

DROBNO KRAŠKO POVRŠJE  
OB SEVEROVZHODNEM OBROBJU  
PLANINSKEGA POLJA

THE SMALL SCALE SURFACE KARST AND SOLUTION DOLINES  
AT THE NORTHEASTERN BORDER OF PLANINSKO POLJE

FRANCE ŠUŠTERŠIČ

**Izvleček**

UDK 551.448(497.12 Planinsko polje)

**Šušteršič France: Drobnó kraško površje ob severovzhodnem obrobju Planinskega polja**

Prikazani so prvi rezultati podrobnih raziskav morfologije površja in vrtač na obravnavanem ozemlju. V prvem delu razpravlja avtor o razčlenjenosti površja in meni, da je groba organizacija površja najbolj verjetno tektonska, brez znakov predhodnega oblikovanja. Glavna eksogena procesa sta kemično preperevanje in mehansko razpadanje, ki se izraža v vzporednem umiku pobočij. Pri analizi razporeda vrtač ugotavlja, da so gostote odsev litologije, vzorec prostorske razpostave pa verjetno sledi drobní razpokanosti kamnine. V sami oblikovanosti vrtač je našel sledove že omenjenih preoblikovalnih procesov, katerih učinke pa usmerjajo krajevne strukturne razmere.

**Abstract**

UDC 551.448(497.12 Planinsko polje)

**Šušteršič France: The small scale surface karst and solution dolines at the north-eastern border of Planinsko polje**

The first results of the detailed karst surface and solution dolines research in the area are presented. The Author first discusses the general surface organization and he states that it is entirely tectonical, without traces of any previous fluvial shaping. The master morphogenetic processes are chemical weathering and parallel slope retreat. When analysing the spatial distribution of dolines he argues that the density is controlled by lithology, whereas the distribution pattern depends on the fine rock fracturation. The proper morphology of the dolines reflects the previously mentioned processes, being controlled by local structural conditions.

Naslov — Address

dr. FRANCE ŠUŠTERŠIČ, dipl. ing. geol., znanstveni sodelavec  
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU  
66230 Postojna, Titov trg 2  
Jugoslavija

## UVOD

Geomorfološka literatura o slovenskem krasu ni ravno revna in kras je doživel vsaj dve sistematični obdelavi (A. Melik, 1963, P. Habič, 1982/a) po regionalni plati in eno po faktološki (D. Radinja, 1972). Vendar pa to velja predvsem za kraške oblike velikostnega reda nad nekaj stotin metrov, medtem ko je proučevanje drobnejših doslej stalo bolj ob strani. Redke tovrstne študije so kot vzorčni primeri praviloma vključene v drugače zasnovana dela (P. Habič, 1968, J. Kunaver, 1982), kar je v rezkem nasprotju z razmerami drugod (npr. S. Trudgill, 1985). Zatečeno stanje je kaj lahko razložljivo z obsežnostjo naših kraških ozemelj, kar usmerja pozornost k večjim oblikam oz. regionalnemu pristopu. Seveda pa ostaja vprašanje drobnejše oblikovanosti, oz. razčlenjenosti (P. Habič, 1986, 41) še odprto in opazka (o. c.) »da je treba kraško površje obravnavati celovito, ne le po posameznih kraških pojavih« ima tako popolno veljavo.

Zato smo ob severnem obrobju Planinskega polja zastavili eksperimentalni poligon, na katerem vršimo vsestranske geološke, speleološke in geomorfološke raziskave. V okviru slednjih smo se posvetili tako splošni oblikovanosti obravnavanega ozemlja, kot manjšim pojavom, predvsem vrtačam. Raziskave seveda še niso zaključene, vendar pa je že po nekaj letih bera izsledkov zelo bogata. Na tem mestu skušam podati prve rezultate geomorfoloških raziskav, vendar s pridržkom, da gre bolj za poglobljeno informacijo, kot za nizanje dokončnih izsledkov. Načeta problematika, ki jo nova dognanja še širijo, je tako obširna, da bo po mnogih plateh zahtevala podrobnejše obdelave.

Razprava tako načenja osnovno problematiko oblikovanosti delca kraškega površja ter razmestitev in oblikovanost tukajšnjih vrtač. Po kratkem orisu delovnega postopka slede poglavja o geomorfološki podobi našega ozemlja, o razmestitvi vrtač in o rezultatih podrobnega merjenja vrtač. Kolikor je v tem trenutku sploh mogoče, je povsod pridana tudi diskusija, tako da podajam v zaključnem poglavju predvsem iztočnice nadaljnjemu proučevanju.

## POTEK RAZISKAV

Raziskave, ki še tečejo, imajo prvenstveni namen zapolniti praznino, ki jo je nakazal Habič (1986), torej ugotoviti, ali doslej identificirani gradniki drobnega kraškega površja zadoščajo, da pokrijemo vso površino, oz. skušamo odkriti doslej zanemarjene. V nadaljnjem skušamo te ugotovitve izboljšati po formalni plati s terenskimi meritvami in numerično obdelavo podatkov, po vsebinski pa poglobiti tako, da jih primerjamo z geološkimi danostmi in učinki eksogene dinamike. Oba nakazana pristopa se dopolnjujeta in odpirata poglede

na posamezne doslej neopažene zakonitosti, ki jih je prav tako potrebno razložiti.

Terensko delo smo resneje zastavili v letu 1979. Raziskovalno območje smo načrtali tako, da smo zajeli površje nad najpomembnejšima odtočnima jamama Planinskega polja (Logarčkom in Najdeno jamo), istočasno pa tudi zajeli kontakt med litološko precej različnimi apnenci spodnje in zgornje krede. To ozemlje je tudi eno speleološko najbolj raziskanih v Sloveniji (I. Gams, 1963, F. Šušteršič, M. Puc, 1970, R. Gospodarič, 1982) in omogoča vsestransko primerjavo med geološkimi danostmi ter geomorfnimi in speleološkimi pojavi.

Razpoložljiva topografska karta merila 1 : 5000 se je izkazala še vedno za premalo natančno, da bi ustrezala postavljenim zahtevam. Zato smo premerili vse steze in poti na obravnavanem ozemlju in ponovno določili lege vseh vhodov v jame ter s temi podatki izpopolnili obstoječo karto. Na tej osnovi je bila najprej izdelana geološka karta (J. Čar, 1982), vzporedno z njo pa smo izvedli nekatere morfolometrične analize. Izdelali smo karto naklonov pobočij in skušali s pomočjo Fourierjeve analize po metodi faznih premikov (J. N. Rayner, 1971, 30) podrobneje locirati nivoje. Oba kvantitativna postopka sta pokazala, da o terasah ne moremo govoriti (F. Šušteršič, 1980), vendar je karta naklonov jasno izpostavila vse kasneje podrobneje izluščene značilnosti tukajšnjega reliefa.

Geomorfološko kartiranje je sledilo geološkemu, v precejšnji meri zato, da bi že sproti upoštevali tiste geološke parametre, ki lokalno niso vedno razpoznavni. Legenda ni bila vnaprej določena in se je sproti prilagajala stanju v naravi. Bila pa je usmerjena v geometrijo in faktografijo ter se zavestno ogibala genezi. Na ta način smo se skušali čim bolj izmakniti vnaprejšnjim opredelitvam, ki so tako ali drugače vgrajene v obstoječe nabore geomorfoloških kartografskih znakov. Na običajen način smo kartirali le vrtače in udornice ter vhode v kraške votline.

Tak pristop se je, dolgoročno gledano, izkazal za uspešnega, saj je privedel do nepričakovanega gledanja na kartirano ozemlje. Kratkoročno pa je povzročil zastoj, saj terenskih podatkov nekaj let ni bilo mogoče smiselno interpretirati. Prej smo pač morali umestiti v naših razmerah še neuporabljena teoretska izhodišča. To je seveda terjalo natančnejših odgovorov na vprašanja, kakšna je pravzaprav vloga posameznih geomorfnih oblik, zlasti vrtač.

Da bi dobili statistično trdne odgovore, smo na severnem koncu našega ozemlja določili 150 m širok pas, v katerem smo na določenem odseku izmerili vse vrtače (doslej 20). Ta pas ima smer splošnega vpada skladov, postavljen pa je tako, da ga v daljši perspektivi lahko raztegnemo prek vse notranjske mezozojske karbonatne skladovnice, od norijskoretijskega dolomita pri Pokojišu do eocenskega fliša pri Kališah (sl. 1/b). Tako je omogočena primerjava vrtač na litološko različnih podlagah v sicer enakih pogojih. Merske podatke smo računalniško obdelali in izdelali programski paket, ki omogoča izluščiti izčiščeno sliko vrtače, izračun prostornine, izračun smeri in vpada pobočij v poljubni točki, izračun odklonov od geometrijsko pravilne oblike ter razne statistične in numerično taksonomske operacije (F. Šušteršič, 1985).

Geomorfološko kartiranje je bilo v glavnem zaključeno poleti 1981, izvajal pa sem ga podpisani ob pomoči študenta geografije M. Trobiča in ob navseh sodelavca dr. P. Habiča. Vrtače so bile merjene pretežno poleti 1983, dopolnilne meritve, izdelava računalniškega softwara in obdelava podatkov pa so trajale do konca leta 1986. Pri tem so mi pomagali tehnični delavci IZRK ter gimnazijci-praktikanti. Vsem, ki so kakorkoli pripomogli k nastanku te razprave, se na tem mestu najlepše zahvaljujem.

## GEOMORFOLOŠKA PODOBA

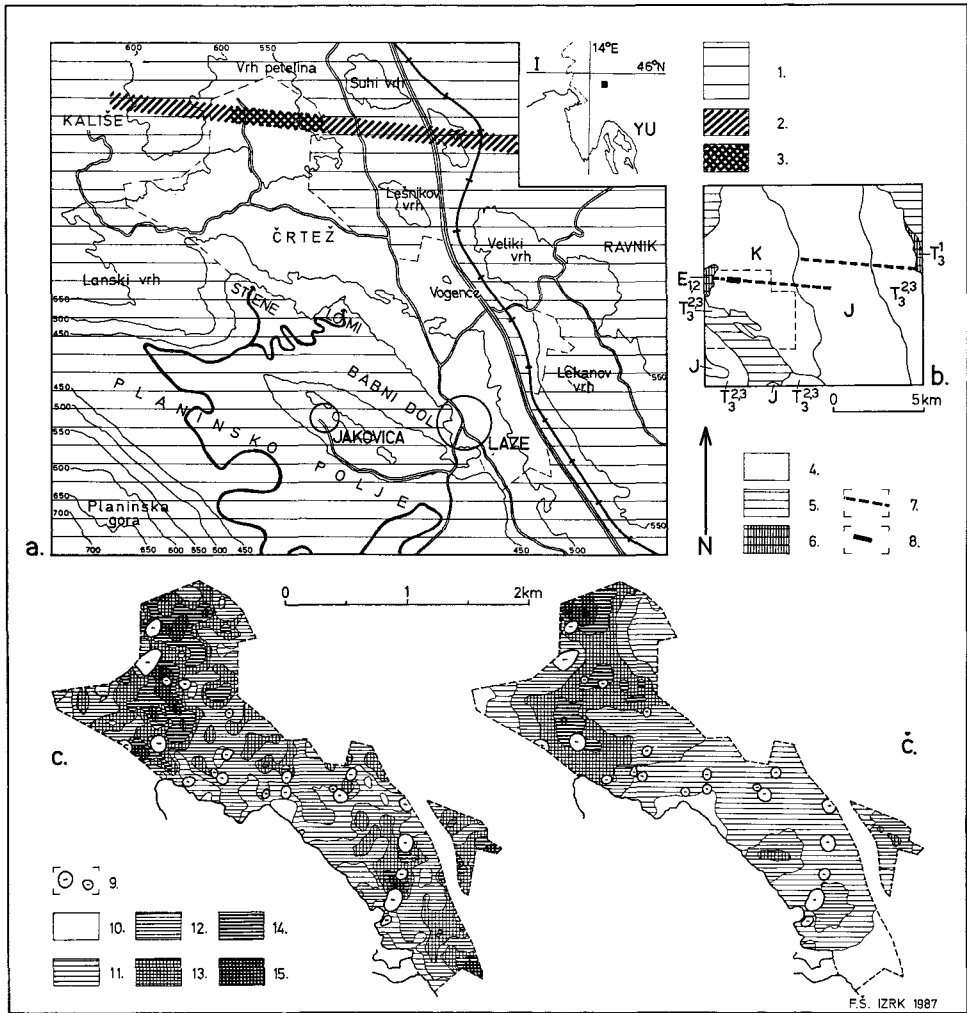
Obravnavano ozemlje leži ob severovzhodnem obrobju Planiskega polja. Pregledna karta obsega večji del slike 1 (a), raziskovalno območje pa je podarjeno tako, da ga ne prekriva redko črtan vzorec. Osnovne geološke poteze pa so podane na sl. 1/b.

Zgolj fiziografsko razdelimo naše ozemlje na tri lahko ločljive enote. Prva je neposredno obrobje Planiskega polja, ki se vleče na jugovzhodu. Druga je niz vzpetin, kot Lekanov vrh, Vogence, Lešnikov vrh, Vrh petelina in Lanski vrh ter obroblja naše ozemlje z vzhoda in severa. Tretja enota je vmesno ozemlje, ki ga predstavlja zvegana, z vrtačami posejana ravnata, ki jo kljub mnogim odstopanjem označuje rahel nagib proti obrobju polja.

Po J. Čarju (1982), ki navaja tudi starejšo literaturo (o. c., 79), grade naše ozemlje spodnje in zgornje kredne karbonatne kamnine, ki vpadajo pod blagim kotom proti zahodu. Mejo med spodnjo in zgornjo kredno (priloga 1) predstavlja erozijska diskordanca, ki se dotakne roba polja zahodno od Lomov, tako da predstavlja zgornja kreda zahodno tretjino obravnavanega ozemlja. Večino spodnje krede grade tod precej bituminozni apnenci, med katere se vrvajo leče grobozrnatega, bituminoznega dolomita. Zgornjo kredno predstavljajo zgolj svetlosivi in sivi, čisti mikritni apnenci, ki so večinoma tudi bolj debeloplastoviti. Od velikih prelomov, značilnih za območje Planinskega polja, se obravnavanega ozemlja na skrajnem zahodu dotika le babindolski prelom (cf. Čar, o. c.). Prečka pa ga več razpoklinskih con, ki jih je Čar vzročno povezal z udornicami.

Naše ozemlje zaradi svoje lege pač ni moglo ostati neopaženo in ga tako ali drugače omenjajo številne geomorfološke razprave, ki pa se ga dotikajo bolj m'omgrede. Najpopolnejšo sliko daje Osnovna speleološka karta SRS, lista Vrhnika 2-b in 2-d (P. Habič, 1972, 1973). Večina ozemlja je tu interpretirana kot vmesno, rahlo nagnjeno območje med nivojema 500 m—550 m na vzhodu in 580 m—620 m na zahodu, h kateremu je avtor prištel tudi ploske vrhove nekaterih uvodoma naštetih vzpetin.

Kot že rečeno, je bilo načelo kartiranja in poznejše obdelave podatkov, da noben delec površja ne sme ostati neupošteván. Ključ za takovrstno obravnavanje zemeljskega površja je dodelal D. A. Timofeev (1984) z definicijo »elementarne morfološke enote« (EME). Podal jo je (o. c., 20) kot »po površini najmanjši del površja, enoten po naklonu, morfologiji in ekpoziciji, ločen od sosednjih EME s pregibi« (prevod F. Š.). Timofeev tudi poudarja, da sosesčina različnih EME ne pomeni nujno genetske povezave, prav tako pa tudi ni nujno,



Sl. 1. a) Pregledna karta obravnavanega ozemlja.

1. Ozemlje, ki ni bilo vključeno v raziskave.
2. Načrtovani pas podrobnih meritev vrtač.
3. Ozemlje z izvršenimi podrobnimi meritvami vrtač.

b) Pregledna geološka skica.

4. Karbonatne kamnine.
5. Aluvij.
6. Nekarbonatne klastične kamnine.

Fig. 1. a) Survey map of the studied territory.

1. The areas being not included into present work.
2. The stripe of the planned detailed dolines measurement.
3. The area of achieved doline measurement.

b) Survey geological sketch.

4. Carbonate rocks.
5. Alluvium.
6. Noncarbonate clastic rocks.

da bi se sosednje EME družile po »verižnem načelu« (catena principle, cf. A. E. Scheidegger, 1986).

Geomorfološka karta v prilogi (1) želi slediti gornjim zamislim. Uporabljeni znaki žal grafično sličijo znakom splošno uporabljanih geomorfoloških legend. Pač zato, ker si popolnoma novih grafičnih oblik, ki bi bile optično učinkovite, skoraj ni več mogoče izmisliti. Podobno velja tudi za termine, ki jih preprosto ni, če ne želimo skozi zadnja vrata že vnaprej uvesti takšno ali drugačno, že znano temeljno hipotezo. Zato sem se terminom namenoma izognil. Vse EME so označene s simboli, ki jih pojasnjuje samo besedilo. Seveda pa se lahko zgodi, da bo nadaljnje raziskovanje katere od tu navedenih EME ali njihovih naborov vključilo v kako že znano shemo.

Osnovno razdelitev EME izpeljemo iz ugotovitve, da imajo nekatere ploskve (EME) poljuben ploskovni razmah (A), druge pa imajo poudarjeno linearno dimenzijo (L).

**A. 1** Arealno daleč najpomembnejše so ploskve s trendom nagiba okrog  $5^{\circ}$ – $10^{\circ}$ . Smer padnice drži v največji meri proti polju oz. jugozahodu. V tej smeri kaže prerez EME sliko skoraj ravne črte. Pravokotno na padnico ploskve A. 1 rahlo valujejo, z amplitudo dobrih 10 m in valovno dolžino prek 100 m. V drobnem so posejane z vrtačami, med katerimi so, pač odvisno od krajevne litologije, bolj ali manj razvite škraplje. Od matične kamnine odločen kos kamnine se praviloma ne more potočiti nizdol, saj krajevna vegavost izniči vpliv splošnega nagiba pobočja. Enovitost na večje razdalje da misliti, da gre za ploskve, ki so jih izoblikovali pobočni procesi v razmerah, ki so dovoljevale navzdolno pomikanje mase. Danes so pobočni procesi zamrli in nagib ploskev

- |  |   |
|--|---|
| 7. Načrtovane podrobne meritve vrtač.              | 7. Planned dolines measurement stripe.                |
| 8. Izvršene podrobne meritve vrtač.                | 8. Achieved dolines measurement area.                 |
| c) Število vrtač na hektar.                        | c) Number of dolines per ha (10 000 m <sup>2</sup> ). |
| 9. Udornice.                                       | 9. Collapse dolines.                                  |
| 10. Ozemlje brez vrtač.                            | 10. Areas without dolines.                            |
| 11. 0–1,5.   | 11. 0–1,5.  |
| 12. 1,6–3,0.                                       | 12. 1,6–3,0.  |
| 13. 3,1–4,5.                                       | 13. 3,1–4,5.  |
| 14. 4,6–6,0.                                       | 14. 4,6–6,0.  |
| 15. 6,0 <.   | 15. 6,1 <.  |
| č) Število korozijskih brezen na km <sup>2</sup> . | č) Number of corrosion shafts per km <sup>2</sup> .   |
| 9. Udornice.                                       | 9. Collapse dolines.                                  |
| 10. Ozemlje brez brezen.                           | 10. Areas without corrosion shafts.                   |
| 11. 0–15.  | 11. 0–15.   |
| 12. 16–30.   | 12. 16–30.  |
| 13. 31–45.   | 13. 31–45.  |
| 14. 46–60.   | 14. 46–60.  |
| 15. 61 <.  | 15. 61 <.   |

je premajhen, da bi se površinsko oblikovanje opazno ločilo od oblikovanja vodoravnih ploskev (A. 3).

**A. 2** Prejšnjim so podobne EME, nagnjene okrog  $10^{\circ}$ — $20^{\circ}$ . Bolj kot po nagibu jih v naravi ločimo od ploskev A. 1 po tem, da tu pobočni procesi po vsem videzu še delujejo. Iz podlage izluščen kos kamnine ima vse možnosti, da bo potoval po klancu navzdol. Izrazitih škrapelj tod ne najdemo, prav tako so vrtače nekaj izjemnega. Od ploskev A. 1 jih večinoma deli jasen pregib. Koliko je to posledica zunanjih vzrokov, koliko pa same dinamike pobočij, ta hip ne moremo soditi.

Skupna značilnost EME A. 1 in A. 2 je, da so vse v prisojah. Zato je vabljiva misel, da bi jih razložili z osončenostjo. Vsekakor pa ne gre pozabiti, da lahko takšna razpostava izhaja tudi zgolj iz krajevnih geoloških danosti in da ima prisojnost morda le dodatno vlogo.

**A. 3** Te EME so v grobem vodoravne, v drobnem pa so vegaste enako, kot ploskve A. 1. Za obojne je tudi značilno, da se vrtače le redko stikajo. Vegavosti ni pripisati le vrtačam, saj je ozemlje med njimi dovolj sklenjeno in obsežno, da jasno razločimo vzpetosti in vbokline z amplitudo nekaj metrov. EME A. 3 skoraj redno ležijo ob vznožjih ploskev A. 1, prehodi pa so večinoma zvezni in težko določljivi.

Nekaj ravnice je tudi na vrhovih uvodoma naštetih vzpetin. Vendar pa je teh ploskev arealno premalo, da bi o njih lahko podrobneje razpravljali.

**A. 4** Pretežno ob vznožjih ploskev L. 1 so EME A. 1 in A. 3 značilno spremenjene, podobno pa so oblikovana tudi dnese zaprtih ali polodprtih vboklin. Groba oblikovanost ploskev A. 4 se prilagaja trendu okolice. Z vrtačami so posejane tako na gosto, da te prehajajo druga v drugo, ali pa so vsaj nizi popolnoma očitni. Vmesnih predelov je manj kot v EME A. 3, opazna pa je tudi večja preperelost matične kamnine ter debelejši oz. bolj zvezni prsteni pokrov. Škrapelj praktično ni, če pa že so, so očitno pred kratkim izprane izpod krovnine. Ponekod se zdi, da gre za spremenjene pedimente ploskev L. 1 ali L. 2. Zraščene vrtače sem in tja sestavljajo večje globeli, ki dejansko ustrezajo C v i j i č e - v e m u modelu nastajanja uval (1893, 1895).

**AL** Na meji med ploskvami z arealnim razmahom in onimi, ki imajo močno poudarjeno linearno dimenzijo, je strmo obrobje polja. Ker je vezano na črto (rob polja), je ta dimenzija seveda poudarjena, razmah v širino pa ni videti omejen z lastno logiko ploskve.

Ploskve AL so naklonjene  $15^{\circ}$ — $30^{\circ}$ , ponekod tudi več. Srečamo različne inačice nestabilnih pobočij, pač odvisno od krajevnih razmer. Ponekod preidejo v prepadne odseke. Ti so le malokje nastali z udiranjem jamskega stropovja. Večinoma so prepadni odseki presenetljivo premi in povsem vgrajeni v rob polja. Zgornjo mejo EME AL povsod označuje jasen pregib, ki daje vtis zgolj presečne dveh neravnih ploskev. Kljub nestabilnosti nekoherentnega materiala — z izjemo podornih odsekov — ob vznožju ni melišč, pa tudi živoskalnih podnožij skorajda ni. To pomeni, da so ploskve AL tako mlade, da do regresije pobočij še ni prišlo v opaznem obsegu, po drugi strani pa tudi, da je produkcija nekoherentnega materiala manjša od možnosti razkroja na licu mesta. Zato je trend ploskev AL manj enovit kot v prejšnjih primerih, kar kaže, da



faze splošnega glajenja, ki je v primerih EME A. 2 in A. 1 zelo verjetna, obrobje polja ni doživelo.

EME s poudarjeno linearno dimenzijo so razvite izrazito v eni smeri, pobočni procesi pa delujejo vedno pravokotno na to smer. Glede na drobno oblikovanost in dimenzije jih lahko razvrstimo v štiri skupine.

**L. 1** Teh ploskev je največ. Na pogled močno spominjajo na ježe teras. Bitveno se od njih razlikujejo v tem, da tako njihovo podnožje kot zgornji rob nista ravna, temveč so to večinoma ploskve A. 1. V prečnem rezu kažejo EME L. 1 vse elemente umikajočih se pobočij, njihov višinski razpon pa le redkokje preseže 10 m. Značilno je tudi, da so čela praviloma gladka na večje razdalje in se vrtače zajedajo vanje le poredko. Ploskve L. 1 se skoraj brez izjeme spotegujejo v dinarski smeri, čelo pa je vedno osojno. Ob njihovem vzhodu praviloma nastopajo ploskve A. 4, onstran katerih EME L. 1 nimajo somernega ekvivalenta.

**L. 2** EME L. 2 so na prvi pogled močno podobne prejšnjim, se pa od njih razlikujejo v nekaj pomembnih podrobnostih. Predvsem velja, da so usmerjene poljubno, večinoma pa imajo tudi simetrični ekvivalent. Masni deficit med vzporednima ploskvama L. 2 daje krajevno vtis suhe struge, če že ne doline. Vendar so te globeli vložene v okoliški relief brez vsake fluvialne logike, samo dno pa tudi nima stalnega trenda. Vrtače v njem se dostikrat zajedajo v ploskvi L. 2 na obeh straneh. Kaže, da je dinamika rasti vrtač večja kot dinamika umikanja pobočij, kar v primeru ploskev L. 1 verjetno ni slučaj.

**L. 3** Manjši, do nekaj metrov visoki navpični skoki, očitno navezani na prelome, ponekod prekinjajo ploskve z arealnim razmahom. Kadar so na vzhodni strani debelejših skladov, v vsem ustrezajo majhnim cuestam. Vendar jih najdemo tudi na strani vpadanja skladov, kjer pa tako vzporejanje ne more več držati. V to kategorijo verjetno sodi tudi pretežen del prepadnih robov ob polju.

**L. 4** S tem simbolom sem označil oba bregova edinega bogaza na obravnavanem ozemlju. Od ploskev L. 2 se razlikujeta po popolni premosti in večji prepadnosti, kar pomeni, da imamo opraviti s stranskima ploskvama zdobljene cone.

Z izjemo zadnjega tipa se vse naštete EME raztezajo preko vseh tukajšnjih kamninskih tipov in litološke spremembe nanje toliko kot ne vplivajo. Verjetno je, da njihove oblike niso posledica sestave matične kamnine in moramo geološke parametre iskati na področju tektonike oz. geoloških neveznosti.

Ostane še vprašanje, ali so ugotovljene EME razpostavljene na zakonit način, in če je odgovor pozitiven, kakšna je logika te urejenosti. Ko pa se ozremo na celoto še z genetskega stališča in nas zanima premeščanje mas, ki je privedlo do sedanjega stanja, moramo ugotoviti še, katere pozitivne ali negativne mase so obdane s sistematično razpostavljenimi ploskvami.

Najopaznejše je skupno nastopanje ploskev A. 1 in L. 1. Ker dosledno padajo v nasprotnih si smereh, objemajo večje mase kamnine, oz. če smo dosledni, lahko predstavljajo krila zelo asimetričnih globeli, ujetih mednje. Že bežen pogled na karto (Priloga 1) pa zadostuje, da drugo možnost odvržemo. Vendar se moramo zavedati, da v osnovi ne obravnavamo antagonizma med

globalni ali vzpetinami, temveč da obravnavamo razgibano površje, urejeno v obliki žagaste tovarniške strehe.

Med eksogenimi procesi ni takšnega, ki bi privedel do obstoječe konfiguracije. Lahko si torej mislimo, da gre za endogeno zasnovano ureditev, ki so jo zakrasevanje in ostali površinski procesi le nebitveno preoblikovali. Na razpolago imamo več miselnih poti.

Po eni bi lahko šlo za majhne tektonske bloke, ki so na stičiščih bolj poškodovani. Tam bi mogli nastati nekakšni jarki. Na krajevno aktivirano reliefno energijo bi površje, pač glede na osončenost, reagiralo asimetrično. Tako bi EME A. 1 nastale v prisojnih in L. 1 v osojnih. Proti temu pa govori dejstvo, da se ploskve A. 1 ob vznožjih stikajo tudi z drugimi tipi ploskev, npr. A. 3 oz. z ravnico polja.

Možno pa je tudi, da sestavljajo bližnje ploskve A. 1 kose ene same površine, ki jo je kasneje diferencialno premikanje razkosalo. Tedaj bi EME A. 1 lahko res bile reliktno, ploskve L. 1 pa območja aktivnega vzporednega umika. Vtis, ki ga dobimo na licu mesta, res najbolj ustreza takšnemu razmišljanju. Materialen dokaz najdemo na kraju, kjer jama Logarček (okoli 60 m pod površjem) prečka vznožje ploskve L. 1. V jami je skok, kjer se ob močnem prelomu rov, ki drži z juga, prevali okrog 20 m niže in nadaljuje v tej višini. Rov ima v vzvodnem, dvignjenem bloku prerez kanjona, v nizvodnem pa je nizek in širok. To kaže, da je bilo premikanje aktivno, ko je skozi ta del jame tekla ponikalnica, morda pa se nadaljuje še danes.

Ostane še vprašanje, ali je bila hipotetična prvotna ploskev, ki je botrovala nastanku EME A. 1, prvotno že naklonjena, ali pa je sedanja žagasta ureditev nastala šele kasneje. Najlažje bi to ugotovili z zelo podrobno stratigrafsko analizo, vendar pa ta žal še ni bila izvršena. To vprašanje puščam do nadaljnjega odprto.

Nadaljnjo značilno razpostavo EME bi v dosednji terminologiji nedvomno opredelili kot zaprte ali polodprte majhne uvale. V glavnem jih najdemo vgrajene v ploskve A. 1 in A. 3. Od vrtač jih dobro ločimo po tem, da so njihovi tlorisi povsem nepravilni, da so precej obsežnejše in plitvejšee in da nimajo opaznih žarišč odnašanja. V njih so vrtače razpostavljene čisto poljubno, ali pa jih tudi ni. Očitno gre za predele površja, ki se je zaradi krajevnih razmer zniževalo hitreje kot neposredna okolica in se tako vbočilo. Ker ni razlogov, da bi bil tak razvoj vezan zgolj na približne ravnote, kjer pride do izraza kot zaprta globel, lahko vso zveganost površja v nekoliko večjem merilu pripišemo istim vzrokom. Menim, da tovrstne globeli niso drugega kot topografski pojem in jih izključujem iz nadaljnje razprave.

Kot že omenjeno, oklepajo ploskve L. 2 in L. 4 dvostransko odprte, značilno podložne globeli. V drugem primeru imamo opraviti s pravim bogazom in je prémost, podedovana od geološke podlage, na dlani. Isto bi po vsej verjetnosti veljalo še za tiste jarkom podobne globeli, ki so premočrtne. Vendar jih je nekaj tudi zavutih. V teh primerih pa preprosti geološki determinizem ni več mogoč, čeprav je verjetno, da gre za kraško preoblikovane svojske kombinacije geoloških pogojev. Vsekakor menim, da so obojne v tem odstavku

omenjene oblike upravičene do pojmovne samostojnosti in jih zato moramo prikazati na karti.

Zadnje vprašanje, ki se ga kaže dotakniti, je stik EME AL (obrobje polja) z ravnico polja ter višjo okolico na drugi strani. Precejšnja strmó pobočij, ki ponekod preidejo v prepadna ostenja, na prvi pogled govori v prid znani hipotezi o bočnem širjenju kraških polj (J. Roglič, 1957, 123). Dodaten argument se zdi že omenjeno dejstvo, da stik EME AL in A. 1 nima nikakršne lastne logike, temveč je preprosto presek dveh neravnih ploskev, ki se razvijata vsaka po svoje. Ker leže ploskve A. 1 (v njih so pobočni procesi zamrli), gledano v smeri pobočja, vedno nad ploskvami AL, kjer pa so pobočni procesi aktivni, je logično, da se neposredno obrobje polja zažira v višjo okolico (A. 1). Pričakovali bi, da se ob vznožjih EME AL nahaja močan dejavnik odstranjevanja mase, ali pa gre za vzporeden umik pobočij.

Vendar temu ni tako. Če bi ob vznožju obrobja polja deloval kakršenkoli znan dejavnik odstranjevanja mase, bi oblikovanosti pobočja vsilil svojo geometrijo. Z drugimi besedami, če bi šlo za bočno erozijo (ev. tudi v preteklosti), bi ostale vsaj sledi srpastih zajed. Bočna korozija, ki sledi predvsem kakršnimkoli manj odpornim predelom matične kamnine, pa bi pobočje razgibala še dosti bolj kaotično (A. E. Scheidegger, 1983). Toda že karta kaže, da je obrobje polja daleč najbolj premočrtna EME. Zato skoraj ne more biti dvoma, da je zasnovano ob kakršnemkoli strukturnem elementu.

Vsekakor ne gre za preprost dvig ob prelomu, kajti v tem primeru bi našli njegovo nadaljevanje severozahodno od Lomov, ali pa nadaljevanje ev. prečnega preloma severovzhodno od tam. Po drugi strani tudi višinski razmah obrobja, ki znaša od Sten do Lomov približno 25 m, proti jugovzhodu upada. Zahodno od Laz ploskve AL izginejo ter se z ravnico polja staknejo ploskve A. 1. V tem trenutku se zdi najsprejemljivejša misel, da gre bliže Laz za območje kaskade drobnih navpičnih premikov ob snopu ešaloniranih prelomov, medtem ko je v območju Sten navezava na Babindolski prelom (J. Čar, o. c.) očitna. Za odsek med Lomi in nosom severno od Strževce pa te razlage ne morejo veljati. Karta gostote vrtač kaže tam dosti pravilno linijo, vendar doslej nismo mogli ugotoviti, kateremu geološkemu elementu ustreza. Ker vpadajo skladi proti zahodu, je možno reči vsaj to, da litologija tega ni mogla izzvati.

Geomorfolóško podobo našega ozemlja pač težko razumemo kot produkt eksodinamike ob stabilnih endodinamičnih faktorjih, saj pogosto ni znanih mehanizmov, ki bi zgolj ob upoštevanju eksodinamike privedli do sedanjega stanja. Tudi tolmačenje zgolj z litologijo ni kaj bolj uspešno. Lahko zaključimo, da odraža oblikovanost reliefa predvsem recentno ali subrecentno superstrukturno dinamiko (cf. J. G. Dennis, 1972, 387). Vendar pa se moramo zavedati, da sporadična tovrstna opazovanja dokazujejo le, da neotektonike iz nadaljnje razprave ne smemo izključiti. Kakšna pa sta njen dejanski obseg in pomen, pa bo potrebno šele ugotoviti, četudi se tukajšnja dognanja dobro skladajo z ugotovitvami v bližnji okolici (P. Habič, 1982/b, J. Čar, 1986). Razlaga torej ostaja na ravni verjetne hipoteze.

## RAZMESTITEV VRTAČ

Na načrtanem ozemlju smo zabeležili vse vrtače. Med kartiranjem smo jih, skladno z J. Cvijičev o (o. c.) shemo, delili v tri razrede: skledaste, čašaste in lijakaste. Izkazalo pa se je, da je vsaj v našem primeru takšna delitev *popolnoma umetna in tudi praktično neizvedljiva*. Ne le, da obstajajo prehodi med skupinami, ampak so tudi modalne skupine drugačne. Nekoliko bolj realistična se zdi klasifikacija, ki jo je uvedel F. Forti (1972) kot mero zakraselosti tržaškega krasa. Opisal je pet stopenj, ki se odražajo tako v pokritosti površja, tipu škrapljevitosti in oblikovanosti vrtač. Vendar je ugotovil že sam avtor, da gre za medsebojno igro litoloških in strukturnih faktorjev ter pokritosti z alohtonimi materiali, ne pa za specifične oblike v živi skali. Tako tudi Fortijeva klasifikacija še vedno ostaja na ravni najenostavnejšega formalnega pristopa in je nismo uporabili. Po končanem terenskem delu smo formalno delitev opustili in vso populacijo obravnavali kot enotno.

Kartirano ozemlje meri 3,77 km<sup>2</sup>, od česar je 0,25 km<sup>2</sup> oz. 6,6 % prizadete z udori. Te površine sem izločil iz nadaljnje obravnave in upošteval le 3,52 km<sup>2</sup> ozemlja. Tod smo zabeležili skupaj 918 vrtač različnih dimenzij in oblik, kar pomeni, da je poprečna gostota 260,8 vrtače/km<sup>2</sup> oz. 2,61 vrtače/ha. Vplivno območje (cf. P. W. Williams, 1972, 137) posamezne vrtače tedaj zajema 3384 m<sup>2</sup>, kar ustreza krogu s polmerom 34,9 m. To pa je že manj od polmerov največjih vrtač.

Gostota je sorazmerno visoka. Vsaj kolikor je meni znano, je tokrat prvič število vrtač na tolikšnem ozemlju preverjeno terensko. Doslej so jih praviloma šteli na zelo majhnih območjih ali pa po kartah. Zato številke niso povsem primerljive, saj smo celo v našem primeru, ko smo uporabljali karte merila 1 : 5000 ugotavljali, da jih je tam prvotno zabeleženih komaj kaj več kot polovica.

Že na kraju samem je opazno, da je krajevna gostota vrtač precej spremenljiva, kar postane še bolj očitno, ko vrtače vrišemo v karto. Da bi postala razmestitev kvantitativno bolj oprijemljiva, sem po mreži 50 m × 50 m prek celega ozemlja postavil kroge s polmerom 34,9 m, torej s ploščino vplivnega območja vrtače. V vsakem sem preštel število zajetih središč. Ta podatek je kasneje služil tudi za izračun korelacije. Ker pa je še vedno celoštevilčen in otežuje risanje izoplet, sem celotno polje podatkov prevlekel še s koničnim digitalnim cedilom

$$\begin{array}{ccc} (2 - \sqrt{2}) & 1 & (2 - \sqrt{2}) \\ 1 & 2 & 1 \\ (2 - \sqrt{2}) & 1 & (2 - \sqrt{2}) \end{array}$$

Ob robovih in udornicah, kjer podatkov ni dovolj, sem cedilo ustrezno priredil, kar pomeni, da je pridobitek tam nekoliko manj stabilen.

Na sliki 1/c je polje tako prečiščenih podatkov prikazano s šrafurami. Za mero sem vzel število vrtač na hektar. Najbolj realna mera bi bila število vrtač

na vplivno območje, torej 0,338 ha. Seveda pa bi tako izgubili preglednost, oz. neposredno primerljivost z drugimi ozemlji.

Na prvi pogled je opazna zgostitev vrtač v severozahodnem predelu našega ozemlja, t. j. na zgornje krednih apnencih. Ker so tam tudi korozijska brezna zelo na kupu (F. Sušteršič, M. Puc, 1970), sem enako obdelal tudi ta. Doslej znanih je skupaj 70, kar da gostoto 19,9 brezen/km<sup>2</sup>, ob vplivnem območju 50 300 m<sup>2</sup> (polmer 126,5 m). Podobno kot prej sem podatke golega štetja spremenil v gladko ploskev, ki je prikazana na sliki 1/d. Podobnost s prejšnjo sliko je precejšnja. Zato ne preseneča, da je korelacija gostote brezen z gostoto vrtač  $r = 0,42577$ , ob tveganju, manjšem od 0,1 %.

Če primerjamo slike 1/b, 1/c in 1/d, je takoj jasno, da so gornje kredni apnenci dosti bolj posejani z vrtačami in brezni kot spodnje kredni. Razlike so precejšnje, saj izkazujejo gostoto 212,2 vrtače/km<sup>2</sup> na spodnje krednih in 352,5 vrtače/km<sup>2</sup> na zgornje krednih apnencih.

V zvezi z gostoto se zastavlja vprašanje, kakšen delež ozemlja je prizadet z vrtačami. Planimetriranje ročno vrisanih vrtač na karti merila 1 : 5000 se je pač izkazalo za nezadovoljivo. Tudi primerno natančnih meritev s komaj zastavljenega poligona je zaenkrat še premalo. Pač pa razpolagamo s karto merila 1 : 1000 za vso traso avtoceste, ki na vzhodni strani seka naše ozemlje. Za okrog 4 km dolg odsek vzdolž obravnavanega ozemlja smo v pasu, širokem 80 m, splanimetrirali vsa območja vrtač. Deleži prizadetega ozemlja po 250 m dolgih odsekih nihajo med 29,5 % in 85,5 %, s poprečjem 64,03 %. Avtocesta zajema tudi le spodnjekredne apnenice. Na enak način smo obdelali tudi druga ozemlja v območjih bodočih avtocest po krasu, vendar je prizadetost z vrtačami precej manjša.

Da bi ugotovil način razmestitve vrtač, sem uporabil nekaj elementarnih statistik. Temeljna je t. i. statistika kvadratov (J. C. Davis, 1973, 301). Vse območje prekrijemo z mrežo enakih kvadratov, tako da nobeden ne vsebuje manj kot 5 elementov (vrtač). V našem primeru, ko območje ni pravilno oblikovano in ga motijo tudi udornice, sem vanj lahko postavil le 45 nemotenih kvadratov s stranico 200 m. Podatke sem obravnaval za celoto, pa tudi ločeno za spodnje in zgornje kredne apnenice.

Ničelna hipoteza je, da so vrtače razporejene slučajno. Rezultati so v vseh treh primerih zelo podobni. Pri stopnji tveganja 5 % ni razlogov, da bi zavrgli ničelno hipotezo; pač pa moramo to storiti, če želimo tveganje zmanjšati pod 1 %.

J. C. Davis (o. c.) navaja kot učinkovitejšo »analizo najbližjega soseda«. Vsaki vrtači določimo najbližjega soseda in izmerimo razdaljo, nato pa izračunamo poprečje teh meritev. Iz ploščine obravnavanega ozemlja izračunamo še teoretično poprečno razdaljo. Kvocient teoretskega in izmerjenega poprečja ( $R$ ) se imenuje »statistika najbližjega soseda«. V primeru kopičenj se njegova vrednost približuje ničli. Kadar razmestitev ustreza Poissonovi razdelitvi in je torej popolnoma slučajna, zavzame vrednost 1. Največjo možno vrednost ( $R = 2,1491$ ) doseže tedaj, ko razmestitev ustreza pravilni šesterokotni mreži (P. W. Williams, 1972, 151, J. C. Davis, 1973, 309).

V našem primeru dobimo:

|                        | $K_1$   | $K_2$   | Celota  |
|------------------------|---------|---------|---------|
| Izmerjeni popr. polmer | 42,7 m  | 32,4 m  | 38,0 m  |
| Izrač. popr. polmer    | 34,3 m  | 26,6 m  | 31,0 m  |
| R                      | 1,24381 | 1,21667 | 1,22578 |

Za vse tri primere velja, da tudi pri tveganju manjšem od 0,1 % značilno odstopajo od popolnoma slučajne razmestitve.<sup>1</sup>

P. W. Williams (1972, 149) je ugotavljal način organiziranosti cockpitolov na Novi Gvineji tako, da je prešteval število njihovih neposrednih sosedov. V našem primeru, ko se vrtače ne stikajo, to lahko storimo tako, da med sosednjimi središči vrtač potegnemo simetrale in tako ogradimo vplivna območja. Tem nato preštejemo število stranic. Zopet sem upošteval samo tiste vrtače, ki ne mejijo na rob našega ozemlja ali na udornice. Poprečno število stranic vplivnega območja je 5,84. Na videz je poprečno število stranic, ki se zelo približuje številu šest, v nasprotju z ugotovitvijo prejšnjih odstavkov. Dejansko pa jih prej potrjuje, saj že malenkosten zamik v pravih četverkotnih razpostavah povzroči nastanek šesterkotnih polj, pri katerih je par stranic zelo kratek v primerjavi z ostalimi. To je mnogokrat slučaj tudi v našem primeru. Ko bi bile koordinate vseh vrtač natančno odmerjene, bi z analizo dolžin stranic verjetno odkrili nadaljnje zakonitosti njihove razmestitve.

Uporabil sem tudi statistike, ki jih predlagata H. Mc Connell in J. M. Horn (1972). Številu vrtač po posameznih razredih prirejata Poissonovo negativno binomsko in mešano (dvojno) Poissonovo razdelitev ter testirata stopnjo skladanja. Iz lastnosti najustreznejše razdelitve nato sklepata na izvor razpostave vrtač.

Poissonova razdelitev pomeni, da so vrtače razmeščene popolnoma slučajno in da proces nastajanja ni kužen (da nastopanje vrtače v neki točki ne poveča verjetnosti nastajanja nadaljnjih v bližnji soseščini).

Negativna binomska razdelitev pomeni, da je nastajanje vrtač sicer slučajno (Poissonovo), vendar pa parameter te razdelitve ni konstanten in sledi gamma razdelitvi (M. Perišić, 1983, 64).

Mc Connell in Horn (o. c.) navajata več možnih interpretacij:

- Poenostavljeno gornjo definicijo brez nadaljnjega komentarja.
- Vrtače se družijo v slučajno razpostavljene skupine.

<sup>1</sup> P. J. Vincent (1987) opozarja, da bližina roba ozemlja močno omaja vrednost rezultatov in priporoča Donnellyjevo (o. c., 67) korekcijo. Ponovno je preračunal del Williamsovih (o. c.) podatkov in ugotovil, da so cockpiti razpostavljeni bolj kaotično, kot meni Williams. V našem primeru na ta način dobimo nesmiselne rezultate. Verjetno je to posledica dejstva, da se meje vzorčnega ozemlja ne krijejo z mejami vplivnih območij posameznih vrtač, delno pa tudi zato, ker pomenijo udornice enklave, ki jih algoritem po vsej verjetnosti ne upošteva korektno. Menim, da niti prvotni, niti popravljeni postopek nista posebno ustrezna in bo potrebno boljše rešitev iskati v okviru fraktalne analize.

c) V začetku slučajno razmeščene vrtače so v nadaljnjem kužne in v soseščini po logaritmični postopici generirajo nove.

Mešana Poissonova razdelitev pomeni, da imamo na proučevanem ozemlju vrtače dveh genetskih tipov, ki so razmeščene Poissonovo. Avtorja sta takšno stanje ugotovila na Mitchell plain v Illinoisu v ZDA in jo tolmačila s skupnim nastopanjem formalno enakih korozijskih vrtač in udornic (o. c., 129).

Naše ozemlje sem prekril z mrežo kvadratov s stranico 100 m. Ker tistih, ki jih prizadevajo udornice ali rob ozemlja, nisem štel, jih za nadaljnjo obravnavo ostane 275. Pri prilagajanju ustrezne razdelitve sem moral takoj odvreči mešano Poissonovo. To kaže, da nismo zajeli mešane populacije in da večja gostota na zgornje krednih apnencih na ta način ne pride do izraza.

Pač pa negativna binomska razdelitev ustreza podatkom še pri tveganju, manjšem od 0,5 %. Njeni parametri izkazujejo vrednosti:  $p = 0,8420$ ,  $q = 0,1580$  in  $k = 15,2356$ , ob poprečju 2,86 vrtače na kvadrat in varianci 3,39. Vrednost parametra  $p$  blizu 1 pomeni, da je neenakomernost razpostave majhna, sorazmerno velika vrednost parametra  $k$  pa, da so vrtače slabo grupirane. To nakazuje, da še najbolj ustreza dejanskemu stanju prva razlaga. Sklada pa se tudi z empirično ugotovljenim dejstvom, da je velik del geoloških spremenljivk v naravi razprostranjen po gamma razdelitvi.

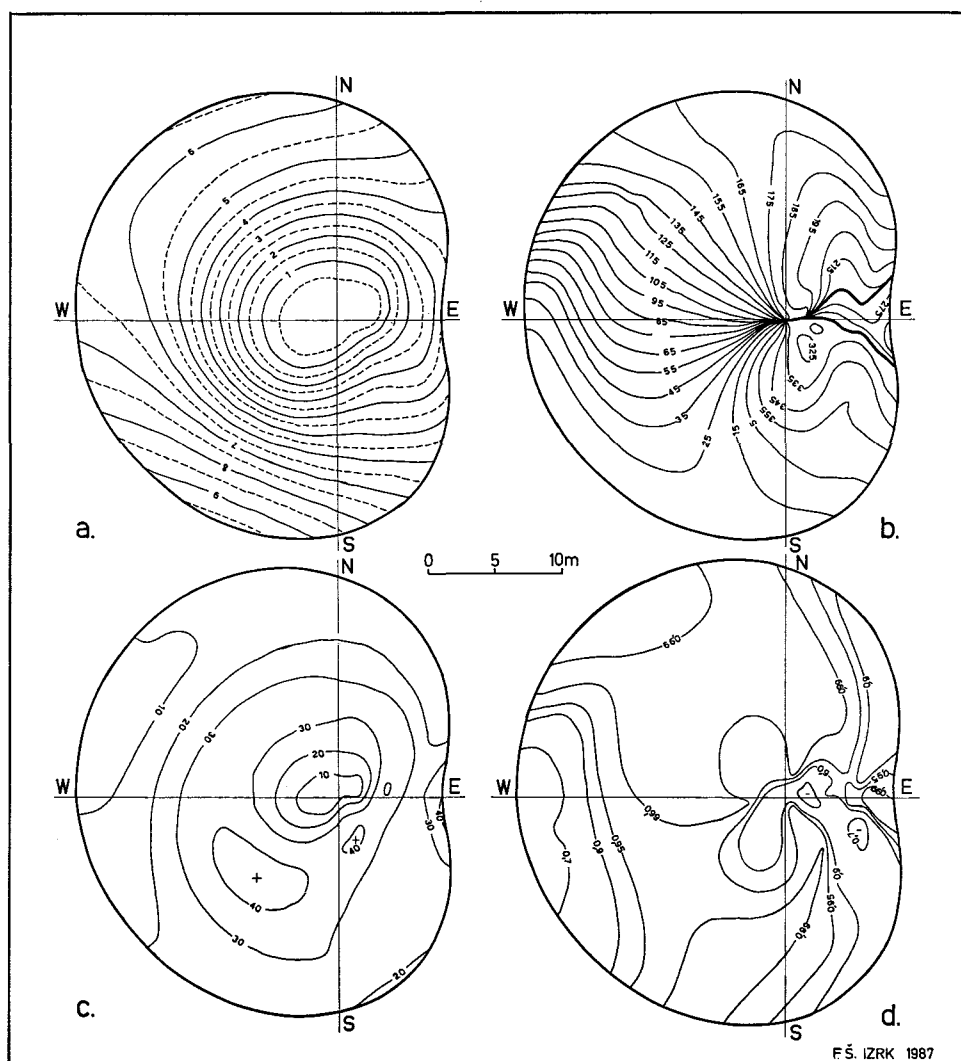
Ker se v našem primeru po vrednostih parametrov negativna binomska razdelitev približuje Poissonovi, je samoumevno, da podatkom lahko z malenkostno večjim tveganjem priredimo tudi slednjo.

Na videz precej kontradiktorne rezultate gornjih analiz moremo vendarle strniti v nekaj ugotovitvah. Pogostnost nastopanja vrtač je večja na debeloskladovitih, čistejših apnencih zgornje krede kot na bolj bituminoznih, deloma dolomitiziranih, včasih tenkoplastovitih apnencih spodnje krede. S tem se dobro korelira tudi pogostnost nastopanja korozijskih brezen, ki pa je več kot desetkrat manjša. Obratno pa je način razpostave vrtač po površju neodvisen od litologije. Izkazuje vzorec, ki je najbolj poznan iz razpostave rudnih teles in podobnih mineralizacij. To morda pomeni, da je razpostava vrtač predvsem posledica strukturnih lastnosti kamnine, manj litologije, zagotovo pa ne eksogenih faktorjev.

## OBLIKOVANOST VRTAČ

Vrtače so tako splošno znane, da moramo poseči prav do J. Cvijića (o. c.), če želimo najti zgoščeno, a kolikortoliko popolno sliko o njihovi obliki. Vsa bogata mlajša literatura se ukvarja z različnimi podrobnostmi in predpostavlja neko osnovno definicijo kot samoumevno ali bralcu poznano. Vsekakor je ta predpostavka dovolj osnovana; res pa je tudi, da različni avtorji med vrsticami kažejo kaj pisano pojmovanje o tem, katere centrične globeli bi najbolj ustrezale terminu vrtača (v neslovanskih jezikih večinoma »doline«). V našem, jugoslovanskem primeru je jasno vsaj to, kaj je imel v mislih J. Cvijić oz. njegovi nasledniki.

Ne glede na še ne povsem zaključeno razpravo o udornem ali korozijskem nastanku vrtač jih lahko opišemo kot izrazito centrične, sorazmerno pravilno oblikovane zaprte globeli deset do stometrskih dimenzij. Slovenci med vrtače ne



Sl. 2. Vrtača LV 73.

- Tloris.
- Smeri največjega strmca pobočij.
- Iznosi največjega strmca pobočij.
- Korelacija z idealno obliko.

Fig. 2. Doline LV 73.

- Ground plan.
- Directions of the greatest slope.
- Values of the greatest slope.
- Correlations with the ideal shape.



štejemo podobnih globeli, ki jim pravimo udornice, konte, drage itd., ki so večinoma podrobneje definirane. To pomeni, da dopuščam možnost, da so v nadaljnjem obravnavane vrtače lahko tudi raznorodne.

Opisovanje vrtač s Cvijičevimi, oz. iz njih izpeljanimi parametri se je izkazalo za bolj ali manj jalovo (F. Šušteršič, 1985, 82). Naše metode (o. c.) omogočajo izračunavanje bolj elementarnih geometrijskih kazalcev, ki zaobsežejo celo vrtačo in je ne zreducirajo na meritve nekaterih ekstremov.

Predvsem kot ilustracijo teh prijemov v nadaljnjem obravnavam dve vrtači s poskusnega poligona. Za primer sem ju izbral predvsem zato, ker sta od izmerjenih še najbolj enostavni za interpretacijo, obenem pa na njiju spoznamo vse podrobnosti, ki jih lahko imamo za temeljne gradnike geometrije vrtač. Obe ležita v gornjekrednih apnencih, na ozemlju, ki je v grobem ravno (EME A. 3), v drobnem pa močno vegasto, tako da znaša amplituda skoraj 10 m.

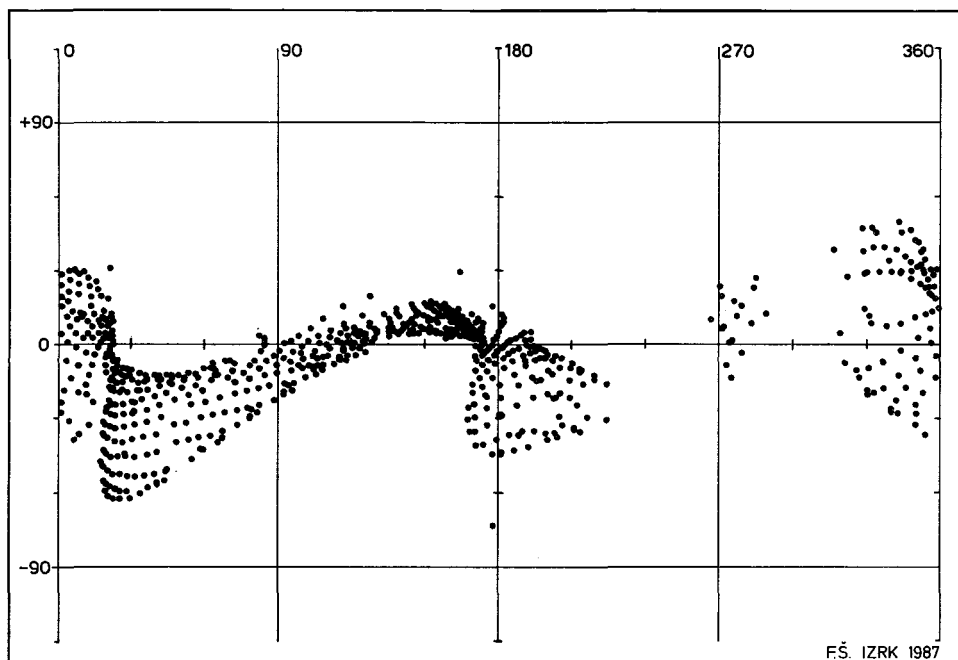
Vrtača LV 73 (sl. 2) je primer enostavne vrtače. Ko bi ne bilo živosklane izbokline v jugozahodnem kvadrantu, bi lahko trdili, da je skoraj popolnoma pravilna. Vendar pa njen obod ni okrogel ali vsaj eliptičen. To gre pripisati tako neravni okolici kot tudi različnim strmcm padca pobočij. Če dobro premotrimo tloris (sl. 2/a), lahko razločimo tri koncentrične pasove, ki jih srečamo pri vseh vrtačah.

Zunanji pas, ki zaobjema približno dve petini dolžine polmera, ne kaže kaj prida usrédenosti. Pobočja se ravna jo dosti bolj po krajevnih nehomogenostih matične kamnine, kot po položaju žarišča reliefne energije v središču vrtače. To postane še toliko bolj očitno ob pogledu na sliko 2/b, kjer posamezne izoplete povezujejo točke z enakimi smermi padnice pobočja. Značilna so odstopanja na severovzhodnem in jugozahodnem predelu oboda. Pobočje se je na večjo razdaljo prilagodilo smeri, ki se sklada z drobnorazpakanostjo matične kamnine. Iz slike 2/c razvidimo še, da je strmina pobočij v zunanjem pasu precej manjša kot nekoliko bolj proti sredini.

Srednji pas ločimo od zunanjega po tem, da pobočja padajo skoraj naravnost proti žarišču reliefne energije ter da so tod najstrmejša. Abolutno največji maksimum je v jugozahodnem kvadrantu. Menim, da je to posledica kombinacije učinkov vpada skladov in osončenosti.

Osrednje območje je v grobem dosti manj razgibano. V nasprotju s prejšnjima dvema tod nimamo več opraviti z živoskalnimi pobočji, prekritimi s tanko plastjo prepereline, ki lahko tudi povsem izostane, temveč z ilovnatim polnilom, ki tudi po več deset metrov na debelo izpolnjuje osrednji jašek. (Glej tudi P. H a b i č, 1978, sl. 1!) Velika razgibanost tega območja, ki jo zaznamo pri posameznih vrtačah, nas torej ne more posebej zanimati. Včasih kaže račun tudi navidezno vegavost, ki ne korenini v resničnem stanju v naravi, temveč je posledica uporabljenega postopka.

Vzhodno od središča kaže pobočje vrtače več nepravilnosti. Plastnice kažejo hitre spremembe smeri. Karta smeri vpadov (sl. 2/b) pove, da smer vpada na zanemarljivi razdalji močno spremeni svojo vrednost. Skratka, tu gre za nezvezan stik sicer gladkih ploskev. Imenoval sem ga šiv in te najdemo bolj ali manj razvite pri vseh vrtačah. Že po smereh šivov je očitno, da gre za učinke geološke strukture. Nadaljnje proučevanje pa mora šele pokazati pravo geološko in geomorfološko vsebino šivov.



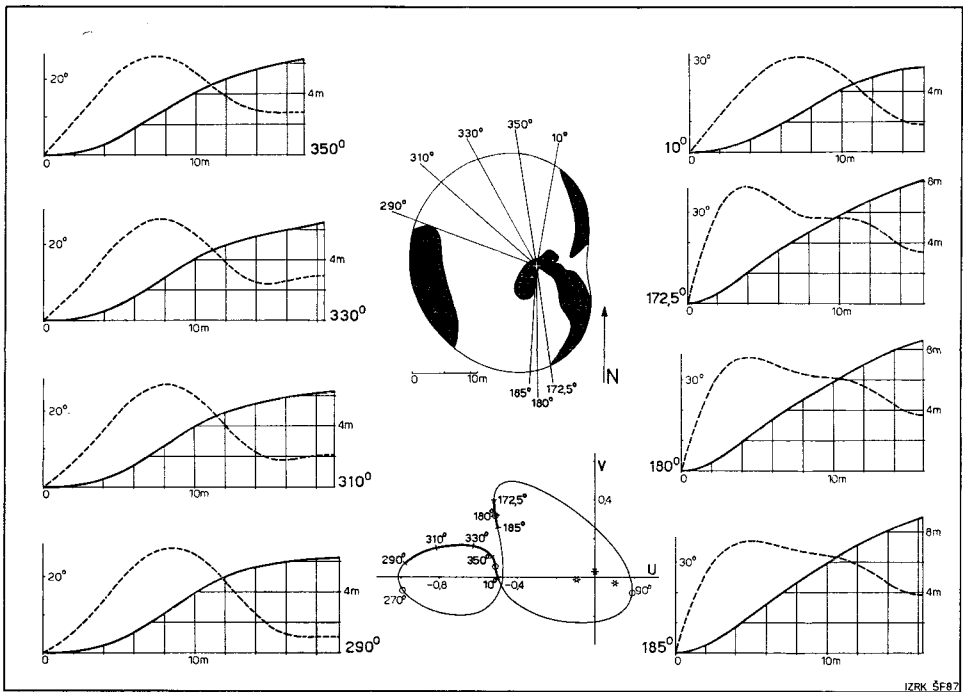
Sl. 3. Vrtača LV 73. Primerjava smernih odklonov z dejanskimi smermi največjega strmca pobočij.

Fig. 3. Doline LV 73. Plot of the directional deviations and the actual greatest slope inclination directions.

Padnice pobočij se torej bolj ali manj odklanjajo od smeri proti središču. Vsiljuje se vprašanje, ali so ti odkloni slučajni, ali pa kažejo neke zakonitosti. Na sliki 3 pomeni abscisna vrednost smer padnice v neki točki, ordinata pa iznos odklona od idealne smeri v isti točki. Brez nadaljnjega opazimo, da je pri skoraj diametralnih azimutih  $20^{\circ}$  in  $170^{\circ}$  kopičenje največje, tam pa so zbrani tudi največji odkloni od idealne, centrične smeri. To pomeni, da je diktat navedenih smeri tako močan, da poveča odklone daleč preko slučajne mere. Po drugi strani pa opazimo, da manjka vpadov približno v polovicah tretjega in četrtega kvadranta, medtem ko je manjše nakopičenje v smeri zahoda.

To lahko razložimo z vpadom skladov proti zahodu. Zahodna pobočja so zato sorazmerno stabilna in se poderejo le, ko izgube neposredno podlago. Kosi kamnine pa, ki sestavljajo vzhodna pobočja, niso praktično nikjer podprti in zdrsijo ob leziki, brž ko se jim odpre prostor. Da ni učinek bolj opazen, je v našem primeru kriva oblika vrtače, ki ima prav na vzhodnem kraju najnižji obod in najkrajše polmere. Ker je skanirana po metrski kvadratni mreži, vzorec zato ni statistično pravilno obremenjen. Vsekakor pa je pojav kvalitativno dovolj opazen in skupaj s prejšnjimi ugotovitvami podpira misel, da vrtače ne širi spodkopavanje, temveč vzporeden umik pobočij.

Smernim razlikam lahko izračunamo kosinuse in za vsako točko dobimo stopnjo korelacije dejanske oblikovanosti z idealno (sl. 2/d). Polrezi, ki jih običajno uporabljamo za prikazovanje oblikovanosti pobočij vrtač, imajo centrično, idealno smer. Če padnica pobočja od nje preveč ne odstopa, je slika, ki jo daje polrez, spačena. Dokler nimamo dovolj terenskih podatkov, si prag spačenja lahko izbiramo poljubno — za nadaljnjo razpravo sem si ga izbral pri 10 % odstopanju. Za sprejemljive bomo torej imeli polreze, vzdolž katerih korelacija ne pade pod 0,9. Slika 4/a, ki ni drugega kot poenostavljena slika 2/d, kaže, da imamo v naši vrtači le dve območji, na severu in jugu, kjer polrezi niso preveč spačeni. Nekaj jih prikazuje slika 4 ob straneh. Polrezi so podani v neprevišanih razmerjih, črtkana krivulja pa kaže iznos vpada vzdolž polrezov.



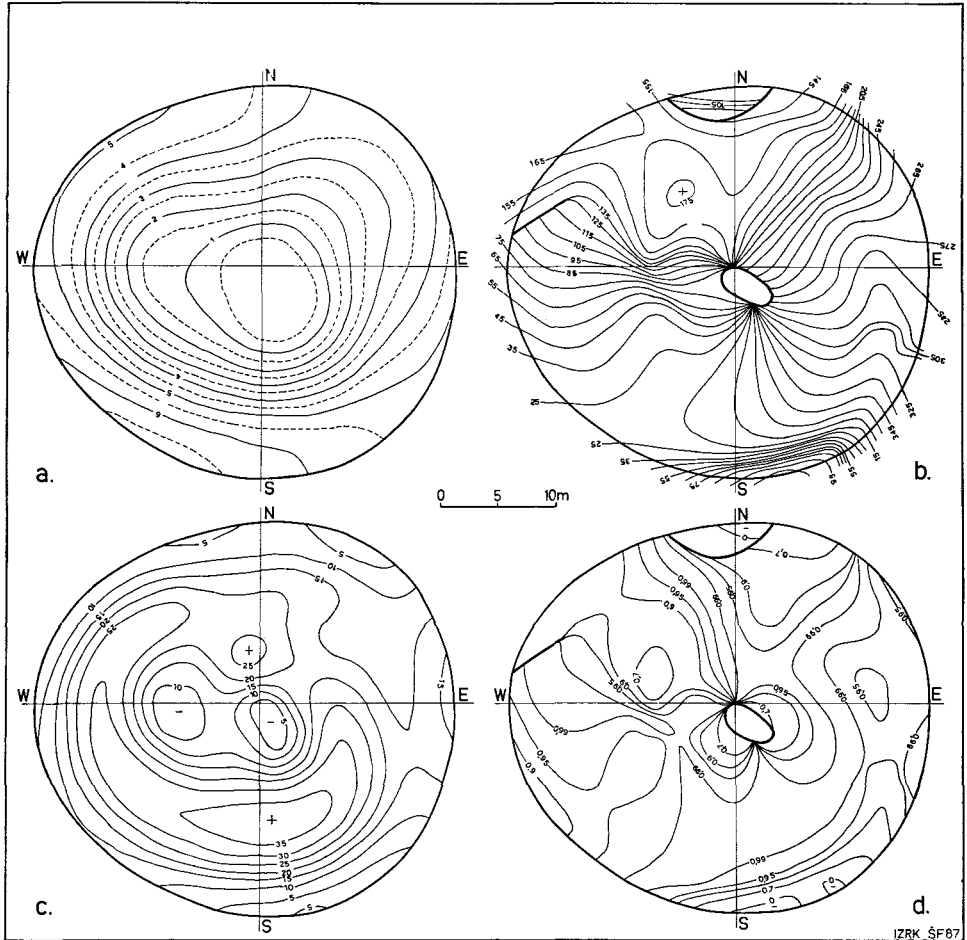
Sl. 4. Vrtača LV 73.

- Območja sprejemljivih in spačenih polrezov.
- Primerjava dejanskih oblik polrezov z etalonскими. Zvezdice: gornja: pravilni stožec, leva: vrtenina polovice sinusoide, desna: vrtenina četrtine sinusoide.

Fig. 4. Doline LV 73.

- Proper and biased semiprofiles regions.
- Correlation of the actual semiprofiles to standards. Asterisks: upper: regular cone, left: half sinusoid rotation body, right: quarter sinusoid rotational body.

Da bi lažje določili podobnost oz. različnost polrezov, si lahko pomagamo s prijemi numerične taksonomije (P. H. A. Sneath, R. R. Sokal, 1973). Ugotovil sem, da je pri komaj katerem izmerjenem polrezu na četrtem (in nadaljnjih) Fourierjevem koeficientu zbrane več kot 5% skupne variance, pri večini pa celo manj kot 1%. Ne da bi z opustitvijo četrtega izgubili kaj dosti informacije, si lahko predstavljamo prve tri koeficiente kot komponente vek-



Sl. 5. Vrtača LV 70.

- Tloris.
- Smeri največjega strmca pobočij.
- Iznosi največjega strmca pobočij.
- Korelacija z idealno obliko.

Fig. 5. Doline LV 70.

- Ground plan.
- Direction of the greatest slope.
- Values of the greatest slope.
- Correlations with the ideal shape.

torjev v trirazsežnem prostoru. Koti med posameznimi vektorji so tedaj mera podobnosti med pari polrezov, kosinusi teh kotov pa cenilke medsebojne korelacije. Isti odnosi veljajo, če kako znano geometrijsko obliko izberemo za etalon in jo prikažemo na enak način.

Kot etalonske oblike sem izbral poševno daljico (če jo zavrtimo, dobimo lijakasto vrtačo), polovico sinusoide (dobimo skledasto vrtačo) in četrtno sinusoide (dobimo lijakasto vrtačo). Vektorje njihovih Fourierjevih koeficientov normiramo in izračunamo rezultanto. Pravokotno nanjo postavimo ravnino ( $U, V$ ), ko jo smernice etalonskih vektorjev predirajo v treh točkah (sl. 4/b, zvezdice). Isto ravnino predirajo tudi smernice vektorjev, ki predstavljajo polreze naše vrtače. Razdalje teh prebodišč od etalonskih točk so približna mera podobnosti resničnih polrezov z etalonskimi.

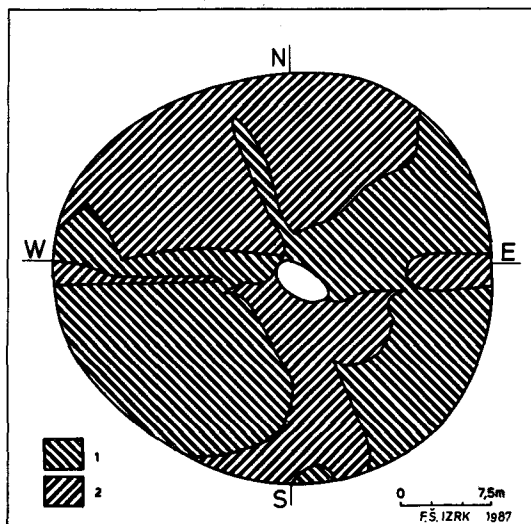
Če torej za neko vrtačo izračunamo Fourierjeve koeficiente polrezov, razmaknjenih za stalen majhen kot, se nam prebodišča z ravnino  $UV$  nizajo v sklenjeno krivuljo (sl. 4/b). Ker večina izračunanih polrezov zaradi spačenosti ne ustreza, upoštevamo le tiste izseke krivulje, ki so preslikava nespačenih polrezov (ista slika, debela črta). Izračunana krivulja se mota vsenaokrog po ravnini  $U, V$ , vendar so nespačeni polrezi manj podobni etalonskim, kot so si ti med seboj. Po drugi strani pa so si polrezi dveh nasprotnih koncev precej podobni, vendar dokaj drugačni od šablon, ki jih običajno uporabljamo.

Na enak način kot prejšnjo, preglejmo še vrtačo LV 70 (sl. 5). Ta je zaradi bolj zapletene oblikovanosti ustrenejši predstavnik večine izmerjenih vrtač, vendar pa še vedno toliko pregledna, da ni težko razločiti posameznih gradnikov.

Že na prvi pogled je jasno, da ima več žarišč odnašanja. Po plastnicah lahko sodimo, da leži drugo, vendar šibkejše, zahodno od najgloblje točke. Slika 5/b pa kaže, da ima vrtača nekaj metrov jugovzhodno od glavnega žarišča še tretje. Šiv, ki krožno poteka skozi prvo in tretje žarišče, je posledica oblikovanosti ilovnatega zasipa. Pač pa je zanimivejši tisti na zahodnem robu vrtače, ki sledi znani strukturni smeri.

Smeri padnic pobočij spet kažejo značilne odklone v zunanjem pasu, na kar opozarjajo tudi korelacije (sl. 5/č). V tej zvezi je zanimivo vprašanje, kakšen je vpliv posameznih žarišč reliefne energije na oblikovanost vrtače, kjer imamo v mislih predvsem prvo in tretje. Enako kot za prvo, izračunamo korelacije tudi za tretje žarišče. Iz obeh slik sestavimo novo, tako da upoštevamo tisto, kjer so vrednosti večje. Rezultat (sl. 6) na prvi pogled presenetni, saj je razpored »vplivov« posameznih žarišč precej drugačen, kot bi si mislili. To pa pomeni, da trenutno najgloblja točka vrtače ni merodajna za oblikovanje pobočij in je bolj slab približek resničnemu žarišču odnašanja.

Tudi pri tej vrtači je večji del polrezov spačen (sl. 7). Tisti, ki takšni niso, sestavljajo dve skupini. Prva obsega polreze s severa in vzhoda vrtače in ti se dosti ne razlikujejo od onih, ki jih poznamo že s prve vrtače. Popolnoma drugačni pa so tisti, ki na zahodni strani prerežejo stransko žarišče. V ravnini  $U, V$  zavzemajo diametralno nasproten položaj kot ostali. Njihova geometrija



Sl. 6. Vplivna območja glavnih žarišč vrtače LV 70.

1. Žarišče 1.
2. Žarišče 3.

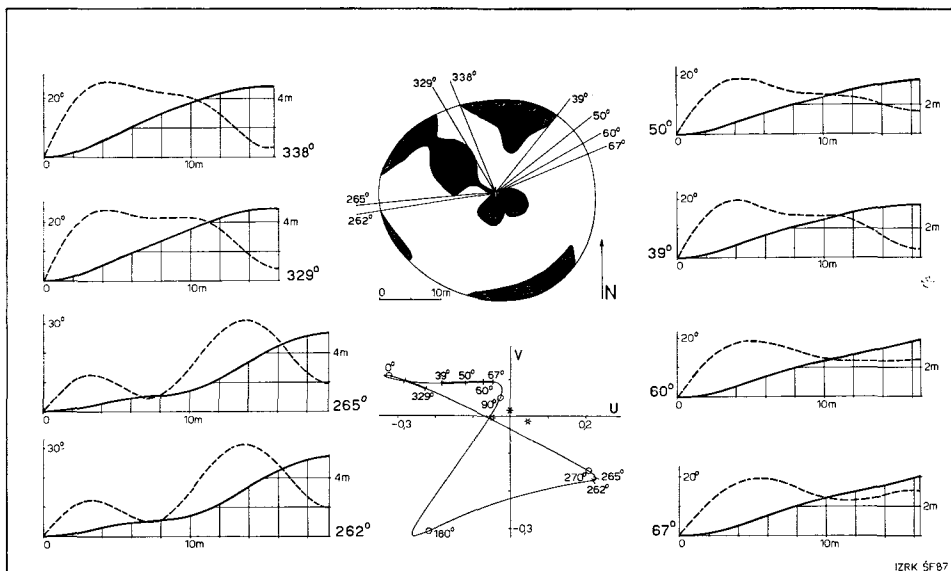
Fig. 6. Influence areas of the doline LV 70 main foci.

1. Focus 1.
2. Focus 3.

razločno kaže, da je med obema žariščema čvrst prag, ki preprečuje, da bi se srednji, nasuti del vrtače poenotil v eno samo območje.

Tistim polrezom, ki so v obeh vrtačah podobni, naklon od središča navzven najprej enakomerno narašča in doseže maksimum še sorazmerno blizu središča. Praviloma se nato zmanjša in zavzame vrednosti okrog  $20^{\circ}$ – $30^{\circ}$ . Proti obodu se nato še enkrat zmanjša in zopet umiri pri vrednostih tretjine do polovice maksima. Pri polrezih v severnem območju vrtače LV 73 »srednji« konstantni del manjka in »zunani« sledi neposredno maksimu.

Če te ugotovitve povežemo s prejšnjimi o smernih odklonih, pridemo do verjetne misli, da je takšna oblikovanost posledica različne odpornosti matične kamnine na pobočne procese. Zgornjih nekaj metrov je kamnina bolj razkrojena in zato manj odporna. Stabilnostni koti je manjši kot v nižjih predelih in umikanje pobočij hitrejše. Neenakomernost pri krojenju napravi maso močno anizotropno in oblikovanost pobočij se bolj ravna po razlikah v odpornosti kamnine kot po položaju žarišča reliefne energije. V globljih predelih je kamnina obratno bolje ohranjena, stabilnostni koti so večji, večja pa je tudi izotropnost, tako da se pobočja ravna po položaju žarišča. To pa tudi pomeni, da je umikanje pobočij v tem predelu počasnejše od rahljanja zgornjega območja — ali pa procesa sploh nista sinhrona. Marsikaj kaže, da je umikanje pobočij danes zanemarljivo. Vsekakor pa bo potrebno to misel še preveriti z nadaljnji raziskavami oz. računalniškimi simulacijami (F. A h n e r t, 1987).



Sl. 7. Vrtača LV 70.

- a) Območja sprejemljivih in spačenih polrezov.
- b) Primerjava dejanskih oblik polrezov z etalonskimi.

Zvezdice:

- gornja: pravilni stožec,
- leva: vrtenina polovice sinusoide,
- desna: vrtenina četrtine sinusoide.

Fig. 7. Doline LV 70.

- a) Proper and biased semi-profiles regions.
- b) Correlations of the actual semiprofiles to standards.

Asterisks:

- upper: regular cone,
- left: half sinusoid rotational body,
- right: quarter sinusoid rotational body.

Kolikor je zaključevanje na osnovi dveh vrtač sploh smiselno, lahko zapišemo, da je oblikovanost tistih njihovih pobočij, ki niso tako ali drugače motena, presenetljivo podobna. To daje upati, da je osnovnih oblik le malo — vsi odkloni pa bi bili tedaj zapis nekih krajevni pogojev, ki jih bo tako dosti lažje identificirati.

### SKLEPNE MISLI

Geomorfološka preiskava je pokazala predvsem smiselnost doslednega obravnavanja ploskev in ne izbranih pojavov. Izkazalo se je, da imamo na sorazmerno majhnem ozemlju, kar omejuje posploševanje, več značilnih naborov ploskev, ki jih lahko imamo za reliefne enote višjega reda kot EME. Obravnavano površje ne kaže niti značilnih reliktnih oblik, kar bi nakazovalo tak ali drugačen ciklični razvoj, niti oblikovanosti, ki bi govorila za zniževanje v uravnovešenih razmerah (steady state), temveč se zdi, da je osnovna konfiguracija

(neo)tektonska. Glavna preoblikovalna agensa sta pobočni procesi, kamor šteje tudi vzporedni umik pobočij, in kemično razkranjanje (korozija). Da bi te ugotovitve dokončno preverili in dali procesom prave dimenzije, je potrebno podrobno proučevanje recentne superstrukturne tektonike. Posebnega pomena je tu konstrukcija teoretičnih modelov preoblikovanja reliefa ob sočasnem tektonskem premikanju, ki lahko prekosi stopnjo denudacije.

Podobno so nerazčiščena vprašanja, povezana z eksodinamiko. Ugotoviti moramo obseg in učinke preteklih in sedanjih pobočnih procesov ter ugotoviti forme, ki izhajajo iz njih. Po drugi strani moramo podrobno razčleniti inačice kemičnega preperevanja tako v odnosu do petrografske sestave matične kamnine, kot glede na to, ali poteka na površju gole skale, pod gruščem ali pod ilovico.

Statistično proučevanje razmestitve vrtač je pokazalo predvsem to, da se po tej plati vrtače ne razlikujejo od mnogih drugih geoloških populacij. Z drugo besedo, vzrokov za njihovo razpostavo ni iskati med eksogenimi, temveč endogenimi faktorji. Isto velja tudi za korozijska brezna, oboje pa kaže na tesno povezavo vrtač in brezen. Smiselno je torej nadaljnje proučevanje tistih teoretičnih modelov, ki vidijo genetsko povezavo med brezni in vrtačami (W. M a u c c i, 1952).

Oblikovanost samih vrtač je v tem prispevku šele komaj načeta. Pokazalo se je, da sta tako kot pri večjih oblikah, tudi tu najpomembnejša oblikovalna procesa ploskovna denudacija, ki jo spremlja vzporeden umik pobočij, in korozijsko kraško razčlenjevanje. Motnje v idealni obliki vrtače, ki se kažejo kot odkloni od usrédnosti, očitno odražajo neenakomernosti v matični kamnini. Kaže, da odpirajo pot k razumevanju, katere od številnih geoloških nezveznosti, ki jih zaznamo v območju vsake vrtače, so genetsko pomembne, katere pa ne. Ko bi se izkazalo, da seže njihov vpliv globlje v podzemlje, so morda ključ za razumevanje speleogenetskega dogajanja v nedostopnem podzemlju.

Nadaljnje raziskave so v teku in verjetno je, da bomo mogli vsaj na nekatera vprašanja jasneje odgovoriti že v doglednem času.

## LITERATURA

- Ahnert, F., 1987: Approaches to dynamic equilibrium in theoretical simulation of slope development. *Earth surface processes and landforms*, 12, 3—15.
- Cvijić, J., 1893: Das Karstphänomen. *Geographische Abhandlungen herausgegeben von A. Penck*, 5, 217—330.
- Cvijić, J., 1895: Karst, geografska monografija, 1—135, Beograd.
- Čar, J., 1982: Geološka zgradba požiralnega obrobja Planinskega polja. *Acta carsologica*, 10, 75—105.
- Čar, J., 1986: Geološke osnove oblikovanja kraškega površja. *Acta carsologica* 14/15, 31—38.
- Davis, J. C., 1973: *Statistics and data analysis in geology*. Wiley & Sons, 1—550, New York.
- Dennis, J. G., 1972: *Structural geology*. The Ronald press company, 1—532, New York.



- Fairbridge, R. W., 1968: The encyclopedia of geomorphology. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., 1—1259, Stroudsburg, Penn.
- Forti, F., 1973, Proposta di una scala di carsificabilità epigea nelle carbonatiti calcaree del Carso triestino. *Atti del Museo Civico di Storia naturale di Trieste*, 28/1, 67—100.
- Gams, I., 1963: Logarček. *Acta carsologica*, 3, 7—84.
- Gams, I., 1973: Die zweiphasige quartärzeitliche Flächenbildung in den Poljen und Blindtälern des Nordwestliches Dinarisches Karstes. *Geographische Zeitschrift, Beihefte*, 143—149.
- Gospodarič, R., 1982: Morfološki in geološki položaj kraških votlin v ponornem obrobju Planinskega polja. *Acta carsologica*, 10, 157—171.
- Habič, P., 1968: Kraški svet med Idrijo in Vipavo. SAZU, Dela 21, Inštitut za geografijo 11, 1—243, Ljubljana.
- Habič, P., 1972: Osnovna speleološka karta Slovenije, list Vrhnika 2-b, 1 : 25 000. 1—160, elaborat s prilogami v arhivu IZRK ZRC SAZU, Postojna.
- Habič, P., 1973: Osnovna speleološka karta Slovenije, list Vrhnika 2-d, 1 : 25 000. 1—156, elaborat s prilogami v arhivu IZRK ZRC SAZU, Postojna.
- Habič, P., 1978: Razporeditev kraških globeli v Dinarskem krasu. *Geografski vestnik*, 50, 17—29.
- Habič, P., 1982/a: Pregledna speleološka karta Slovenije. *Acta carsologica*, 10, 5—22.
- Habič, P., 1982/b: Kraški relief in tektonika. *Acta carsologica*, 10, 23—44.
- Habič, P., 1986: Površinska razčlenjenost Dinarskega krasa. *Acta carsologica* 14/15, 39—58.
- Kunaver, J., 1982: Geomorfološki razvoj Kaninskega pogorja s posebnim ozikom na glaciokraške pojave. *Geografski zbornik*, 22/4, 197—346.
- Maucci, W., 1952: L'ipotesi dell'Erosione inversa, come contributo allo studio della speleogenesi. *Bollettino della Società Adriatica di Scienze Naturali*, Trieste, 46, 1—60.
- Mc Connell, H., Horn, J. M., 1972: Probabilities of surface karst. V: Chorley, R. J. (ur.): *Spatial analysis in geomorphology*. Harper & Row, 111—133, London.
- Melik, A., 1963: Slovenija, geografski opis, splošni del. Slovenska matica, 1—617, Ljubljana.
- Perišić, M., 1983: Primjena geostatistika. Rudarski institut, Beograd, 1—538, Beograd.
- Rayner, J. N., 1971: An introduction to spectral analysis. Pion, 1—174, London.
- Roglič, J., 1957: Zaravni na vapnencima. *Geografski glasnik*, 19, 103—134.
- Scheidegger, A. E., 1983: Instability principle in geomorphic equilibrium. *Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge*, 27/1, 1—19.
- Scheidegger, A. E., 1986: The catena principle in geomorphology. *Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge*, 30/3, 257—273.
- Sneath, P. H. A., Sokal, R. R., 1973: Numerical taxonomy. W. H. Freeman and company, 1—573, San Francisco.
- Sparks, B. W., 1977: *Geomorphology*. Longman, 1—530, London, New York.
- Radinja, D., 1972: Zakrasevanje v Sloveniji v luči celotnega morfogenetskega razvoja. *Geografski zbornik*, 13, 197—242.
- Šušteršič, F., 1978: Prispevek k poznavanju pritočnega dela Planinskega polja in Postojnskih vrat. *Geografski vestnik*, 50, 51—63.
- Šušteršič, F., 1980: Kvantitativno proučevanje elementov fizične speleologije v prostoru Planinskega polja, 2. 1—21, elaborat s prilogami v arhivu IZRK ZRC SAZU, Postojna.
- Šušteršič, F., 1982: Nekaj misli o oblikovanosti kraškega površja. *Geografski vestnik*, 54, 19—28.
- Šušteršič, F., 1985: Metoda morfometrije in računalniške obdelave vrtač. *Acta carsologica*, 13, 79—97.
- Šušteršič, F., 1986: Model čistega krasa in nasledki v interpretaciji kraškega površja. *Acta carsologica* 14/15, 59—70.

- Šušteršič, F., Puc, M., 1970: Kraško podzemlje ob severovzhodnem kotu Planinskega polja. *Acta carsologica*, 5, 205—270.
- Šušteršič, F., Jakopin, P., 1979: Kvantitativno proučevanje elementov fizične speleologije v prostoru Planinskega polja. 1—41, elaborat v arhivu IZRK ZRC SAZU, Postojna.
- Timofeev, D. A., 1984: Elementarne morfološke edinice kak objekt geomorfološkega analiza. *Geomorfologija*, 1984/1, 19—29.
- Trudgill, S., 1985: *Limestone geomorphology*. Longman, 1—196, London and New York.
- Vincent, P. J., 1987: Spatial dispersion of polygonal karst sinks. *Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge*, 31/1, 65—72.
- Williams, P. W., 1972: The analysis of spatial characteristics of karst terrains. V: Chorley, R. J. (ur.), *Spatial analysis in geomorphology*. Harper & Row, 133—163, London.

## THE SMALL SCALE SURFACE KARST AND SOLUTION DOLINES AT THE NORTHEASTER BORDER OF PLANINSKO POLJE

### Summary

Since the Cvijić's monography *Das Karstphänomen* (1893) the opinion that the karst relief is in a way relic fluvial, deformed by karst shaping has dominated. The last decades research all over the world has shaken a lot the confidence to these ideas. Thus, an experimental polygon was erected near the northeastern border of the Planinsko polje, where geological, speleological and geomorphological investigations are in course. The latter investigations encompass both the general relief shaping as well as the small phenomena, solution dolines especially. This paper is an essay to present the first results of the geomorphological research, providing a preliminary information rather than a survey of the final conclusions.

The present paper encompasses the general relief morphology, and the spatial distribution of dolines, and the proper dolines shaping. The discussion possible is added to every chapter, whilst the guidelines to further research are collected in the final chapter.

The research area was planned in such a way that it encompasses the surface above the most important outflow caves of the Planinsko polje (Logarček and Najdena jama), and covers the contact between lithologically quite different lower and upper Cretaceous limestones. The area is one of the most speleologically studied in Slovenia (I. Gams, 1963, F. Šušteršič, M. Puc, 1970, R. Gospodarič, 1982) and it offers ample possibilities to compare geological, geomorphological and speleological findings.

At first a detailed geological map on the scale 1:5000 (J. Čar, 1982) was done and some morphometrical analyses performed. The last showed in several ways that fluvial elements in the present relief may not be expected. So, the following geomorphological mapping was designed in a flexible way, the legend being not fixed in forward. It was oriented to geometry and factography, avoiding the genesis. Special concern was given to the dolines. In 150 m wide stripe, directed parallelly to the dip was destined for detailed studies of dolines and 20 of them were measured in a special way (F. Šušteršič, 1985). A computer program pack was developed to process the field data. Filtered doline shape, its volume, the direction

and the amount of the doline surface slope can be computed. In such a way one can distinguish which semiprofiles are not biased and numerical taxonomy operations can be executed upon them.

The field works started in 1980, being concluded in 1983 in general lines. The theoretical work, including development of computer software lasted up to the end of 1986.

### GEOMORPHOLOGICAL PRESENTATION

The studied territory lies at the northeastern border of the Planinsko polje (Fig. 1/a). The proper area is not covered by a line pattern on the map. A general geological sketch is added on the right side (Fig. 1/b). Just physiographically one may divide it in three units. The northern and eastern border are marked by elevations named Lekanov vrh, Vogence, Lešnikov vrh, Vrh petelina, and Lanski vrh. The southwestern unit is the immediate polje margin. Areally the largest ground between is a rough, undulated surface, pitted with numerous solution and collapse dolines.

The present rocks are carbonates, on the eastern part being lower cretaceous, bituminous, partly dolomitic limestones, while the western part is built of upper cretaceous, micritic, very pure limestones, generally sedimented in thick strata with gentle dip towards west. The whole area is intensively fractured, but only on the very west rim an important regional fault touches it.

Being situated in a very frequented karst region the area has been mentioned by many karst geomorphologists, though no one has paid a special interest to it. Up to the middle seventies the morphology was interpreted as a number of fluvial levels (terraces), destroyed by karstification. Our work found many illogicalities in those views and so we took up the investigation in a very elementary way, consciously avoiding any starting hypothesis. So we made use of D. A. Timofeev's principle of »elementary morphological unit« (EMU) (1984). He defined it as the smallest single part of the surface, characterized by uniform slope, detailed morphology, aspect, and limited by breaks of slope. The present geomorphological map (Annex 1) is an attempt to perform these ideas in practice. All the terminology is omitted and the EMUs are marked by combinations of letters only, in order to avoid any confusion with terms used already, and their present meaning.

Some EMUs could be areally infinite (A) by their own logic, while other could be such in one direction only (L).

A.1 EMUs of the kind are areally the most important. Their slope trend is  $5^{\circ}$ – $10^{\circ}$  and the fall direction points generally towards the polje (SW). In this direction their profile is nearly straight. Perpendicularly to this direction they undulate, the wave length being more than 100 m and the amplitude about 10 m. The EMUs A.1 are pitted with solution dolines and generally covered with grikes. The uniformity of slopes indicates past slope processes which are seemingly dead now.

A.2 At the first sight such EMUs resemble a lot the previous ones, but they are inclined  $10^{\circ}$ – $20^{\circ}$ . Apparently, the slope processes are still active. So dolines are an exception only and grikes are scarce. One might say that EMUs A.2 are continuations of the EMUs A.1 only, but as a rule a distinctive break is between them.

A.3 EMUs of this kind are flat in general, but rough in detail. As in the case of EMUs A.1 dolines are frequent, but the coalescent ones are exceptional. Grikes are as frequent as with the A.1 ones. Usually EMUs A.3 lie at the foot of the A.1.

A.4 At the foot of the EMUs L.1 the A.3 or A.1 ones are typically transformed. The same goes for the bottoms of some irregular shallow terrain depressions. The dolines are either coalescing as a rule or apparently ranged in lines. The inter-

mediate areas are much smaller than in former case. The bedrock is more weathered, the grikes are ruined and seem to be just unearthed from beneath some kind of regolith cover.

AL The area in direct contact with the polje border is many times longer than wide, but it seems that it is an effect of the linear polje border only, while their inner logic permits areal infinity. EMUs AL are inclined  $15^{\circ}$ – $30^{\circ}$ , even more. There is a great variety of active slopes, depending on local rock properties. There is a certain share of nearly perpendicular walls. Being very straight apparently they are not due to cave roof collapse. The slope processes in the AL EMU are active but there is nearly no colluvial material at the foot. On one hand it is a sign that corrosion of debris is faster than the downslope mowing. On the other hand the foot of AL EMUs is very straight in plan, without traces of either fluvial erosion (undercutting) or lateral corrosion. The most plausible conclusion is that the polje border has been formed relative recently by superstructural tectonics.

L.1 This is the most frequent among the infinite in one dimension ones. They resemble a lot to the fluvial terrace scarps, but their tops and feet are not horizontal in longitudinal direction. In the transversal one they are not higher than 10 m and they perform all the features of paralelly retreating slopes. The L.1 EMUs extend in the dinaric direction as a rule. At their top they are in touch with EMUs A.1, while the A.4 occur the most frequently at the foot. Doline slopes are cut very scarcely to EMUs L.1.

L.2 They resemble a lot to the former ones but their directions are arbitrary. The L.1 ones never have a symmetrical equivalent, while they are very usual with the L.2. Some kinds of linear depressions are trapped between them, but they are by no means sections of dry valleys, as they lack any fluvial logic. The activity of the EMUs L.2 is much lower than the activity of doline slopes and so many dolines are cut into them.

L.3 Generally they equal to small cuervas governed by locally thicker limestone strata. Some small fault-formed scarps on the counter-dip side are marked in this way too.

L.4 are sides of the only true bogaz in the area.

With the only exception of the latest all kinds of EMUs occur on all the present types of rock and the change of lithological properties does not affect their forms. So one may conclude that they depend on structural parameters.

Some arrangements of EMUs usually appear together, though their common existence does not imply the catena relations (A. E. Scheidegger, 1986). The most noticeable is the common appearance of EMUs A.1 and L.1. As a rule in such arrangements the A.1 are facing southwest and the L.1 northeast, encompassing unite masses of rock. There is no exogenic process to bring about such a disposition. At the foot of the L.1 (considering the parallel slope retreat) vertical superstructural faults were established, along some of them sinking of the A.1 side and lifting of the L.1 side was detected. In the case of the cave Logarček the process has cut the cave in two pieces after its formation. An open question remains whether the planes A.1 are relics of an older uniformly inclined plane or they are transformations of the southwestern parts of the already formed tectonic blocks, shaped after lifting.

Another frequent arrangement are some kinds of closed or open terrain depressions, built in EMUs A.1 and A.3. Their ground planes are irregular and the bottom is several times pitted with dolines. It seems that their existence supports the well known Cvijić's hypothesis of the uvalas formation, but it comes out that the depression position is just one possible outcome of the paternal surface undulations.

More interesting are longitudinal depressions, bounded by paralell EMUs L. 2. It is very possible that their existence is rooted in rock fracturation, but detailed studies have not been executed. Anyway, the arrangement of EMUs is legitimate to be treated as a hierarchically higher relief element than an EMU.

The relief organization of the studied area may thus be regarded as a two-component system. Subrecent or recent superstructural tectonic (neotectonic) has brought about the masses disposition, if the lower size order is about 50 m. Such a groundwork has been being choreographed by paralell slope retreat and medium scale karstification, being not able to cancel out the purely tectonical primary relief organization. So, the physiography may not be interpreted as typical for any of the basic geomorphic systems.

### DOLINES DISTRIBUTION

All the dolines in the studied area were mapped on the scale 1 : 5000. The collapse ones were excluded from further processing and no classification among the presumably solution ones was done. The whole territory covers 3,77 km<sup>2</sup>, 0,25 km<sup>2</sup> being affected by collapsing. This share is omitted in the further discussion. The total number of mapped solution dolines is 918, and the overall density is 260,8 dolines/km<sup>2</sup>. The density varies with lithology and 212,2 dolines/km<sup>2</sup> were established on lower cretaceous limestones, while the density 352,5 dolines/km<sup>2</sup> holds for upper cretaceous. The number of doline centres was counted in circles of the average doline influence area. The rough count data were smoothed by a conical filter and a continuous (density) plane was computed (Fig. 1/c).

To check the relations towards the corrosion shafts all the known caves of the kind in the area were processed in the same way. The total number of them is 70, the average density being 19,9 shafts/km<sup>2</sup> (Fig. 1/d). These data were related to doline data, obtaining correlation  $r = 0,42577$  (0,1 % significance level).

Another question bound to the doline density is percentage of surface, affected by dolines. During motorway construction works a great deal of the area was surveyed on the scale 1 : 1000. These data were used to compute the average share of the affected area. The average is 64,03 %, ranging from 29,5 % to 85,5 %, calculated over 10 000 m<sup>2</sup> areas.

Some basic statistics concerning distribution of dolines were performed. The quadrat statistic showed that the null hypothesis of random distribution may be received at 5 % significance level, but it must be rejected at 1 % level.

The nearest neighbour analysis yielded:  $R = 1,22578$  (for total),  $R = 1,24381$  (for lower cretaceous), and  $R = 1,21667$  (for upper cretaceous) at the 0,1 % significance level. The Donnelly's correction is not considered (discussion in Slovene text).

The immediate neighbours were determined by constructing symmetrals among nearby dolines. The average number of neighbours is 5,84. Nevertheless, it does not imply that the arrangement is hexagonal, as any quadrangular pattern being not rectangular too, produces the same effect. A side or two are short compared to the others then, and just this effect is very common in our case.

The H. Mc Connell and J. M. Horn's (1972) method was used too. The negative binomial distribution fits the best the square count data. It means, that the uneven distribution of dolines on lower and upper cretaceous limestones did not affect the statistics, probably due to proper proportions of the both populations. If one may explain the negative binomial distribution in such circumstances at all, it seems that the best interpretation is that the basic distribution is the Poisson one, but its parameter is Gamma distributed. Such cases are very often in ore minerali-

zation spatial distributions and it means that the doline distribution follows a very general geological structure, i. e. tiny fracturation.

The previous statistical findings can be summarized in a few general conclusions. Dolines appear more frequently on the thickly stratified, pure micritic upper cretaceous limestones, rather than on partly dolomitized lower cretaceous limestones, being somewhere thinly stratified or even laminated. On the other hand lithology does not control the pattern of spatial distribution, which appears to be governed by structural factors.

### DOLINES SHAPING

The dolines considered in this chapter are generally named solution dolines, but this expression just implies such a genesis, which remains in several ways still enigmatic. The usual doline morphometry knacks proved not to be very effective (F. Šušteršič, 1985), another, more general access has been designed (o. c.). Twenty dolines in the experimental polygon were measured in this way bringing about a number of interesting data. Anyway, in this paper only two of them are presented, in order to show the method, rather than to start a discussion about their formation.

Doline LV 75 is an example of a simple doline. In its ground plane (Fig. 2/a) three concentric zones can be perceived. In the outermost the slopes are not very centrally oriented, but they apparently try to follow some structural lines. The effect becomes more evident on the Fig. 2/b where the isoplethes connect the points of equal slope direction. Fig. 2/c shows that the inclination of the slope is relatively gentle in this area.

The middle area is characterized by central slope orientation and extremes in the gradient. The absolute gradient maximum is in the southwester quadrant, probably due to the combined dip angle and insolation (in fact shadow) effect.

The central zone is rough in small scale, but as it is just the top of the sediment fill it is of no further interest.

On the eastern slope of the doline sharp changes of the slope direction were detected. Those lines of discontinuity (in the mathematical sense) were named sutures. Sutures are found in all the measured dolines and they apparently follow local structural directions. Further study of the proper sutures meaning is in course, alluding them to be connected with the master voids.

The direction of the maximum slope decline more or less from the ideal, central direction. On the Fig. 3 the amounts of deviation (ordinate) are plotted against the actual direction (abscissa). The figurative points are clustered near two very distinct directions, i. e.  $20^{\circ}$  and  $170^{\circ}$ , the deviations being maximal there too. It means that those directions are very dominant, extending their influence quite far around. This effect is common to all measured dolines (excluding the most complicated ones) and is well related to dinaric structural directions. (The internal pattern of the clusters is induced by scanning and has nothing to do with the doline shape).

On the other hand a small, isolated cluster is in the western direction. This being the dip direction, it is easy to explain it by the slope instability, induced in such a way.

The mentioned deviations may be transformed to their cosines and the correlation of any point in the doline, with the ideal shape is obtained. Having no proper experience, the value 0,9000 was arbitrarily decided to be the threshold between proper and biased doline shape. So, the semiprofiles, computed over proper slope regions only are informationally valuable. The correlation plot of the doline is shown on the Fig. 2/d. A simplified version of it is Fig. 2/a, where one may see that only

a small part of the doline is regular enough to obtain proper semiprofiles. Some of them are drawn on both sides of the same figure.

It was found that the first three harmonics of any semiprofile contain more than 95 % of the total semiprofile variance and in most cases 99 % too. Thus, the fourth harmonic may be omitted without important lose of information. The first three may be interpreted as components of vectors in threedimensional space and the cosines of the mutual angles are measures of correlation (similarity). Any geometrical shape satisfactorily represented by the first three harmonics can be treated in the same way. So, the three most usual doline model shapes (cone, semisinusoidal and quarter-sinusoidal rotational bodies) were expressed in the same way. The harmonics vectors were normalized and a plane, perpendicular to the resultant defined (U, V). Any semiprofile representant vector transfixes the U, V plane in a point. The distances among these points are approximative measures of the similarity.

Any semiprofile in the doline can be computed and their representative points in the U, V plane form a closed curve (Fig. 4/b). Asterisks represent the three standard shapes and the heavy line the proper semoprofiles. Though they lie in two different parts of the doline they are quite similar, while all the rest are situated in various places of the U, V plane.

The proper semiprofiles differ from the standard ones a bit and it is a sign that up-to-date formalization of the dolines shaping has not been very effective. The proper semiprofiles express again the three well known concentrical stripes, permitting some more insight into the very geometrical relations.

The doline LV 70 is much more complicated, but more representative too. Its ground plane and additional maps (Fig. 5) express several foci of mass removal. Anyway, Fig. 6 shows that the influence areas of foci nr. 1 and 3 are not logically situated. This may be an effect of quite arbitrary organization of the central, loamy part of the doline, or just an effect of the computative algorhytm. Anyway, the focus nr. 2 is not doubtful and a bedrock barrier separates it from the others.

The same taxonomical procedures as before were performed. It is not surprise that the semiprofiles, running over two foci differ a lot from others, but it is a little unexpected, that the rest of them are practically the same as in the former doline. It gives a hope that the proper semiprofile basic shapes are few only, that will facilitate a lot the further studies. Other properties of the doline are visible on the Fig. 5 and no further comment is needed.

#### SOME GUDELINES FOR THE FUTURE

The geomorphological investigation showed that the general relief shaping can not be interpreted as relic fluvial and that it may be better explained by recent or subrecent superstructural movements. In some places it has been proved, but the overall extent and the time dynamics must still be determined. The only important exogenic processes appear to be the slope processes (including paralell retreat) and chemical weathering (corrosion combined with different kinds of debris and terra rossa). So far the dimensional and temporal relations between them are not known yet. There is no reason to believe that the exogenic activity overwhelms the endogenic, but all these relations are not scaled yet. Another important additional investigation should be construction of proper computer models to check the ideas exposed.

Statistical study of the doline spatial distribution showed that from this point of view they do not differ from many geological spatial distributions. It seems that their spatial distribution pattern is related to tiny fracturation of bedrock. On the

other hand the absolute doline density values are controlled by lithology. There is no need to induce any proper exogenic process to explain those facts.

The dolines morphology shows similar relations as the general surface one. The important shaping processes are parallel slope retreat and chemical weathering, the former being related to the very position of the mass removal focus (or foci) and the bedrock discontinuities, while the latter is very probably controlled by the master fractures and lithology too. Some linear elements — sutures — were detected in the very doline surfaces, which can be easily related to the well known structural directions. If they prove to be related to the master voids and thus extrapolations might be possible to the underground, they could be a powerful tool for the inaccessible karst conduits studies.

Further research is in course and it is hoped that at least some of the exposed problems could be clarified.