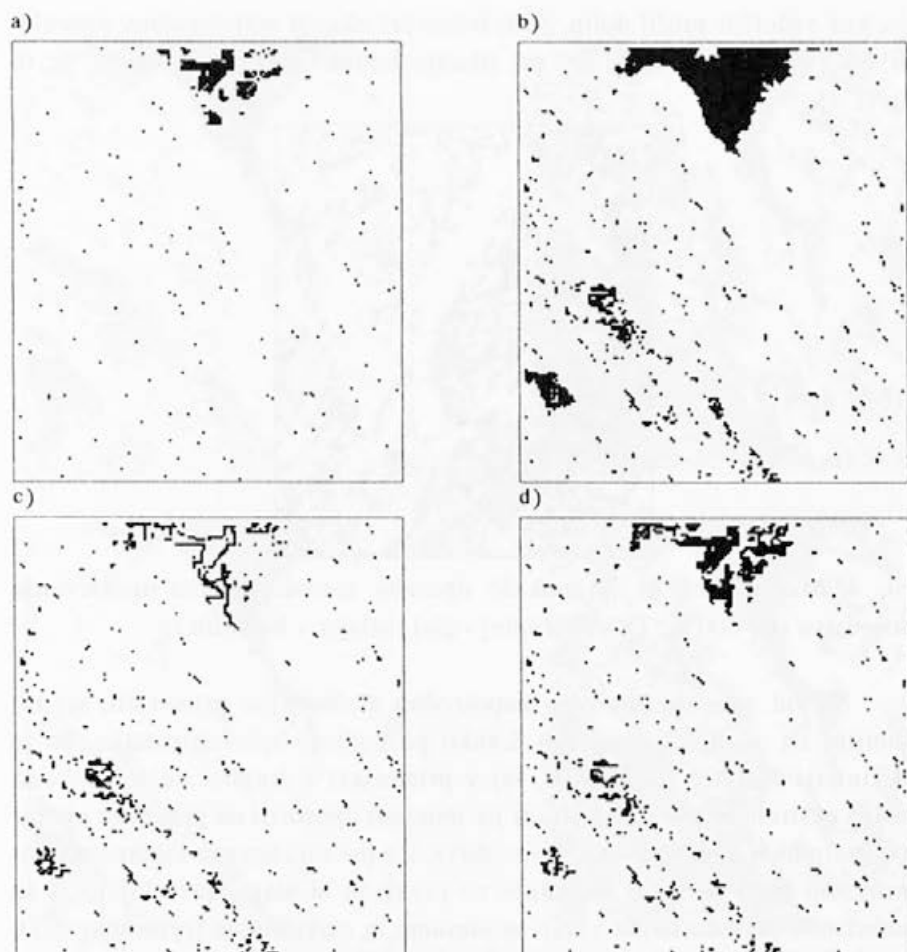
- a) definicija B,  
b) definicija H z upoštevanjem sosedstva,  
c) definicija H brez upoštevanja sosedstva,  
d) definicija F

( $R=500$  m, TK za b, c in d je 2 stopinji – glej razlago v besedilu.)

Sl. 2: Rezultati uporabe različnih definicij minimumov na jugozahodnem obrobju Ljubljanskega Barja

Vsi postopki (pri enakih R in TK) najdejo znatno več minimumov, kot maksimumov (tab. 1, sl. 2 in 3). To velja za vsa obravnavana območja (tab. 3) - tako za kraško in fluviokraško obrobje Barja, kot za predalpsko Polhograjsko hribovje in terciarne subpanonske Slovenske gorice. Vzrok





a) definicija B

b) definicija H z upoštevanjem sosedstva

c) definicija H brez upoštevanja sosedstva

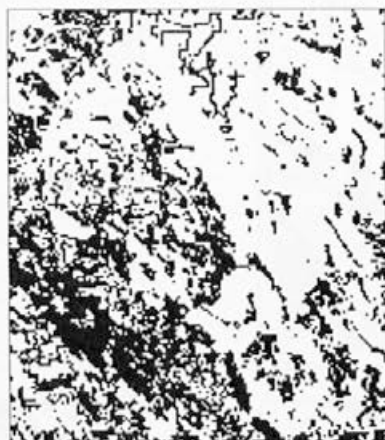
d) definicija F

( $R=500$  m, TK za b, c in d je 2 stopinji – glej razlago v besedilu.)

Sl. 3: Rezultati uporabe različnih definicij maksimumov

tiči v manjši razgibanosti površja na območjih minimumov (manjši nakloni, blažji prehodi v pobočja). Pri maksimumih v povprečju niso bolj strma le pobočja na obeh straneh slemen ali vrhov v primerjavi z dolinskimi pobočji, temveč se tudi višina samih slemen spreminja precej intenzivne-

je, kot vzdolžni profil dolin. Zato bomo pri iskanju maksimumov uporabili večji "tolerančni kot", kot pri iskanju minimumov (primerjaj sl. 3c in in sl. 4).

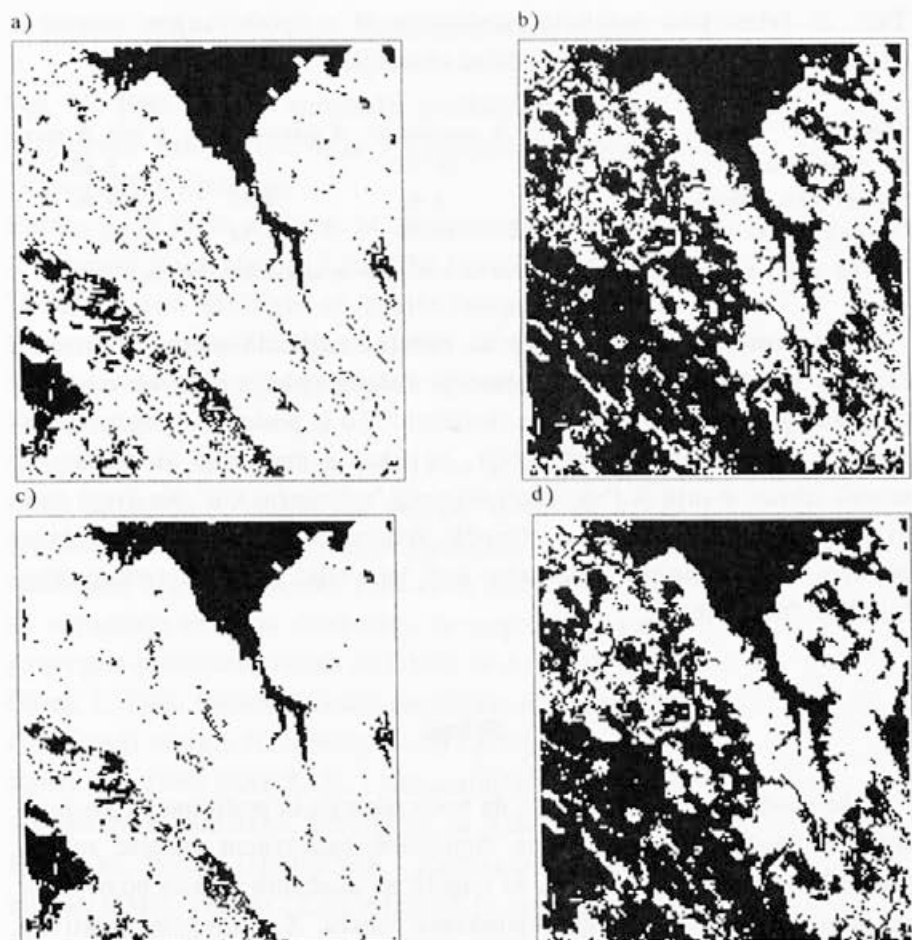


Sl. 4: Maksimumi, ki jih pokaže uporaba metode H brez upoštevanja sosedstva ( $R=500$  m,  $TK=10$  stopinj - glej razlago v besedilu.)

Metod sicer ne moremo neposredno medsebojno primerjati, saj temeljijo na različnih kriterijih. Lahko pa podamo splošno oznako, da je definicija B daleč "najstrožja", saj v primerjavi z drugimi najde bistveno manj ekstremov. Na drugi strani pa moramo opozoriti na previdno uporabo metode H z upoštevanjem sosedstva. Že pri sorazmerno majhnem tolerančnem kotu se zgodi naslednje: na ravninah in blago spreminjajočih se površinah metoda najde hkrati minimume in maksimume (primerjaj sl. 2b in 3b ter tabele 1,2 in 3).

Za "splošnejše" geografske potrebe bi lahko priporočili uporabo definicije F (zanesljivo ločuje minimume od maksimumov), medtem ko bomo za razpoznavanje reliefnih oblik uporabljali in naprej izpopolnjevali definicije tipa H.

Praviloma uporaba širše "okolice" (večjega  $R$ ) pomeni manjše število najdenih ekstremov (tab. 2). To v našem primeru ni veljalo le pri uporabi definicije F za iskanje minimumov. Veliko bolj drastičen učinek na število najdenih ekstremov pa ima lahko izbor velikega "tolerančnega kota", saj lahko na tak način npr. k ravninam priključimo tudi že kar strma pobočja (sl. 5: med b in d skoraj ni razlike!).



Sl. 5: Minimumi, ki jih pokaže uporaba metode H z upoštevanjem sosedstva pri polmeru "okolice" 100 oziroma 500 metrov ter "tolerančnem kotu" 2 oziroma 10 stopinj (glej razlago v besedilu)

Tab. 2: Primerjava rezultatov definicije H z upoštevanjem sosedstva za različne polmere okolice (TK=2 stopinji).

Polmer	% minimumov	% maksimumov	% min & max*
100 m	19.63	14.82	9.76
200 m	17.90	11.48	7.96
500 m	16.40	7.79	5.63

\* Delež celic, ki jih metoda določi hkrati za minimum in maksimum, od vseh celic.

Tab. 3: Primerjava rezultatov definicije H z upoštevanjem sosedstva ( $R=500$  m,  $TK=2$  stopinji) za različna območja.

Območje	% minimumov	% maksimumov	% min & max*
JZ obrobje Barja	16.40	7.79	5.63
Polhograjsko hribovje	3.01	0.97	0.00
Osrednje Slovenske gorice	49.54	39.54	32.24

\* Delež celic, ki jih metoda določi hkrati za minimum in maksimum, od vseh celic.

Isti postopek nam lahko da na reliefno različnih območjih izredno različne rezultate (tab. 3). Na območju Polhograjskega hribovja najdemo z uporabljeno metodo zelo malo ekstremov. To je posledica izrazito intenzivnega spreminjanja površja. Npr. za iskanje dna dolin ali slemen bi morali izbrati manjši  $R$  ("okolico") ter večji "tolerančni kot". Na drugi strani pa je površje v osrednjem območju Slovenskih goric tako blago, da se zdi tudi le 2 stopinjski "tolerančni kot" "prevelik" in 500-metrski polmer "okolice" "premajhen".

### Sklepi

Še pred nekaj leti je kazalo, da bodo resnejše in podrobnejše geomorfološke analize mogoče le na digitalnem točkovnem modelu reliefa (DTMR) (Natek 1983, str. 80), ki temelji na značilnih točkah površja ter se tako tudi dobro prilega dejanskemu reliefu. Z možnostmi relativno cenene pridobivanja rasterskih reliefnih podatkov (iz digitaliziranih ali skeniranih plastnic, satelitskih ali letalskih posnetkov), ki so lahko zelo podrobni, spet raste pomen metodam za analizo tovrstnih podatkov, ki so praviloma teoretično in praktično preprostejše od tistih za analizo DTMR.

Prve izkušnje z metodami za iskanje ekstremov na podlagi DMR kažejo, da sta pri njihovi izbiri izredno pomembni vnaprejšnja ocena glavnih značilnosti reliefa na obravnavanem območju in natančna opredelitev namena iskanja ekstremov. Za podrobnejšo "avtomatsko" morfometrično analizo pa bomo poleg dodatnih preučitev oblikovanosti površja morali poseči tudi po litoloških, hidrografskih in sorodnih podatkih.

### Viri in literatura

- Bat, M.**, 1989: Fizična geografija gorskega sveta (na izbranih primerih). - Magistrska naloga, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, Ljubljana
- Futch, S.**, & D. N. **Chin** & M. **McGranaghan** & J. -G. **Lay**, 1992: Spatial-Linguistic Reasoning in LEI (The Locality and Elevation Interpreter). - Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space, International Conference GIS - From Space to Territory, Pisa, Italia, Lecture Notes in Computer Science 639, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- Gabrovcc, M.**, 1990: Vloga reliefa za geomorfološko podobo Polhograjskega hribovja. - Magistrska naloga, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, Ljubljana
- Gabrovcc, M.**, & M. **Krevs**, 1987-1990: SONČEK. - Računalniški program za računanje energije direktnega in razpršenega sončnega obsevanja, ki ga prejme posamezna celica na DMR; za Atari ST in DEC-10
- Gams, I.**, 1968: Geomorfološko kartiranje na primeru Rakitne in Glinic. - Geografski vestnik XL (1968), 69-88, Ljubljana
- Krevs, M.**, 1989: MREŽAR. - Računalniški program za analizo večih slojev rasterskih podatkov, Verzija 3.5, za Atari ST
- Krevs, M.**, 1992 a: GEOMORF. - Računalniški program za geomorfološko analizo DMR, Verzija 1.2, za Atari ST (v razvoju) (pri avtorju)
- Krevs, M.**, 1992 b: Dokumentacija razvoja in preizkušanja metod za morfometrično analizo na podlagi DMR. - Tipkopis (pri avtorju)
- Natek, K.**, 1983: Metoda izdelave in uporabnost splošne geomorfološke karte. - Magistrska naloga, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, Ljubljana
- Perko, D.**, 1991: Digitalni model reliefa kot osnova za geografski informacijski sistem. - Geodetski vestnik, 35 (1991), 4, 269-275, Ljubljana
- Žiberna, Igor**, 1992: Nekaj primerov uporabe DMR pri analizi topoklime (na primeru dela Srednjih Slovenskih goríc). - Tipkopis, (v pripravi za objavo)

## THE RECOGNITION OF LOCAL SURFACE EXTREMES ON DEM

### Summary

On the basis of the comparison of different methods for the recognition of local surface extremes from the DEM, and the results of their application on the three cases, the autor tries to derive some basic instructions for their use and their further development. This is one of the first steps towards the "automatic morfo-metric analysys".