GEOINSTITUT
posebna izdanja, knjiga 8

Prof. dr
MIROSLAV MARKOVIĆ

OSNOVI PRIMENJENE GEOMORFOLOGIJE

1983.

UDK 551.4
Yu ISSN 0351-4498

Prof. Dr MIROSLAV MARKOVIĆ

OSNOVI PRIMENJENE GEOMORFOLOGIJE

POSEBNA IZDANJA, KNJIGA 8

GEOINSTITUT
OOUR ISTRAŽIVANJE MINERALNIH SIROVINA,
INŽENJERSKA I HIDROGEOLOGIJA

BEOGRAD, 1983.

Redakcioni odbor

Vera Ćebić
Mladen Ignjatijević
Dr Nadežda Krstić
Milan Obrenović
Dr Veljko Omaljev
Panta Radulović
Dr Slobodan Vukašinović

Glavni i odgovorni urednik

Dr Veljko Omaljev

Recenzenti

Prof. Dr Milorad Dimitrijević
Dr Antonije Antonović

Izdavač: GEOINSTITUT, OOUR IMSIH.
Rovinjska 12, Beograd

Umnožavanje: Vidosav Novaković,
Beograd, Mačvanska 1.

Tiraž: 5oo primeraka

Beograd, 1983. godine.

Široki krug stručnjaka, čija je delatnost neposredno vezana za površinu zemlje, svakodnevno se u svojoj praksi susreće sa pitanjima vezanim za geomorfologiju. Najbrojniji medju njima su, svakako, inženjeri geologije. Slede ih geografi različitih specijalnosti, inženjeri šumarstva, inženjeri poljoprivrede, gradjevinski inženjeri i brojni drugi.

Stručnjaci uglavnom dobro poznaju principe opšte geomorfologije. Izučavali su je tokom studija kao poseban predmet, ili su je upoznali kroz više geoloških predmeta, posebno kroz opštu geologiju i inženjersku geologiju.

O opštoj geomorfologiji postoji obimna literatura. Ona, izmedju ostalog, obuhvata i veći broj udžbenika. Takvi priručnici postoje i na našem jeziku.

Klasična, opšta geomorfologija, medjutim, ne zadovoljava više sve veće zahteve savremenih istraživanja površine zemlje. Sve češće se javlja potreba kvantitativnog izučavanja procesa i oblika, utvrdjivanja odnosa reljefa i geološke gradje i otkrivanja najmladje tektonske aktivnosti terena. Uobičajeni opisi utvrdjenih odnosa takodje više nisu dovoljni. Savremena izučavanja reljefa zahtevaju geomorfološko kartiranje i grafičku dokumentaciju.

U odnosu na opštu geomorfologiju literatura iz primenjene geomorfologije je znatno je oskudnija. Kompletnih udžbenika i priručnika veoma je malo. Na našem jeziku do sada ih nije bilo.

Ovaj priručnik ima dvojaku namenu. On treba da posluži kao udžbenik za upoznavanje principa primenjene geomorfologije i sagledavanje njenih mogućnosti. Sa druge strane, prezentovani materijal treba da posluži i kao praktično uputstvo za primenu pojedinih postupaka kvantitativne geomorfološke analize i geomorfološkog kartiranja. Ako takvu primenu nadje makar i kod malog broja zainteresovanih stručnjaka, trud uložen u njegovu pripremu višestruko se isplatio.

Prilikom pripreme priručnika nalazio sam široko razumevanje i svesrdnu pomoć. Priloge u tekstu izradili su Zoran Tasić, dipl.ing. geologije iz Geoinstituta, Beograd i Nada Stanić, dipl.ing. geologije, saradnik Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu. Njihov udeo je veći od grafičke obrade. Zajedno smo razmatrali razumljivost i ilustrativnost iznetih primera.

Tekst je u radnoj verziji čitala Mr Radmila Pavlović, dipl. inženjer geologije, asistent Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu. Njene sugestije bile su mi, takodje, od velike koristi.

Kritičku ocenu teksta i recenziju materijala dali su Dr ing. Milorad Dimitrijević, red. profesor Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu i Dr ing. Antonije Antonović, naučni savetnik u Geoinstitutu, Beograd.

Posebno značajna bila mi je podrška Dr Branislava Ćirića, naučnog savetnika u Institutu za nemetale iz Beograda. Njegovim ličnim zauzimanjem priručnik je ilustrovan primerom geomorfološke karte u boji.

Publikaciju udžbenika preuzeo je na sebe kolektiv Geoinstituta iz Beograda. Na taj način relativno nova metodologija istraživanja postaje pristupačna najširem krugu zainteresovanih stručnjaka.

Imenovanim kolegama i brojnim drugim stručnjacima iz ove oblasti, a posebno kolektivu Geoinstituta i njegovom rukovodstvu, najtoplije zahvaljujem na podršci i pomoći koju su mi pružili.

Beograd, 1983. godine.

Dr ing. Miroslav Marković,
vanredni profesor Rudarsko-
geološkog fakulteta u Beogradu.

SADRŽAJ

strana

I DEO: OSNOVNI POJMOVI

1. PREDMET I ZADATAK GEOMORFOLOGIJE ..... 11.
2. POJAM RELJEFA ..... 11.
3. GEOMORFOLOŠKI PROCES ..... 13.
4. RELJEF I VREME ..... 16.
5. KLASIFIKACIJA OBLIKA ..... 18.

II DEO: KVANTITATIVNA GEOMORFOLOŠKA ANALIZA

1. GEOMORFOLOŠKA ANALIZA ..... 25.
   1.1. KVALITATIVNA ANALIZA ..... 25.
   1.2. KVANTITATIVNA ANALIZA ..... 26.
2. METODI GEOMORFOLOŠKE ANALIZE ..... 28.
   2.1. KABINETSKI METODI ..... 28.
      (1.) Analiza topografskih karata ..... 29.
      (2.) Analiza geoloških karata ..... 29.
      (3.) Analiza satelitskih snimaka i aerosnimaka ... 3o.
      (4.) Matematičko-statistička analiza ..... 32.
      (5.) Ispitivanja eksperimentalnih modela ..... 34.
      (6.) Laboratorijska ispitivanja ..... 34.
   2.2. TERENSKI METODI ..... 35.
      (1.) Osmatranje po maršruti ..... 35.
      (2.) Praćenje granice ..... 36.
      (3.) Snimanje profila ..... 36.
      (4.) Stacionarna osmatranja ..... 37.
3. POSTUPCI KVANTITATIVNE GEOMORFOLOŠKE ANALIZE ..... 37.
      (1.) Analiza energije reljefa ..... 38.
      (2.) Analiza nagiba padina ..... 49.
      (3.) Poredjenje realnog stanja reljefa
      sa teorijskim modelom ..... 59.

strana

(3.1.) Teorijski analogon uzdužnog
profila vodotoka ..... 6o.
- Logaritamska kriva ..... 61.
- Parabola ..... 64.
(3.2.) Teorijski model razvoja reljefa
u vremenu ..... 73.
(4.) Analiza anomalija parcijalnog hidra-
uličkog gradijenta ..... 85.
(5.) Analiza erozionog integrala ..... 94.
(6.) Analiza drenažnog sistema ..... loo.
(6.1.) Kategorizacija tokova ..... lol.
(6.2.) Indeks bifurkacije ..... lo5.
(6.3.) Indeks dužina ..... lo7.
(6.4.) Zakon broja tokova ..... lo8.
(6.5.) Zakon dužina tokova ..... 112.
(6.6.) Analiza dužina tokova ..... 114.
(7.) Analiza orijentacije ..... 116.
4. VERODOSTOJNOST PODATAKA MORFOMETRIJSKIH ISPITIVANJA .. 119.
LITERATURA ..... 122.

III DEO: GEOMORFOLOŠKO KARTIRANJE

1. UVOD ..... 127.
2. DEFINICIJA GEOMORFOLOŠKE KARTE ..... 129.
3. SADRŽAJ GEOMORFOLOŠKE KARTE ..... 13o.
(1.) Podaci o geološkoj gradji terena ..... 13o.
(2.) Morfogenetski podaci ..... 132.
(3.) Morfografski podaci ..... 137.
(4.) Morfometrijski podaci ..... 138.
(5.) Morfohronološki podaci ..... 14o.
4. PRIKAZ PODATAKA NA KARTI ..... 141.
(1.) Prikaz geološke gradje ..... 142.
(2.) Prikaz morfogeneze ..... 144.
(3.) Prikaz morfografskih podataka ..... 146.

strana

(4.) Prikaz morfometrijskih podataka ..... 149.
(5.) Prikaz morfohronologije ..... 151.
5. LEGENDA I TUMAČ ..... 153.
(1.) Legenda geomorfološke karte ..... 153.
(2.) Tumač ..... 155.
6. METODOLOGIJA GEOMORFOLOŠKOG KARTIRANJA ..... 157.
(1.) Metodološki pristup ..... 157.
(2.) Period pripremnih radova ..... 159.
(3.) Terenska istraživanja ..... 165.
(4.) Period završnih radova ..... 168.
LITERATURA ..... 17o.

I DEO

OSNOVNI POJMOVI



1. PREDMET I ZADATAK GEOMORFOLOGIJE

Termin geomorfologija predstavlja kovanicu reči grčkog porekla, koja u slobodnom prevodu označava nauku o oblicima zemlje. Zadatak i predmet proučavanja ove nauke obuhvata utvrdjivanje mehanizama procesa u kojima nastaje reljef, utvrdjivanje nastanka i evolucije reljefa, kao i njegovih svojstava, i utvrdjivanje odnosa oblika reljefa i svojstava stenske mase u kojoj je reljef formiran. Ovako definisana geomorfologija pristupa proučavanju reljefa sa tri aspekta: morfografskog, morfometrijskog i morfogenetskog.

Morfografija ima za zadatak inventuru, opis i klasifikaciju oblika koji čine reljef jedne oblasti. Zadatak morfometrije je utvrdjivanje veličinskih parametara koji karakterišu pojedine geomorfološke procese, odnosno oblike reljefa. Morfogeneza obuhvata proučavanje nastanka oblika reljefa, rekonstrukciju njihove evolucije, utvrdjivanje uslovljenosti reljefa geološkom gradjom i geološkom istorijom terena i predvidjanje daljeg razvoja procesa, odnosno oblika reljefa. Morfogenetski aspekt je svakako najvažniji, ali i najspekulativniji u geomorfološkim proučavanjima terena.

Geomorfologija se, kao grana nauka o zemlji ("geonauke"), može podeliti na opštu i primenjenu. Zadatak opšte geomorfologije jeste utvrdjivanje principa i zakonitosti, uz nužna zanemarivanja specifičnosti razvoja procesa i oblika u pojedinačnim slučajevima. Primenjena geomorfologija se zasniva upravo na proučavanju specifičnosti ispitivanog slučaja. Utvrdjivanjem odstupanja od opštih principa i zakonitosti traži se objašnjenje uzroka locirane anomalije.

2. POJAM RELJEFA

Reljef jedne oblasti karakteriše sveukupnost oblika izgradjenih u površinskom delu stenske mase. Površina reljefa je granična površina tri različite sredine: čvrste (litosfera), tečne (hidrosfera) i gasovite (atmosfera). Na taj način reljef jedne oblasti predstavlja odraz dejstva

antagonističkih sila koje sadrži svaka od ovih sredina.

U formiranju reljefa učestvuju tri bitne kategorije činilaca: energetski, materijalni i vremenski.

Energetski faktor čine sile. Kao aktivni činilac one se označavaju terminom agens. Po svom poreklu sile se dele na unutrašnje (endogene) i spoljašnje (egzogene). Endogene sile izazivaju tektonske i magmatske pokrete i postojanje različitih energetskih polja. Za oblikovanje reljefa od značaja su prvenstveno tektonski i magmatski pokreti.

Egzogene sile izazivaju stihijske pojave. Takvo je dejstvo vode u različitim agregatnim stanjima, dejstvo vetra, gravitacije, temperaturnih promena i dejstvo flore i faune. Kao poseban vid manifestacije dejstva egzogenih sila javlja se učinak čoveka. Ljudska delatnost predstavlja poseban, antropogeni faktor.

U formiranju reljefa endogene i egzogene sile deluju antagonistički. Endogene sile izazivaju krupne neravnine na površini zemlje, kao što su planinski venci i prostrane depresije. Egzogene sile teže da ponište efekt endogenih sila. Pod njihovim dejstvom izdignuti delovi reljefa bivaju razarani. Materijal koji pri tome nastaje se prenosi i ispunjava i pokriva najniže delove terena.

Materijalni faktor podrazumeva stensku masu odredjenih karakteristika na koju deluju sile i koja trpi promene. Kako je ovaj faktor u obrazovanju reljefa pasivan označava se terminom pacijens.

Karakteristike stenske mase na koju deluje skup sila odredjuje njena geološka gradja. Ovaj u geologiji široko prihvaćeni termin odredjuje stensku masu u tri pogleda: po sastavu (litologija), po prostornim odnosima (struktura ili sklop) i po vremenskim odnosima (hronologija ili starost). Za geomorfologiju, odnosno za nastanak i razvoj reljefa, bitni su samo litološki sastav i sklop stenske mase. S obzirom da su procesi obrazovanja i razvoja reljefa po pravilu znatno mladji od vremena nastanka stenske mase, treći element geološke gradje, starost stene, nema primarni značaj u geomorfologiji. Na taj način, pod materijalnim faktorom reljefa, pod pacijensom, podrazumeva se stenska masa odredjenog litološkog sastava i sklopa u kojoj se obrazuje reljef.

Treći bitni faktor u obrazovanju reljefa čini vreme. Sile per-

manentno deluju na stensku masu. Pri tome se neprekidno razaraju postojeći, a stvaraju novi oblici. Postoji, dakle, stalna promena reljefa u vremenu. Ovo vreme je znatno duže od istorijskog, ljudskog, ali je i mnogo kraće od geološkog vremena. Po svome trajanju ono leži negde izmedju njih. Posmatrani, današnji reljef mora se tretirati samo kao tačka na krivoj, povučenoj u funkciji vremena.

Bitne geomorfološke faktore čine, dakle, agens, pacijens i vreme. Klasifikacija energetskih faktora, sila ili agensa, i njihovih posledica shematski je prikazana na slici 1. Klasifikacijom pacijensa sa aspekta pojedinih svojstava bave se mineralogija, petrologija i strukturna geologija. Klasifikacija vremenskog faktora predmet je geohronologije.

Preciziranjem bitnih geomorfoloških činilaca upotpunjava se definicija reljefa. Reljef jedne oblasti predstavlja kontaktnu površinu različitih sredina. On nastaje kao rezultat uzajamnog dejstva skupa sila i stenske mase odredjene geološke gradje u odredjenom periodu vremena.

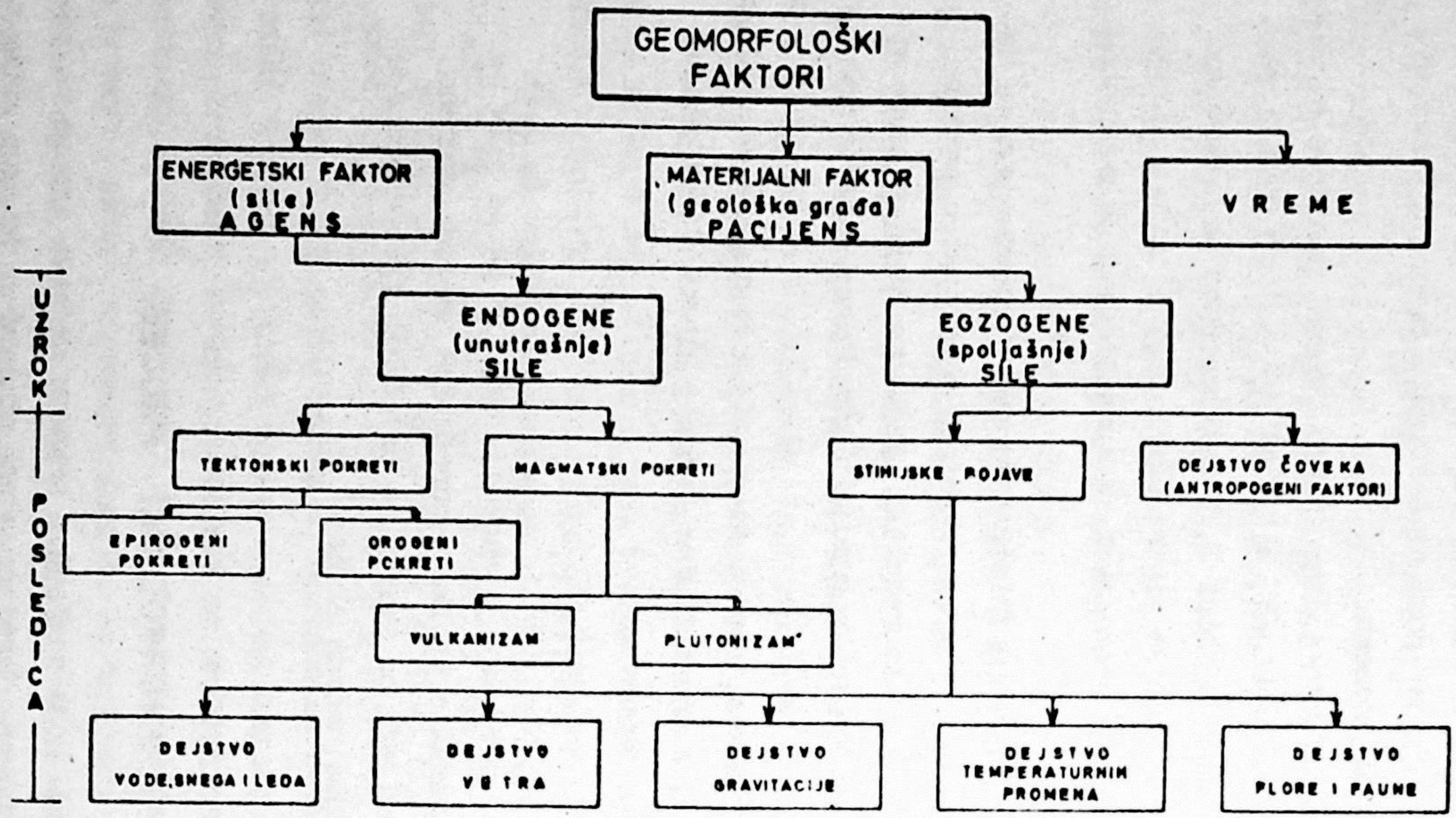
Ako se skup sila, agens, označi slovom A, karakteristike geološke gradje, pacijens, sa P, a treći faktor, vreme, slovom V, reljef se može izraziti matematičkim obrascem:

$$R = f(A, P, V)$$

Reljef posmatrane oblasti predstavlja funkciju dejstva skupa sila na stensku masu odredjenih karakteristika u odredjenom periodu vremena. Funkcionalna zavisnost reljefa od svakog od navedenih faktora ostaje da se utvrdi u svakom pojedinačnom slučaju.

3. GEOMORFOLOŠKI PROCES

Skup svih zbivanja koja nastaju u vremenu dejstva agensa na pacijens čini jedinstven proces. Terminom agens obuhvaćen je skup antagonističkih sila dvojakog porekla. To su endogene i egzogene sile. Njihovo dejstvo i posledice na obrazovanje reljefa veoma su različite.



Slika 1. Shema klasifikacije geomorfoloških agensa.

Endogene sile, nesumnjivo, neposredno utiču na oblikovanje površine zemlje. Dejstvo ovih sila ima, medjutim, dalekosežnije posledice od izmena reljefa. Pod njihovim uticajem menja se sklop (tektonika) i sastav terena (napr. metamorfizam). Stoga se endogene sile definišu kao geološki agens, a procesi koji nastaju pod njihovim dejstvom nazivaju se geološki procesi.

U reljefu zemlje dejstvo endogenih sila izaziva regionalne promene, obrazujući najkrupnije geološke i morfološke celine. Ovakve jedinice nazivaju se morfostrukture. U geomorfologiji se endogene sile stoga definišu kao morfostrukturni agens, a proces koji nastaje pod njihovim dejstvom kao morfostrukturni proces.

Dejstvo egzogenih sila oblikuje površinu stenske mase, ali ne menja iole značajnije ni njen sastav, ni njen sklop. Egzogene sile predstavljaju, dakle, geomorfološki agens. Skup zbivanja koja nastaju u vremenu dejstva egzogenih agensa na stensku masu odredjenih karakteristika naziva se geomorfološki proces.

Pod uticajem egzogenih sila nastaje neposredna izmena oblika na površini zemlje. Ove sile vajaju, vrše skulpturu krupnih morfoloških jedinica formiranih dejstvom endogenih agensa (morfostrukture). Stoga se egzogene sile još označavaju i kao morfoskulpturni agens, a proces koji nastaje pri njihovom dejstvu (geomorfološki proces) naziva morfoskulpturni proces.

Izdvajanje učinka endogenih od učinka egzogenih sila je shematsko uprošćavanje. Ove dve grupe sila u prirodi deluju zajedno. Egzogene su izazvane i kontrolisane endogenim silama. Geomorfološki procesi, njihova pojava i smenjivanje u vremenu, pojačavanje ili slabljenje, uslovljeni su razvojem geoloških procesa.

Geomorfološki proces uvek sadrži ista zbivanja. Prilikom dejstva egzogenih sila na stensku masu nastaje razaranje postojećih oblika (erozija). Materijal razorenog oblika se pod dejstvom kinetičke energije agensa prenosi na odredjeno rastojanje (transport). Kada opadne kinetička energija agensa materijal se odlaže i gradi nove oblike (akumulacija).

Bitni elementi svakog geomorfološkog procesa su, dakle, erozija, odnosno destrukcija postojećih oblika, transport, ili prenos materijala i akumulacija, odnosno konstrukcija novih oblika. Ovi elementi ne mo-

gu se medjusobno ni prostorno ni vremenski odvojiti. Dešavaju se istovremeno i na istom mestu. Erozija je uslovljena pokretanjem materijala. Ako nema transporta nema ni razaranja oblika. Akumulacija se, kao i erozija, obavlja tokom transporta na celom prostoru na kome se premešta materijal.

Oblici koji nastaju u jednom geomorfološkom procesu mogu se prema mehanizmu svog nastanka izdvojiti kao erozioni ili akumulacioni. Erozioni nastaju neposrednim razaranjem prvobitnog oblika, kao napr. jaruga na brdskoj padini. Akumulacioni oblici nastaju odlaganjem pokrenutog materijala. Takva je, na primer, plavinska lepeza koja se formira pri dnu jaruge.

Pored oblika koji nastaju samo jednim mehanizmom, u geomofološkom procesu mogu nastati i složeni oblici, u čijem su obrazovanju učestvovali i erozija i akumulacija. Klasičan primer jednog ovakvog složenog oblika jeste klizište.

Razvojem erozije prvobitni reljef menja svoje karakteristike. Ostaci prvobitnog reljefa predstavljaju novu kategoriju - rezidualne oblike. Takav rezidualni oblik predstavlja, na primer, padina svedena jaružanjem na uske i oštre grebene medju jarugama. To je pojava poznata pod nazivom "rdjave zemlje" (bad lands).

4. RELJEF I VREME

Reljef predstavlja promenljivu vrednost u vremenu. U oblikovanju pojedinih delova kopna višestruko su se smenjivali na istom prostoru različiti endogeni i egzogeni agensi, odnosno njihovi procesi. Pri ovim izmenama reljef je bitno menjao i svoja osnovna obeležja.

Izmena reljefa u vremenu u okviru jednog procesa, ili promena nastala smenjivanjem više procesa na istom prostoru, je kontinuirana. Reljef sadašnjeg trenutka se razlikuje od oblika koji su postojali i najkraći period vremena ranije. Isto tako, on će se razlikovati i od reljefa koji će nastati u sledećim vremenskim jedinicama, ma koliko one bile kratke.

Izmene reljefa se tek retko mogu pratiti u jedinicama čovekovih merila vremena. Takve su, na primer, pojave odrona, klizišta, jaružanja

i slično. Mnogo češće promene se dešavaju u znatno dužim periodima i čovek ih ne može neposredno pratiti. Takav je slučaj sa formiranjem vrtača u krasu, snižavanjem vododelnica kod fluvijalnog procesa, i t.d. U poredjenju sa geološkom hronologijom vreme ovih dogadjaja je ipak neuporedivo kraće.

Oblici jednog geomorfološkog procesa se razvijaju na nekom ranije postojećem reljefu. Taj prvobitni, inicijalni reljef predstavlja početni reljef samo za posmatrani proces. On se, takodje, morao razvijati na nekom prethodnom reljefu, ovaj na još starijem, i tako unazad, sve do stvaranja zemlje kao planete.

Rekonstrukcija reljefa, odnosno utvrdjivanje smenjivanja procesa u vremenu, retko kada može dospeti u dalju geološku prošlost. Njene mogućnosti se, bar što se naših terena tiče, najčešće završavaju u tercijaru. U to vreme poslednje faze alpske orogeneze uslovile su najmladje regionalne (morfostrukturne) izmene reljefa. Stariji izgled ne može se utvrditi. Evolucija reljefa od tog vremena do danas uslovljena je i kontrolisana dejstvom najmladjih tektonskih pokreta. Ova endogena aktivnost naziva se neotektonika.

Na primer, u našim primorskim planinama, Lovćenu i Orjenu, danas dominiraju oblici kraškog procesa. Primenom geomorfološke analize može se utvrditi da su ovi oblici razvijeni na nekom starijem, fluvijalnom reljefu. Stare, danas krasifikovane doline fluvijalnog reljefa oblikovane su u drevnim glacijalnim valovima. Glacijalni oblici su razvijeni na starijim, preglacijalnim kraškim vrtačama i uvalama. Ovi kraški oblici u mnogome su izmenili prekraški fluvijalni reljef, formiran nakon smirenja poslednjih pokreta štajerske faze alpske orogeneze, negde tokom miocena. Dalja rekonstrukcija više nije moguća.

Smenjivanje procesa i izmena reljefa u vremenu postoji, dakle, kao nepobitna činjenica. Kao završetak jednog, a početak drugog geomorfološkog procesa uzima se onaj period vremena u kome agens jednog procesa gubi, a agens drugog preuzima dominantnu ulogu u morfološkom oblikovanju terena.

Uzroci smene procesa i promene reljefa, po pravilu su endogeni, geološki procesi. Krupne klimatske promene, uslovljene pored endogenih faktora i kosmičkim uzrocima, takodje mogu izazvati smenjivanje geomor-

foloških procesa u vremenu.

Savremeni proces, koji je u toku, označava se kao aktivni proces. Dosledno tome oblici aktivnog procesa nose naziv aktivni oblici. Njihove izmene odvijaju se pod uticajem istog agensa, odnosno procesa koji ih je i formirao.

Stariji proces, koji više ne deluje, naziva se smenjeni proces. Njegovi oblici se označavaju kao napušteni oblici. Oni su pod uticajem drugih, aktivnih agensa izloženi izmenama, pri čemu se menjaju njihove osnovne karakteristike.

Pod terminom fosilni oblici podrazumevaju se napušteni oblici koji su akumuliranjem nekog materijala konzervirani. Njihova dalja izmena dejstvom aktivnih procesa je sprečena. Valja napomenuti da se u našoj stručnoj literaturi pojmovi fosilni i napušteni oblik često nepravilno izjednačuju.

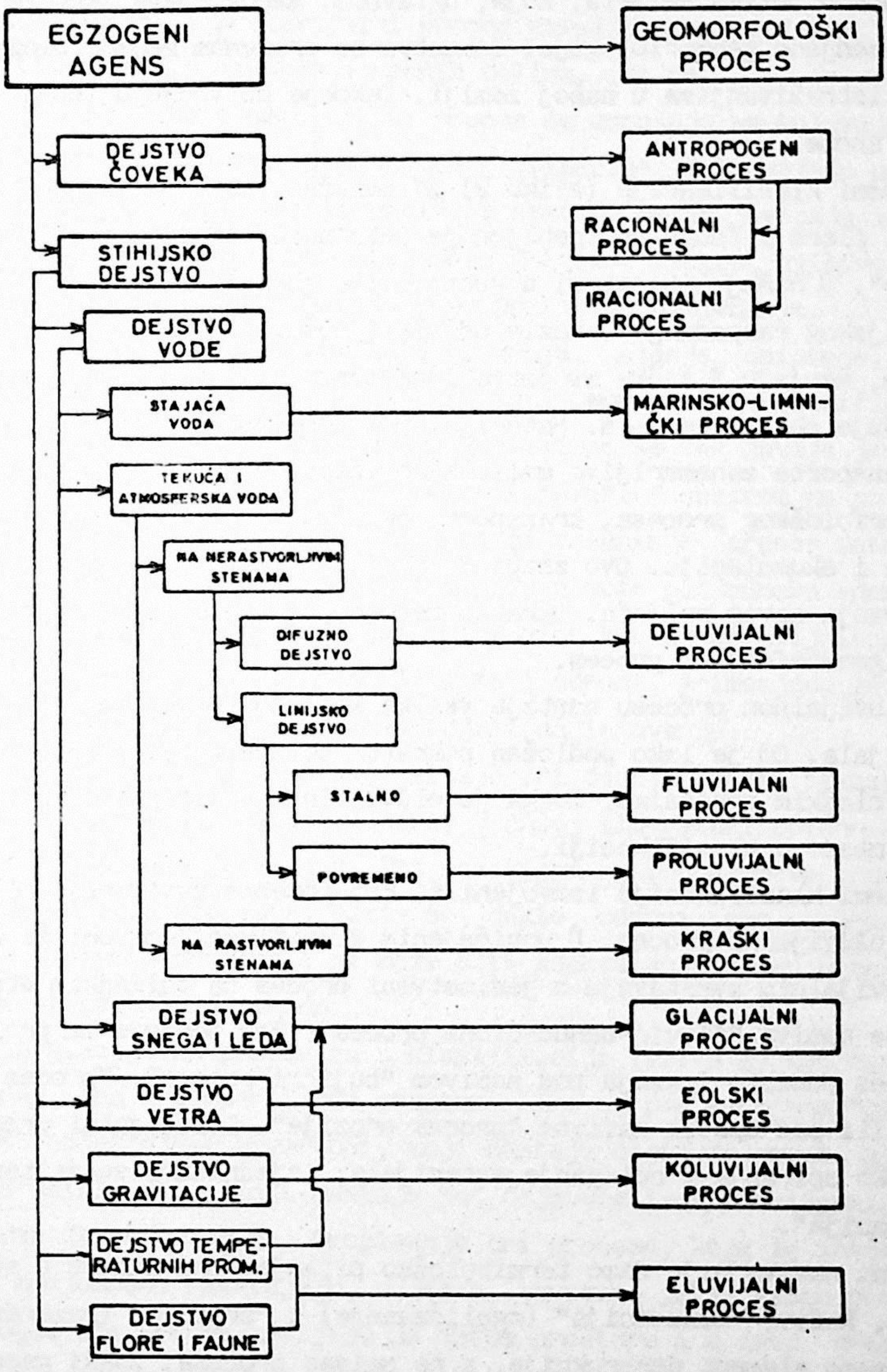
5. KLASIFIKACIJA OBLIKA

Prilikom klasifikacije oblika reljefa u geomorfologiji se primenjuje genetski princip. Agensi izazivaju različite geomorfološke procese. Tokom ovih procesa nastaju i razvijaju se raznovrsni oblici. Oblici se klasifikuju prema procesu u kome su nastali.

Svaka klasifikacija prirodnih pojava, te i klasifikacija oblika reljefa, u suštini predstavlja veštačku tvorevinu. U prirodi postoji kontinuirani niz postepenih prelaza od jedne pojave do druge. Prilikom klasifikacije ovaj niz se kida u medjusobno razdvojene i jasno razgraničene kategorije.

Geomorfološki procesi u prirodi se, po pravilu, razvijaju udruženo. Njihovi efekti se katkada razlikuju tek u ekstremnim slučajevima. Sem toga, u jednom geomorfološkom procesu najčešće učestvuje više agensa. Proces se definiše prema onom koji ima dominirajuću ulogu, odnosno prema onom čiji su efekti najizraženiji.

Bez obzira na nužne shematizacije klasifikacija oblika reljefa je neophodna. Ona čini prvi, inventarski postupak svakog geomorfološkog izučavanja. Shematizacije i različiti pristupi u tretiranju dominantnog



Slika 2. Shema klasifikacije geomorfoloških procesa.

agensa u geomorfološkom procesu dozvoljavaju postavljanje različitih klasifikacija. Na slici 2 data je shema klasifikacije geomorfoloških procesa, odnosno oblika reljefa, koja, uglavnom, zadovoljava zahteve savremene, primenjene geomorfologije. Iskustva sa primenom geomorfologije u geološkim istraživanjima u našoj zemlji, takodje potvrdjuju ispravnost ovakve sheme.

U shemi klasifikacije (slika 2) za udruženo dejstvo temperaturnih razlika, flore i faune upotrebljen je internacionalni termin "eluvijalni proces". U našoj literaturi u upotrebi je adekvatan naziv "proces fizičko-hemijskog raspadanja". Naziv odražava suštinu zbivanja. U procesu se, naime, menjaju fizička svojstva i hemijski sastav stenske mase koja izgradjuje oblike reljefa. Materijal pri tome ostaje na mestu, ili je iznos transporta zanemarljivo mali. Kako izostaje jedan od bitnih elemenata geomorfološkog procesa, transport, ne mogu postojati ni druga dva, t.j. erozija i akumulacija. Ovo znači da nema ni izmene postojećih oblika, ni stvaranja novog reljefa. Ukratko rečeno, eluvijalni proces ne predstavlja geomorfološki proces.

U eluvijalnom procesu nastaju velike količine nevezanog, rastresitog materijala. On je lako podložan pokretu, te učestvuje praktično u svim geomorfološkim procesima. Stoga je eluvijalni kao pripremni proces našao svoje mesto u klasifikaciji.

U shemi klasifikacije izdvojeni su kao posebne kategorije deluvijalni i proluvijalni proces. U uobičajenim klasifikacijama oni se zajedno sa fluvijalnim svrstavaju u jedinstveni proces na dolinskim stranama, koji se naziva "fluvio-denudacioni proces". Tek ponegde se proluvijalni proces posebno izdvaja pod nazivom "bujični proces", "proces jaružanja", ili pod opštim nazivom "proces erozije". Deluvijalni proces, ili površinsko spiranje i odlaganje materijala, izjednačava se sa terminom "denudacija".

Izmena naziva nije samo terminološko pitanje. Ona zadire u suštinu procesa. Nazivi "denudacija" (ogolićavanje) i "erozija" (razaranje) preciziraju samo element destrukcije, a ne smisao procesa. Svaki geomorfološki proces, pa i navedeni primeri, osim erozije obuhvata i transport i akumulaciju materijala, dakle i konstrukciju novih oblika.

Izdvajanje deluvijalnog i proluvijalnog procesa od fluvijalnog

dobija puni smisao kada se ima u vidu činjenica da se oni medjusobno razlikuju i po agensu i po mehanizmu. Izdvajanje je utoliko više opravdano što se deluvijalni i proluvijalni proces razvijaju na padinama, bez obzira da li su te padine strane rečnih dolina, ili ne.

Proluvijalni i deluvijalni proces se udružuju sa koluvijalnim, koji nastaje pod neposrednim dejstvom gravitacije, i izdvajaju pod zajedničkim nazivom "padinski procesi". S obzirom da se javljaju istovremeno, na istom mestu (padine), da imaju udružene efekte, njihovo grupisanje i zajedničko izdvajanje ima puno praktično opravdanje.

Koluvijalni proces obuhvata kliženje, puzanje, osipanje, odronjavanje i tečenje stenske mase. U klasičnim morfološkim klasifikacijama najčešće se posebno ne izdvaja. Mestimično se tek javlja jedna neodredjena kategorija pod nazivom "pokreti masa". S obzirom na suštinu svakog geomorfološkog procesa, gde se vrši razaranje, prenos materijala i njegovo odlaganje, termin "pokret masa" se može podjednako adekvatno primeniti na bilo koji proces. Imajući u vidu značaj koluvijalnog procesa i njegovih oblika, posebno klizišta i odrona, primenjena geomorfologija insistira na njegovom izdvajanju i naglašavanju.

Marinsko-limnički proces nastaje pri dejstvu većih takozvanih stajaćih voda, okeana, mora i jezera. U našoj literaturi obično se koristi termin "proces abrazije". Pod abrazijom se podrazumeva erozija koju obavljaju stajaće vode. Naziv se, dakle, odnosi samo na jedan od tri bitna elementa procesa i ne može biti adekvatan procesu u celini. Izmena je stoga bila neophodna.

Za glacijalni proces su u klasifikaciji (slika 2) kao agensi stavljeni sneg, led i temperaturne promene. Time su pod terminom "glacijalni proces" objedinjeni nivacioni, koji nastaje dejstvom snega, glacijalni u užem smislu reči, koji nastaje pod dejstvom leda i kriogeni proces izazvan dejstvom mraza. Grupisanje tri procesa, koji se inače u literaturi medjusobno razdvajaju, u jedan, izvedeno je iz čisto praktičnih razloga. Sva tri se odvijaju na istom prostoru i u isto vreme. Oblici su im udruženi. Posebno u uslovima naše zemlje, gde aktivnog glacijalnog procesa nema od pleistocena, ovakvo grupisanje znači racionalizaciju rada.

U literaturi je uobičajeno da se dejstvo tekućih voda na ras-

tvorljivim stenskim masama izdvaja kao fluviokraški proces. Dosledno tome javlja se i kategorija fluviokraških oblika. Ovi oblici su, medjutim, izgubili bitna obeležja fluvijalnog reljefa i dobili svojstva koja mogu nastati isključivo u kraškim uslovima. Takve su, na primer, ponornice i slepe doline. S obzirom da predstavljaju specifičnosti kraške sredine ovi oblici su klasifikovani u okviru kraškog reljefa. Izdvajanje posebne kategorije fluviokraškog procesa nema posebnog smisla.

Prelasci jednog procesa u drugi i oblici koji pri tome nastaju, nisu nigde u datoj shemi klasifikacije (slika 2) izdvajani kao posebne kategorije. Ovakvi oblici su grupisani kao genetski vezani za novonastali proces. Tako je, na primer, prelazak glacijalnog u fluvijalni proces, koji se obično izdvaja kao glaciofluvijalni proces, tretiran kao fluvijalni, a njegovi oblici su svrstani u kategoriju fluvijalnih oblika.

Oblici reljefa se, dakle, u postavljenoj shemi klasifikacije svrstavaju prema procesu u kome su nastali. Grupa oblika genetski vezana za jedan proces javlja se zakonito na odredjenom delu terena. Ovakva genetski povezana grupa oblika naziva se tip reljefa. Tako se može izdvojiti fluvijalni, kraški, glacijalni, eolski, marinski i padinski tip reljefa. U okviru svakog genetskog tipa reljefa oblici se mogu izdvajati po mehanizmu nastanka kao erozioni, akumulacioni i složeni.

Prostor u čijem je oblikovanju učestvovalo više procesa nosi naziv geomorfološki kompleks. Praktično svaka veća prirodna celina predstavlja jedan geomorfološki kompleks. U slivnom području reke Save, na primer, aktivno deluju fluvijalni, kraški i padinski procesi. Kao napušteni nalaze se oblici marinskog i glacijalnog procesa.

Data shema klasifikacije odnosi se na egzogene, geomorfološke procese. Endogeni tip reljefa može se izdvojiti kao posebna kategorija. U okviru endogenog tipa izdvajase tektonogeni i magmatogeni reljef. Ovde spadaju oblici čiji je nastanak neposredno uslovljen dejstvom endogenih sila. Takav je napr. vulkanski reljef, strukturni reljef i t.d.

II DEO

KVANTITATIVNA GEOMORFOLOŠKA ANALIZA

1. GEOMORFOLOŠKA ANALIZA

Osnovni postupak primenjene geomorfologije predstavlja geomorfološka analiza terena. Pod ovim pojmom podrazumeva se primena kompleksa metoda pri proučavanju procesa nastanka i evolucije reljefa, njegove zavisnosti od geološke gradje, njegovih brojčanih parametara i savremenih procesa njegove izmene. Postupci proučavanja mogu se izvoditi kvalitativno i kvantitativno.

1.1. KVALITATIVNA ANALIZA

Kvalitativna geomorfološka analiza predstavlja utvrdjivanje svojstava geomorfoloških procesa i reljefa u celini. Ona obuhvata rešavanje sledećih zadataka:

- Inventura oblika reljefa čini osnovni postupak geomorfološkog proučavanja terena. Pri terenskim osmatranjima i kabinetskim proučavanjima satelitskih snimaka, aerosnimaka i topografskih karata, oblici se identifikuju prema procesu u kome su nastali.
- Utvrdjivanje geomorfoloških odnosa je sledeći korak u kvalitativnoj geomorfološkoj analizi. Zasnovano je na utvrdjivanju funkcionalnih veza pojedinih oblika. Suština postupka se svodi na odredbu prostornih i vremenskih odnosa pojedinih oblika i njihove zavisnosti od geološke gradje. Cilj postupka je odredba procesa koji je oblikovao prostor na kome su utvrdjeni odredjeni oblici. Utvrdjivanje geomorfoloških odnosa predstavlja, dakle, odredbu tipa reljefa.
- Utvrdjivanje geomorfološke evolucije predstavlja, zapravo, prelaz iz analitičkog postupka u sintezu. Na osnovu utvrdjenih prostornih i vremenskih odnosa pojedinih tipova reljefa, odn. geomorfoloških procesa, i njihove zavisnosti od geološke gradje terena, rekonstruiše se tok morfološke istorije ispitivane oblasti.
- Povezivanje geomorfološke evolucije sa najmladjom geološkom istori-

jom je nadgradnja geomorfološke analize i u suštini predstavlja sintezu svih rezultata kvalitativne analize. Utvrdjivanje uzročnih veza najmladjih endogenih, najčešće neotektonskih procesa i geomofoloških procesa koji se javljaju kao reakcija na njih, omogućava svestrano sagledavanje najmladje geološke istorije i pruža objašnjenje geomorfološke evolucije. Povezivanje geomorfološke evolucije sa geološkom istorijom predstavlja na taj način najznačajniji, ali svakako i najspekulativniji deo u proučavanju reljefa.

Ovde shematski izdvojeni elementi kvalitativne geomorfološke analize u praksi se ne mogu sasvim razgraničiti, naročito ne u vremenskom smislu. Prilikom inventure oblika, na primer, istovremeno se zapažaju i medjusobni odnosi pojedinih oblika, njihova zavisnost od geološke gradje i slično.

Kvalitativna ispitivanja reljefa nisu dovoljna. Utvrdjivanje svojstava reljefa i povezivanje geomorfološke evolucije sa najmladjom geološkom istorijom terena mora, naime, biti veoma jednostrano i subjektivno ako se ne uvedu i kvantitativna ispitivanja.

1.2. KVANTITATIVNA ANALIZA

Geomorfološke karakteristike, odredjene osobenosti morfoloških procesa, oblika i reljefa u celini, mogu se iskazati i kvantitativno, putem brojčanih parametara. Definicija morfoloških osobenosti jedne oblasti odredjenim veličinskim pokazateljima zahteva merenja. Postupak utvrdjivanja i odredbe parametara nosi opšti naziv morfometrija.

Pojam kvantitativne analize obuhvata celokupan proces utvrdjivanja morfometrijskih odnosa i njihovu interpretaciju. Kvantitativna geomorfološka analiza predstavlja, dakle, metod prikupljanja kvalitativno novih podataka o geomorfologiji ispitivanog terena putem proučavanja odnosa njegovih, kvantitativno izraženih osobina.

Uvodjenje morfometrijskog postupka u geomorfološku analizu ima višestruki značaj:

- Skala iskazivanja kvalitativnih razlika morfoloških procesa, pojedinih oblika i reljefa u celini, inače ograničena isključivo na mor-

fografiju (deskripciju), znatno je povećana.

- Sa povećanjem skale proporcionalno raste i preciznost iskazivanja kvalitativnih razlika, koja je u morfografiji svedena na jako uopštene kategorije.
- Iskazivanje kvalitativnih razlika veličinskim, brojčanim parametrima uvodi mogućnost medjusobnog poredjenja morfoloških procesa, oblika i reljefa u celini.
- Morfometrijska definicija geomorfoloških procesa i oblika predstavlja preduslov za primenu statističke obrade.
- Brojčano iskazivanje geomorfoloških karakteristika pruža mogućnost primene egzaktnog matematičkog aparata.
- Kvantitativne vrednosti koje reprezentuju proces, njegov deo, reljef u celini, ili pojedinačni oblik, mogu se obradjivati računarima po utvrdjenim programima. Time se postiže velika ušteda u vremenu i dobijaju kvalitativno novi podaci.

Kvantitativna analiza, medjutim, uvek u sebi nosi opasnost primene formalnog postupka, koji može dovesti i do krupnih zabluda. Ovo je naročito izraženo kod primene matematičkih metoda, ali važi i za interpretaciju svih morfometrijskih postupaka u celini. Greške, po pravilu, nastaju pri izboru parametara. Geomorfološki procesi i oblici i njihovi medjusobni odnosi su posledica uzajamnog dejstva velikog broja medjusobno kauzalnih činilaca. Izbor parametara koji u maloj meri odražavaju ove odnose, ili ih uopšte ne odražavaju, nužno vodi ka pogrešnoj interpretaciji, ma koliko inače kvantitativni postupak bio egzaktno izveden.

Sama kvantitativna geomorfološka analiza, izdvojena od kvalitativne, odnosno izvedena bez proučavanja geomorfoloških odnosa i evolucije ispitivanog terena, može imati značaj tek orijentacione hipoteze. Nasuprot tome, kvantitativni postupak zasnovan na rezultatima kvalitativne geomorfološke analize pruža mogućnost provere i dopune stvorene koncepcije, kao i dobijanje egzaktnih veličinskih podataka o geomorfološkim odnosima u proučavanoj oblasti.

Analiza koja obuhvata i kvalitativni i kvantitativni pristup proučavanju reljefa nosi naziv kompleksna geomorfološka analiza.

Odvajanje kvantitativnog postupka od kvalitativnog proučavanja u okviru kompleksne geomorfološke analize u suštini je veštačko. Niti se odredjena osobina reljefa može definisati isključivo deskripcijom, niti pak brojčane vrednosti mogu u potpunosti da odraze geomorfološke odnose. Kvalitativna i kvantitativna proučavanja moraju se tretirati kao elementi koji se medjusobno dopunjavaju u jedinstvenom procesu kompleksne geomorfološke analize.

2. METODI GEOMORFOLOŠKE ANALIZE

Prema svom karakteru, podlogama za istraživanja i mestu gde se izvode svi postupci kompleksne geomorfološke analize mogu se svrstati u dve osnovne kategorije. Jednu čine kabinetski, a drugu terenski metodi. U okviru svake od ovih grupa postupaka mogu se izvoditi i kvalitativna i kvantitativna ispitivanja. Ipak, pri terenskim osmatranjima dominantnu ulogu imaju postupci kvalitativne geomorfološke analize. Kvantitativna ispitivanja imaju pretežno kabinetski karakter.

Kabinetski i terenski postupci geomorfoloških ispitivanja medjusobno se nikako ne isključuju. Naprotiv, rezultati jednih obavezno se proveravaju, ispravljaju i dopunjavaju rezultatima drugih ispitivanja. Da bi kompleksna geomorfološka analiza bila pouzdana i njeni podaci verodostojni, obavezno se moraju primeniti i kabinetska i terenska ispitivanja.

2.1. KABINETSKI METODI

S obzirom da se izvode izvan proučavanog terena, u kabinetu ili u laboratoriji, kabinetski postupci moraju biti zasnovani na ispitivanju nekog sredstva prikazivanja reljefa, ili pak na ispitivanju odredjenih uzoraka terena. Kabinetski metodi kompleksne geomorfološke analize obuhvataju sledeća ispitivanja:

(1) Analiza topografskih karata

Topografska karta predstavlja jedan od najpotpunijih i, svakako, najšire primenjivanih načina prikaza reljefa. Savremeni fotogrametrijski način izrade garantuje preciznost i maksimalnu detaljnost oblika, moguću u datoj razmeri. Elementi topografske karte, kote, izohipse, drenažna mreža, kao i podaci o veštačkim objektima, pružaju dovoljno podataka i za kvalitativna i za kvantitativna proučavanja reljefa.

Na standardnim topografskim kartama srednje razmere, od 1:25.ooo do 1:1oo.ooo, koje se najčešće koriste za regionalna geomorfološka ispitivanja, mogu se vrlo pouzdano identifikovati pojedini oblici reljefa i utvrditi njihova genetska pripadnost odredjenom procesu. Topografske karte najčešće omogućavaju i stvaranje dovoljno sigurne hipoteze o prostornim i hronološkim odnosima pojedinih oblika, odnosno genetskih tipova reljefa.

Kvalitetna topografska karta predstavlja izvanrednu osnovu za kvantitativnu geomorfološku analizu. Osim elementarnih dimenzija oblika, visine, dužine i širine, na karti je moguće jednostavno sistematsko merenje pojedinih kvantitativnih parametara morfoloških procesa, odnosno njihovih oblika. Takva su, na primer, merenja nagiba padina, hidrauličkih gradijenata vodotoka, energije reljefa i brojnih drugih pokazatelja. Metodologija i parametri su prikazani detaljno u poglavlju o postupcima kvantitativne geomorfološke analize.

Konstrukcije topografskih profila otvaraju nove mogućnosti korišćenja topografskih karata. Profili pružaju mogućnost korelacije oblika (na primer kod rečnih terasa), ali i mogućnost utvrdjivanja zakonitosti, odnosno anomalija u razvoju jednog procesa (primer uzdužnog profila vodotoka).

(2) Analiza geoloških karata

Geološka karta predstavlja grafički prikaz geološke gradje jednog dela terena. Ona pruža podatke o rasporedu litološki i hronološki različitih jedinica, o njihovim prostornim odnosima (sklop) i o hronologiji geoloških zbivanja na terenu.

Pri geomorfološkoj analizi geološka karta se koristi za utvrdjivanje veze reljefa sa geološkom gradjom terena, odnosno za povezivanje evolucije reljefa sa najmladjom geološkom istorijom. Proučavanjem geoloških karata mogu se objasniti modifikacije procesa i reljefa u funkciji geološke gradje - litološkog sastava i sklopa.

Proučavanje geoloških karata u okviru kompleksne geomorfološke analize ima dvosmerni karakter. Sa jedne strane geomorfološka evolucija ispitivane oblasti se objašnjava geološkom gradjom i geološkim procesima. Sa druge strane, otkrivaju se do tada nepoznati dogadjaji najmladje geološke istorije kao uzroci razvoja odredjenih procesa i oblika, odnosno njihovih modifikacija. Ovo se pre svega odnosi na neotektoniku - najmladje i savremene tektonske pokrete.

(3) Analiza satelitskih snimaka i aerosnimaka

Satelitski, kosmički snimci predstavljaju prikaze većih delova terena. Načinjeni su sa velikih visina. Kod satelita serije Landsat visina je, na primer, oko 9oo km. Razmera snimaka je stoga sitna. Obično se kreće u rasponu od 1:1.ooo.ooo do 1:25o.ooo. Ova svojstva satelitskih snimaka pružaju dobre mogućnosti sagledavanja regionalnih morfoloških odnosa. Na njima se, na primer, mogu neposredno osmatrati i proučavati krupne morfološke celine, morfostrukture. Takva su područja depresija koje savremeno tonu i bivaju ispunjavane akumulacionim materijalom različitih egzogenih procesa, područja izdizanja pod uticajem najmladje tektonske i magmatske aktivnosti, kao što su kupolaste i prstenaste strukture, i slično. Oblici fluvijalnog procesa se mogu sagledati u celini, kao napr. tip drenaže, uslovljenost drenaže regionalnim razlomima i tako dalje.

Satelitska snimanja površine zemlje se ponavljaju u odredjenim, uvek istim vremenskim intervalima. Kod satelita serije Landsat, čiji su snimci danas najšire dostupni, ciklus iznosi 18 dana. Svakih 18 dana dobija se, dakle, novi snimak istog dela zemljine površine. Ovo omogućava neposredno poredjenje snimaka iz različitih vremenskih perioda i praćenje procesa u vremenu. Tako je, na primer, moguće praćenje topljenja snega, praćenje razvoja poplava i slično.

Detaljna geomorfološka istraživanja obavljaju se analizom aerosnimaka. Najčešće se koriste aerosnimci srednje razmere od 1:1o.ooo do 1:5o.ooo. Njihovo osnovno svojstvo je da omogućavaju dobijanje trodimenzijalnog modela reljefa. Aerosnimci predstavljaju danas najbolji način prikaza reljefa.

U pogledu prikaza reljefa ističu se sledeća preimućstva aerosnimaka nad klasičnom topografskom kartom:

- Reljef je prikazan trodimenzijalnim modelom umesto kotama i izohipsama.
- Svi objekti, prirodni (oblici reljefa) i veštački (naselja, komunikacije i slično), prikazani su svojim stvarnim izgledom, slikom, a ne uslovnim znacima i simbolima.
- Ne postoji selekcija podataka. Na snimku su prikazani svi detalji, koji se u datoj razmeri mogu zapaziti.

Kao nedostaci aerosnimaka u odnosu na topografsku kartu ističu se:

- Aerosnimak je centralna, a ne ortogonalna projekcija. Postoje deformacije dužina, utoliko veće ukoliko su veće visinske razlike terena, odnosno ukoliko su tačke udaljenije od centra snimka.
- Razmera aerosnimka je promenljiva vrednost. Na istom snimku veća je za više, a manja za niže tačke.

I pored navedenih nedostataka, činjenica da aerosnimci pružaju smanjeni, trodimenzijalni model terena, koji stoji na raspolaganju uvek, svagde i onoliko vremena koliko je interpretatoru potrebno, svrstava analizu aerosnimaka u najvažniji metod kabinetskih geomorfoloških proučavanja. Prednosti aerosnimaka kao podloge za geomorfološku analizu su očigledne:

- Postoji mogućnost neposrednog uočavanja oblika i procesa i njihovih uzajamnih odnosa. Identifikacija je, u najvećem broju slučajeva, jednostavna, brza i pouzdana.
- Model terena u smanjenoj razmeri omogućava sagledavanje celine. Oblici se mogu proučavati kao sastavni deo celine procesa, odnosno tipa reljefa.

- U većini slučajeva, uz osmatranje oblika reljefa, moguće je i direktno utvrdjivanje litoloških razlika i elemenata sklopa. Na taj način moguće je neposredno utvrdjivanje zavisnosti razvoja odredjenog procesa, odnosno oblika od geološke gradje terena.
- Aerosnimci omogućavaju racionalno planiranje terenskih radova, usmeravajući ih samo na mesta od ključnog značaja.
- Trodimenzijalni model omogućava vrlo precizna merenja bitnih kvantitativnih parametara reljefa.
- Ispitivanja aerosnimaka su brza, pouzdana i kao takva veoma ekonomična.

Satelitski snimci i aerosnimci koriste se u praksi prvenstveno za kvalitativnu geomorfološku analizu.

(4) Matematičko-statistička analiza

Matematičko-statistička analiza ima izrazito kvantitativni karakter. Suština postupka se svodi na to da se geomorfološki proces, ili njegov deo, odnosno oblik reljefa, ili jedan njegov deo, veličinski definiše i izrazi matematičkim obrascem. Na ovako odredjen podatak dalje se primenjuju formalna matematička pravila i dobijaju i kvalitativno i kvantitativno novi podaci.

Svojstva reljefa kvantitativno se definišu po mreži tačaka. Ovakav skup tačaka dozvoljava primenu statističkih ispitivanja. Svrha statističke analize može biti višestruka. Odredjuju se, na primer, reprezentativne vrednosti skupa (mere centralne tendencije). Mogu se utvrdjivati stepen i vrsta varijacije. Obavlja se korelacija različitih skupova. Utvrdjuje se generalna težnja (trend) skupa. Može se utvrditi promena skupa u toku vremena, i t.d.

Postavke matematičko-statističke analize ilustruje sledeći primer:

U slivnom području odredjene površine (P) razvijen je vodotok sa svojim pritokama odredjene dužine (L). Merenjem na topografskoj karti ove vrednosti se mogu kvantifikovati, za površinu u km^2, odnosno za dužinu u km.

Postavljanjem elementarne matematičke relacije, u ovom slučaju nju predstavlja delenje, dobija se nov morfološki parametar, gustina drenaže (σ):

$$\sigma = \frac{L}{P} \left(\frac{km}{km^2}\right)$$

Dalje sledi statistička analiza. Obavlja se sistematsko merenje gustine drenaže po jediničnim površinama. Karta se deli na polja površine napr. od 1 km^2. U svakom polju posebno se meri dužina tokova. Izmerena vrednost se upisuje u centar polja. Primenjujući princip interpolacije konstruišu se izolinije gustine drenaže. Na taj način odredjena su područja različite gustine.

Interpretacija dobijenih podataka može biti dvojaka. Maksimalne, odnosno minimalne vrednosti gustine drenaže odgovaraće područjima najmanje, odnosno najveće vodopropustljivosti terena. Odredjena hidrogeološka svojstva mogu se, dakle, i čisto kabinetski realno predpostaviti.

Povećana gustina drenaže, sa druge strane, znači pojačanu eroziju, a njeno smanjenje pojačanu akumulaciju. Regionalno posmatrano, pojačana erozija nastaje kao posledica tektonskog izdizanja terena. Pojačana akumulacija, analogno tome, predstavlja morfološki odraz najmladjih tektonskih tonjenja. Da bi se otklonio lokalni uticaj litološkog sastava, odn. vodopropusnosti terena, statistički se izračunava generalna težnja, trend gustina drenaže. Maksimumi i minimumi ovog trenda tumače se kao neotektonske strukture.

Dati primer najelementarnije matematičko-statističke analize pokazuje koliko su široke mogućnosti ovog postupka. U poglavlju o postupcima kvantitativne geomorfološke analize detaljno su prikazani najšire primenljivi primeri ovakvih ispitivanja.

Matematičko-statističke analize se jednako uspešno mogu obavljati sa podacima prikupljenim kabinetski, kao i sa podacima dobijenim neposrednim merenjem na terenu. Prilikom primene ovih postupaka treba imati u vidu da su statistička ispitivanja utoliko objektivnija ukoliko je veći broj obradjivanih podataka. To znači da primena ovakvih postupaka na malim područjima, površinama napr. kilometarskog reda veličina, sa malim brojem obavljenih merenja, može dati sasvim pogrešne rezultate.

Matematičko-statistička analiza nosi u sebi jedno suštinsko ograničenje. Ukoliko primenjeni matematički izraz ne odražava stvarne odnose proučavane pojave, konačni rezultat mora predstavljati krupnu zabludu, bez obzira što su matematičko-statističke operacije besprekorno tačno izvedene.

(5) Ispitivanja eksperimentalnih modela

Na modelu terena konstruisanom u smanjenoj razmeri može se izazvati geomorfološki proces. Na taj način pruža se mogućnost sistematskog praćenja procesa i njegovih efekata. Eksperimentalnim modelima se može, na primer, ispitivati brzina nadiranja mora na kopno (intenzitet abrazije), zapunjavanje akumulacije prinošenim materijalom, i slično.

Vrednost rezultata ispitivanja eksperimentalnih modela zavisi prvenstveno od uspešnosti simulacije uslova razvoja procesa u prirodi. I agens i pacijens se, naime, u kabinetskim uslovima mogu samo grubo aproksimirati. Visoka cena takodje stavlja ozbiljnu prepreku široj primeni ovakvih ispitivanja.

Osnovna prednost ispitivanja eksperimentalnih modela kao metoda geomorfološke analize zasniva se na dve činjenice:

- Brzina procesa je daleko veća nego u prirodi i proces se može pratiti od početka do kraja.
- Postoji mogućnost variranja vrednosti faktora koji učestvuju u procesu, te na taj način i odredjivanja njihovog pojedinačnog uticaja, odnosno funkcionalne povezanosti.

(6) Laboratorijska ispitivanja

Laboratorijska, usko specijalistička ispitivanja, po svojim zadacima, sadržaju i metodologiji ne spadaju u geomorfološku analizu u užem smislu reči. Rezultati ovih ispitivanja koriste se, medjutim, za razjašnjenje odredjenih problema vezanih za geomorfološke procese.

Rezultati sedimentoloških ispitivanja mogu se, na primer, koristiti za utvrdjivanje sredine u kojoj je proces razvijan. Palinološke

analize se koriste za odredbu hronologije glacijalnog materijala. Za potrebe kompleksne geomorfološke analize mogu se izvoditi hemijske analize, analize apsolutne starosti, i t.d.

Laboratorijska ispitivanja, po pravilu, zahtevaju prethodna terenska osmatranja i prikupljanja uzoraka.

2.2. TERENSKI METODI

Terenska geomorfološka istraživanja metodološki se izvode analogno geološkim osmatranjima na terenu. I ovde je daleko pogodnije izaći na teren sa kabinetski stvorenom preliminarnom koncepcijom o istraživanoj pojavi. Terenska ispitivanja se tako ograničavaju na provere, ispravke i dopune, odnosno na prikupljanje onih podataka koji se kabinetskim postupcima ne mogu dobiti.

Standardni postupci terenskih geomorfoloških istraživanja su sledeći:

(1) Osmatranje po maršruti

Kod regionalnih geomorfoloških istraživanja, rekognosciranja terena, ili provera rezultata kabinetskih istraživanja, osnovni metod terenskih ispitivanja predstavlja postavljanje odredjenih pravaca - maršruta i osmatranje po sistemu tačaka na njima. Pravci maršruta i gustina tačaka osmatranja odredjuju se kabinetski, najčešće i najbolje stereoskopskom analizom aerosnimaka. Ova odredba zavisi od rezultata prethodno obavljenih kabinetskih ispitivanja. Položaj maršruta i gustina tačaka osmatranja se menja zavisno od karaktera ispitivanja i razmere u kojoj se ono izvodi, a zavisno od složenosti geomorfoloških odnosa na proučavanom terenu i prohodnosti samog terena.

Osmatranja po tačkama obavljaju se analogno klasičnom geološkom kartiranju. Položaj tačke se locira na topografskoj osnovi, topografskoj karti ili aerosnimku i tačka označi brojem. Zapažanja obavljena na tački unose se u dnevnik pod rednim brojem date tačke. Eventualno uzeti uzorci takodje se označavaju rednim brojem tačke osmatranja.

Tačke osmatranja, locirane na topografskoj osnovi služe za povezivanje podataka i stvaranje sintetske predstave o geomorfološkim odnosima na ispitivanom terenu. Povezivanje se, po pravilu, obavlja na terenu. Konačna interpretacija daje se kabinetski, uz nezamenljivu pomoć stereoskopske analize aerosnimaka.

(2) Praćenje granice

Metod praćenja granice se primenjuje kod istraživanja pojava od većeg praktičnog značaja. Takva su, na primer, klizišta, nanosi sa pojavama teških metala, i slično. Ovakve pojave se, po pravilu, lociraju na topografskim podlogama krupne razmere, 1:1.ooo i krupnije.

Postupak praćenja granice se svodi na terenski obilazak pojave. Ovako utvrdjena granica nanosi se na topografsku osnovu. Lociranje se može izvršiti vizuelno, prepoznavanjem položaja granice na karti, ili, mnogo češće i daleko tačnije, instrumentalno, geodetskim putem. Pri instrumentalnom praćenju granice ulogu figuranta preuzima istraživač. On postavlja značku na karakteristične tačke granice. Položaj značke registruje se instrumentalno.

Savremen i veoma precizan način instrumentalnog praćenja granice omogućavaju terestrički stereosnimci. Ovi snimci su načinjeni fototeodolitom. Položaj u prostoru im je tačno odredjen. Snimci pod stereoskopom daju trodimenzijalni model terena. Najčešće se koriste za izradu fotogrametrijskih karata visoke tačnosti.

Na samom terenu, uz pomoć stereoskopa, na snimku se ucrtava istraživana granica. Ova granica se fotogrametrijskim putem izvlači paralelno sa izradom topografske karte tog dela terena. Tačnost lociranja granice je, na taj način, izjednačena sa tačnošću topografske podloge.

(3) Snimanje profila

Metod snimanja profila podrazumeva registraciju morfoloških promena uz lociranje i svih geoloških karakteristika relevantnih za ove promene. Tako se, napr., lociraju prelomi u nagibu uzdužnog profila vodotoka uz utvrdjivanje litološkog sastava i sklopa terena na mestu preloma i t.d.

Metod snimanja profila se primenjuje kod ispitivanja mesta brana, kod neotektonskih ispitivanja pri mikroseizmičkom rejoniranju terena, i slično. Rezultati ovih ispitivanja najčešće se prikazuju profilima, ili kartama konstruisanim na osnovu niza paralelnih profila. Prikazi se daju obično u krupnim razmerama.

(4) Stacionarna osmatranja

Stacionarna osmatranja se primenjuju kod proučavanja aktivnih procesa (procesa u toku). Osmatranja se obavljaju sa odredjene stanice u utvrdjenim vremenskim intervalima. Ova osmatranja su, po pravilu, dugotrajna. Njihovi rezultati pokazuju izmene procesa , odn. reljefa i njegovih pojedinih oblika u toku vremena.

U prostim slučajevima stacionarna osmatranja se svode na prosta merenja, ili snimanja odredjenih karakteristika procesa, odn. oblika. Takva su, na primer, očitavanja hidroloških repera koji pokazuju vodostaj.

U najsloženijim slučajevima podižu se istraživačke stanice - opservatorije u kojima se smenjuju ekipe istraživača. Takve su, na primer, vulkanološke opservatorije na aktivnim vulkanima. Kako ovakva metodologija istraživanja zahteva znatna materijalna sredstva, istraživačku ekipu sačinjavaju stručnjaci različitih specijalnosti. Istraživanja se obavljaju paralelno sa različitih aspekata nauke.

3. POSTUPCI KVANTITATIVNE GEOMORFOLOŠKE ANALIZE

Suštinu kvantitativne geomorfološke analize predstavlja izbor parametara koji iskazuju odredjeno svojstvo procesa, oblika, ili nekog njihovog dela. Ovaj parametar se sistematski meri, matematički i statistički obradjuje, a rezultati grafički prikazuju i interpretiraju.

Broj parametara koji iskazuju neko geomorfološko svojstvo praktično je neograničen. Ništa manja nije mogućnost njihove obrade i pred-

stavljanja. Odavde izlazi da je i broj mogućih postupaka kvantitativne geomorfološke analize enormno veliki. Neki od njih su svojom jednostavnošću i pouzdanošću rezultata koje pružaju stekli status rutinskih postupaka. Ovde su prikazani samo izabrani, višestruko provereni i dokazani postupci kvantitativne geomorfološke analize. Njihovi rezultati se koriste u različitim disciplinama geoloških i drugih nauka.

(1) Analiza energije reljefa

Pod terminom "energija reljefa" podrazumeva se potencijalna energija posmatranog dela zemljine površine. Reljef predstavlja stensku masu u prostoru. Njegovi oblici čine graničnu površinu prema atmosferi i hidrosferi. Masa u prostoru poseduje potencijalnu energiju.

Potencijalna energija je definisana obrascem:

$$E_p = mgh$$

gde je: m - masa
g - ubrzanje zemljine teže
h - visina na kojoj se posmatrana masa nalazi

U razmatranje se uzima jedinična masa. Za posmatranu, uvek istu jediničnu površinu terena masa se može predstaviti kao jedinična, konstantna vrednost (m - const.). Za tako definisane jedinične mase i razlike ubrzanja zemljine teže su zanemarljivo male (g - const.). Odatle izlazi da je energija reljefa definisana njegovom visinom, tačnije rečeno visinskom razlikom najviše i najniže tačke unutar posmatrane jedinične površine terena (Δh).

Definisana na ovaj način energija reljefa predstavlja parametar vertikalnog raščlanjenja reljefa:

$$V_r = \frac{\Delta h}{P}$$

gde je: Δh - visinska razlika najviše i najniže tačke
P - površina na kojoj se meri energija reljefa.

Lokalno posmatrano, energija reljefa je uslovljena specifičnostima terena. Tu na prvom mestu treba imati u vidu litološki sastav i

sklop, zatim količine voda na terenu i t.d. Ona predstavlja parametar intenziteta razvoja egzogenih procesa. Sistematskim merenjem i statističkom obradom mogu se locirati područja najveće energije, odnosno najintenzivnije erozije i područja minimalne energije, odn. područja pojačane akumulacije. Dobijeni podaci mogu biti od značaja u inženjerskoj geologiji (stabilnost padina), u istraživanju ležišta mineralnih sirovina (nanosna ležišta), u pedologiji (upotrebljivost tla) i tome slično.

Regionalno posmatrano, pojačana erozija, odnosno akumulacija predstavljaju odraz najmladjih tektonskih pokreta. Uopštene vrednosti energije reljefa na taj način postaju parametar neotektonske aktivnosti terena. Regionalnom analizom energije reljefa dobijaju se podaci o položaju neotektonskih struktura, intenzitetu i znaku pokreta. Ovakvi podaci mogu biti od značaja kod seizmotektonskih ispitivanja, inženjersko-geoloških istraživanja (izgradnja brana, podobnost lokacija za nuklearne elektrane i sl.), regionalnih hidrogeoloških istraživanjima (termalna energija) i brojnim drugim geološkim radovima.

Praktični postupak analize energije reljefa izvodi se na sledeći način:

Topografska karta, koja predstavlja istraživani teren, deli se na jedinične površine. Izbor razmere karte zavisi od veličine istraživanog područja i detaljnosti istraživanja. Najčešće se koriste razmere od 1:25.ooo do 1:1oo.ooo.

Veličina jedinične površine takodje zavisi od razmere i željene detaljnosti istraživanja. Pokazalo se da kod razmera 1:25.ooo i 1:5o.ooo najpogodnija jedinična površina ima dimenzije 1kmx1km (4cmx4cm, odnosno 2cmx2cm u razmeri odgovarajuće karte). Kod krupnijih razmera ova površina se smanjuje, a kod sitnijih povećava. Kod razmere 1:1o.ooo kao jedinična površina uzima se, na primer, o,4 km x o.4 km. Kod razmere 1:1oo.ooo dimenzije jedinične površine su najčešće 2 km x 2 km do 4 km x 4 km.

Da bi se topografska karta sačuvala i za druge postupke mreža jediničnih površina se izvlači na pausu, ili foliji, postavljenoj preko topografske karte. Unutar svake jedinične površine utvrdjuje se najviša i najniža kota. Njihova razlika se upisuje u centar jedinične površine. Primenom formalne interpolacije ovako dobijenih podataka izvlače

se izolinije energije reljefa.

Ekvidistanca izolinija zavisi od dobijenih vrednosti, odn. od karakteristika reljefa. U ravničarskim terenima, gde su visinske razlike male, ekvidistanca mora biti manja. U brdovitim i planinskim predelima ekvidistanca sa visinskim razlikama postaje sve veća. Na karti, kao pravilo, ne bi trebalo da bude više od 8 do lo izolinija različitih vrednosti. Karta sa velikim brojem izolinija postaje nečitka, te se na taj način samo umanjuje njen kvalitet.

Povećanje tačnosti karte može se izvesti pogušćavanjem merenja. Veličina jediničnog polja u kome se vrši merenje pri tome se ne sme menjati. Pogušćavanje se postiže prostim pomeranjem jedinične mreže za polovinu polja u pravcu istok - zapad i sever - jug. Sa pomeranjem mreže dobijaju se novi položaji jediničnih polja i po njima ponavljaju očitavanja.

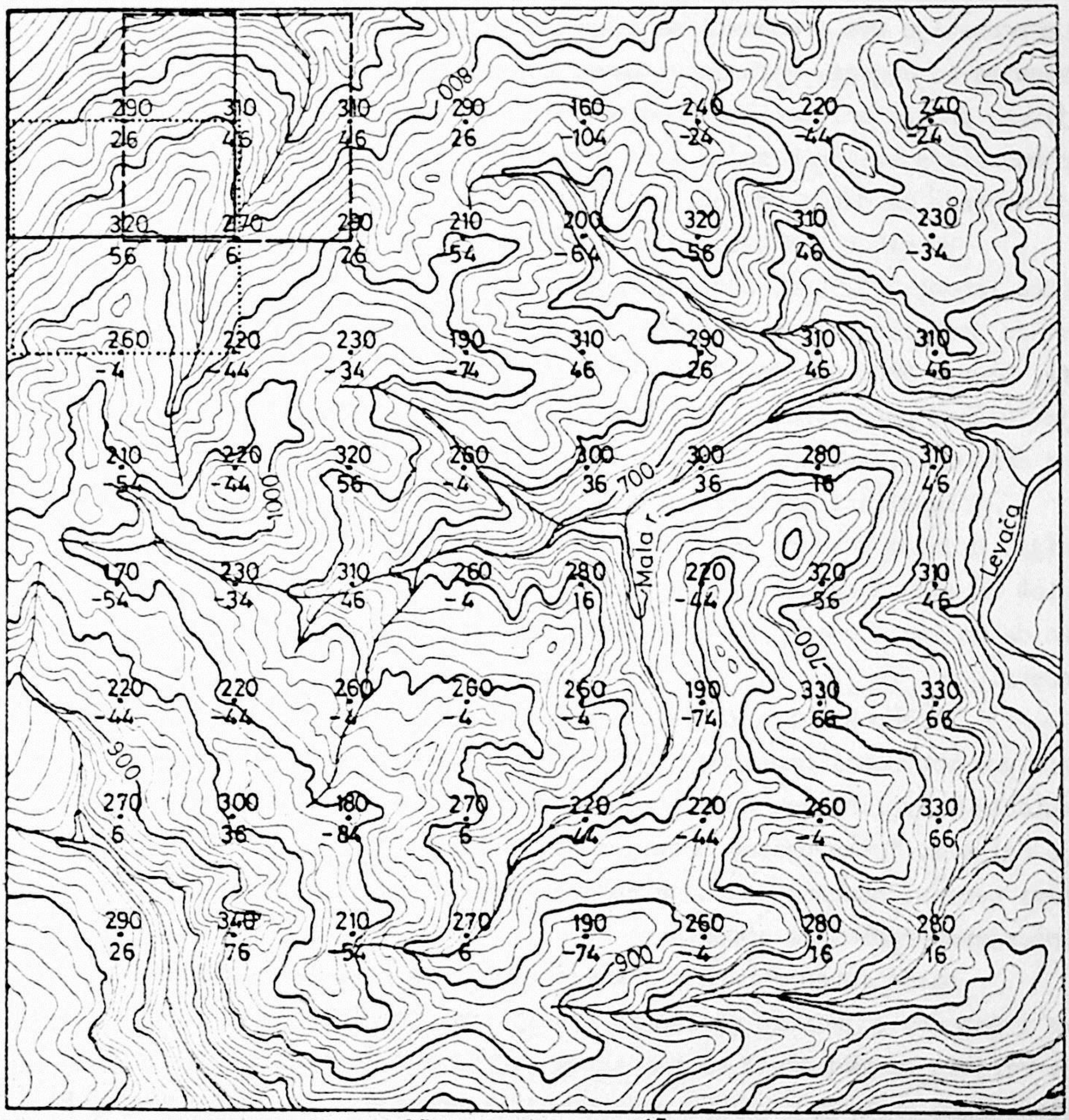
Postupak analize energije reljefa prikazan je na izabranom primeru. Analiza je obavljena na manjem delu brdovito-planinskog terena, približne površine od 21,4 km^2. Ovaj teren je prikazan topografskom kartom originalne razmere 1:25.ooo, sa ekvidistancom od 2o m (slika 3).

Merenje visinskih razlika, odnosno vrednosti energije reljefa, obavljeno je po jediničnoj mreži dimenzija 1 km x 1 km, sa tačnošću očitavanja od lo m. Merenja su pogušćena pomeranjem mreže za polovinu jediničnog polja (o,5 km) od zapada ka istoku i za isti iznos od severa ka jugu. Na taj način vrednosti energije reljefa su dobijene po tačkama udaljenim medjusobno o,5 km, što u datoj razmeri obezbedjuje sasvim dovoljnu tačnost interpolacije.

U SZ uglu karte na slici 3 prikazan je princip pogušćavanja podataka. Sa prvim položajem mreže (kvadrat izvučen punom linijom), idući od SZ ugla karte ka istoku, očitane su vrednosti energije reljefa 29o, 3lo, 16o, i t.d. Po istoj mreži, idući od SZ ugla ka jugu, niz ovih vrednosti je 29o, 26o, 17o, i t.d.

Pomeranjem mreže za polovinu polja ka istoku (kvadrat označen crtkastom linijom) dobijaju se vrednosti 3lo, 29o, 24o,... . Pomeranjem za polovinu polja ka jugu (tačkasta linija) nižu se vrednosti 32o, 2lo, 22o i t.d.

Izmerene vrednosti predstavljaju visinske razlike unutar jedi-



Slika 3. Odredba pozitivnih i negativnih vrednosti energije reljefa. Za referentni nivo usvojena je srednja vrednost svih merenih vrednosti energije reljefa (263,59). Dobijeni podaci su zaokruženi na celu jedinicu.

ničnih polja iskazane u metrima. Radi preglednosti i jednostavnije interpretacije ove vrednosti se iskazuju kao pozitivne ili negativne u odnosu na odredjeni, referentni nivo. Ovaj referentni, nulti nivo se dobija kao prosta aritmetička sredina svih merenih vrednosti. Ona, dakle, predstavlja količnik zbira svih merenih visinskih razlika i ukupnog broja merenja na datom terenu.

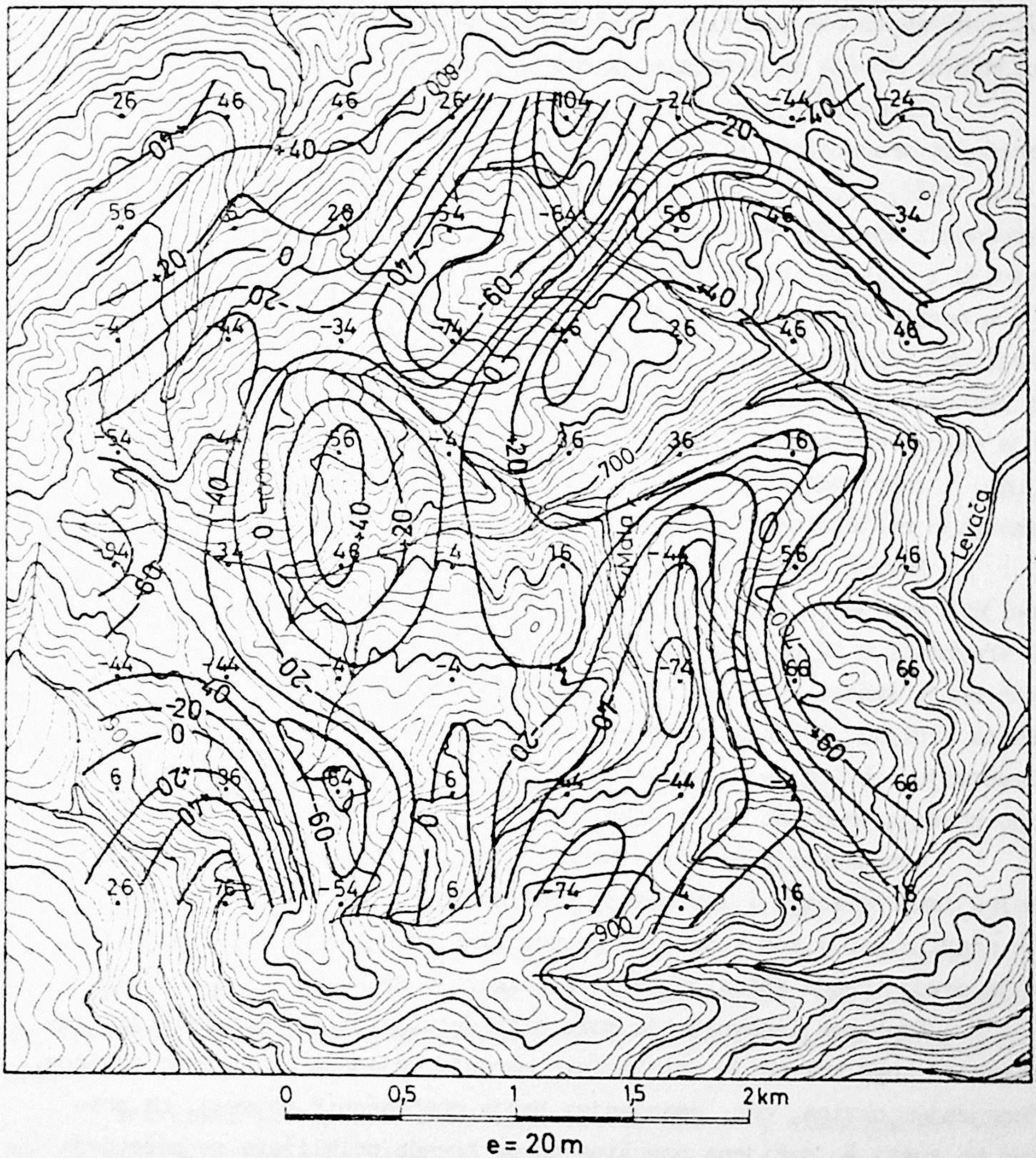
U prikazanom primeru na slici 3 srednja vrednost visinskih razlika iznosi 263,59 m, odn. zaokruženo na celu jedinicu, 264 metara. Za svako jedinično polje na slici tri date su dve vrednosti energije reljefa. Gornji broj označava ukupnu visinsku razliku unutar posmatranog jediničnog polja. Donji broj pokazuje položaj izmerene energije u odnosu na sračunatu, srednju (nultu) vrednost.

Rezultati analize energije reljefa su prikazani kartom izolinija. U datom primeru vrednosti energije reljefa se kreću u rasponu od -lo4 do +76. Stoga je za izolinije izabrana ekvidistanca od 2o m, tako da na karti energije reljefa ima ukupno 9 izolinija različitih vrednosti.

Interpretacija karte energije reljefa je veoma jednostavna. Pozitivne vrednosti označavaju povećanu eroziju, a negativne pojačanu akumulaciju. Izolinijama su locirana područja maksimuma i minimuma energije reljefa. To su ujedno erozijom najugroženiji i najnestabilniji delovi terena, odnosno područja najveće koncentracije nanosa, stabilna sa inženjerskogeološkog aspekta.

Dalja interpretacija i korišćenje ovih podataka zavisi od zahteva i potreba pojedinih geoloških disciplina. Korelacijom karte energije reljefa sa geološkom kartom istog područja može se utvrditi uticaj litološkog sastava i sklopa na intenzitet erozije, odn. akumulacije. Na taj način povećava se objektivnost interpretacije i upotrebljivost dobijenih podataka.

Karta energije reljefa prikazuje odraz udruženog dejstva endogenih i egzogenih sila na površini ispitivanog terena. Da bi se istakao regionalni uticaj endogenih sila, pre svega neotektonskih pokreta, neophodno je da se lokalni uticaji geomorfoloških procesa i litološkog sastava i sklopa eliminišu. Ovo se postiže uopštavanjem, utvrdjivanjem generalne težnje (trenda) energije reljefa.



Slika 4. Karta energije reljefa.

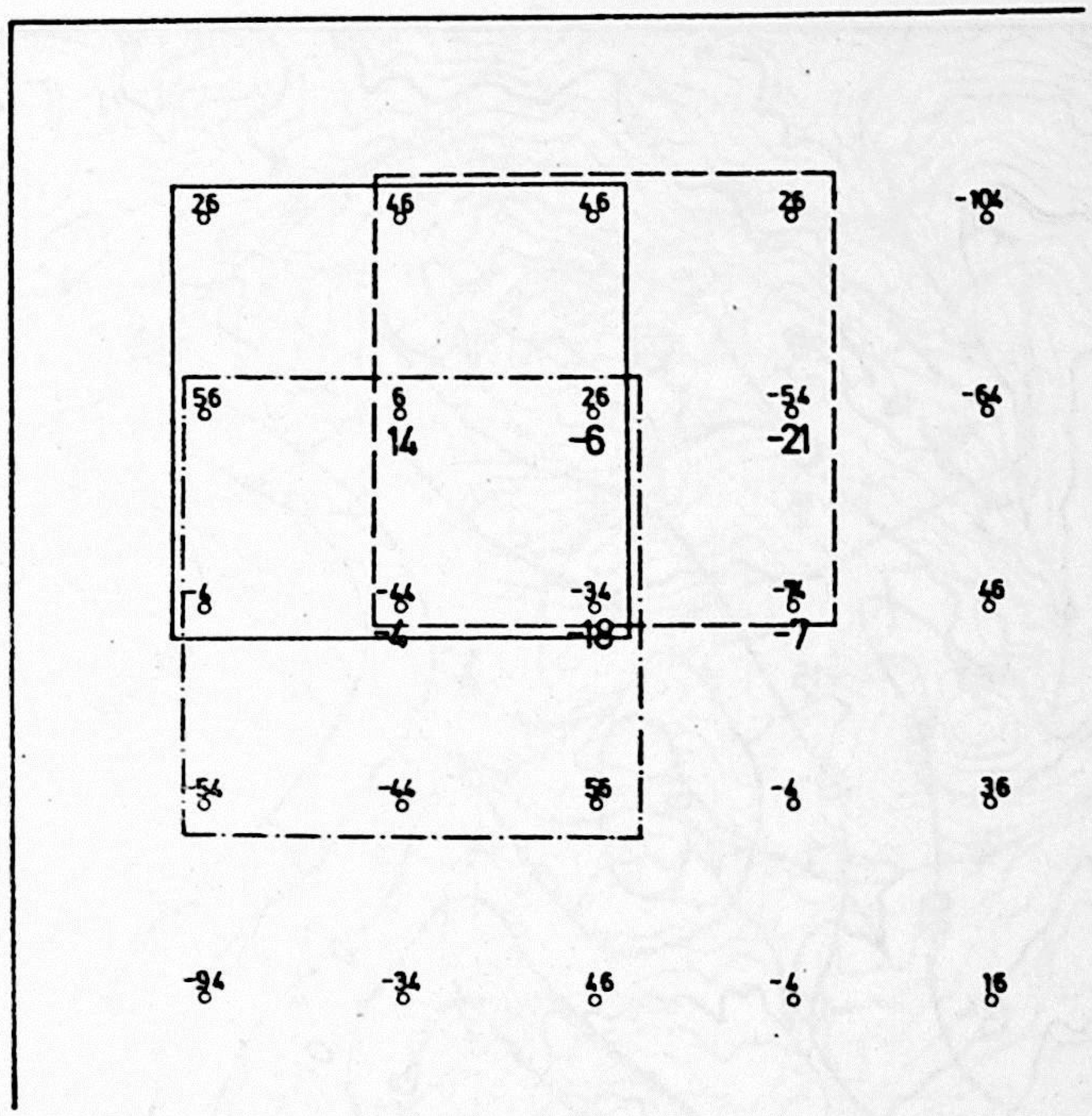
Karta energije reljefa svojim izolinijama pokazuje krivu površinu u prostoru. Na njoj se javljaju brojni lokalni maksimumi i minimumi. Izravnavanjem ove površine, snižavanjem najviših tačaka i povećavanjem najnižih, dobija se generalni trend površine u prostoru.

Izravnavanje površine izvodi se statističkim metodom "tekućih srednjih vrednosti", slično vremenskoj trend analizi (Potter and Pettijohn, 1963.). Za ovo se koristi već primenjena mreža jediničnih polja. Vrednosti energije reljefa upisane u centrima 9 susednih polja se sabiraju i njihova aritmetička sredina kao reprezentativna vrednost upisuje u centar kvadrata koji obuhvata ovih 9 polja. U sledećem koraku okvir koji obuhvata 9 podataka se pomera za jedno polje od zapada ka istoku i postupak sračunavanja srednjih vrednosti se ponovi. Po završetku merenja celog reda pravca zapad - istok okvir se pomera za jedno polje ka jugu, i tako redom. Izravnavanjem su na taj način obuhvaćene vrednosti energije reljefa na svim tačkama na posmatranom terenu.

Primer postupka izravnavanja, tj. sračunavanja trenda energije reljefa dat je na slici 5. Prvi položaj okvira (puna linija) obuhvata 9 vrednosti u SZ uglu karte. Njihova srednja vrednost, zaokružena na ceo broj, iznosi +14. Okvir je pomeren ka istoku za jedno polje (crtkasta linija). Srednja vrednost ovako obuhvaćenih podataka iznosi -6. Spuštanjem okvira za jedno polje ka jugu (crta-tačka-crta) dobija se kao srednja vrednost -4, i tako dalje.

Konstrukcija površine trenda energije reljefa svodi se na formalnu interpolaciju i izvlačenje izolinija. Pri tome se primenjuju ista pravila kac i kod konstrukcije površine energije reljefa. Kartu izonija prvog trenda energije reljefa prikazuje slika 6.

Postupak izravnavanja može biti detaljniji ili generalniji, zavisno od toga koliko je originalnih merenja odjednom obuhvaćeno okvirom. Smanjenjem okvira, odn. smanjenjem broja obuhvaćenih merenja, na primer na svega 4, dobijena površina prvog trenda približava se početnoj površini energije reljefa. Nasuprot tome, povećanjem okvira, odn. povećanjem broja obuhvaćenih podataka, na primer na 16, površina trenda postaje uopštenija i ravnija. Kroz dosadašnju praksu se pokazalo da se najbolji rezultati kod rada sa osnovama razmere 1:25.ooo do 1:loo.ooo dobijaju ako okvir obuhvati 9 merenja, kao što pokazuje primer na slici 5.

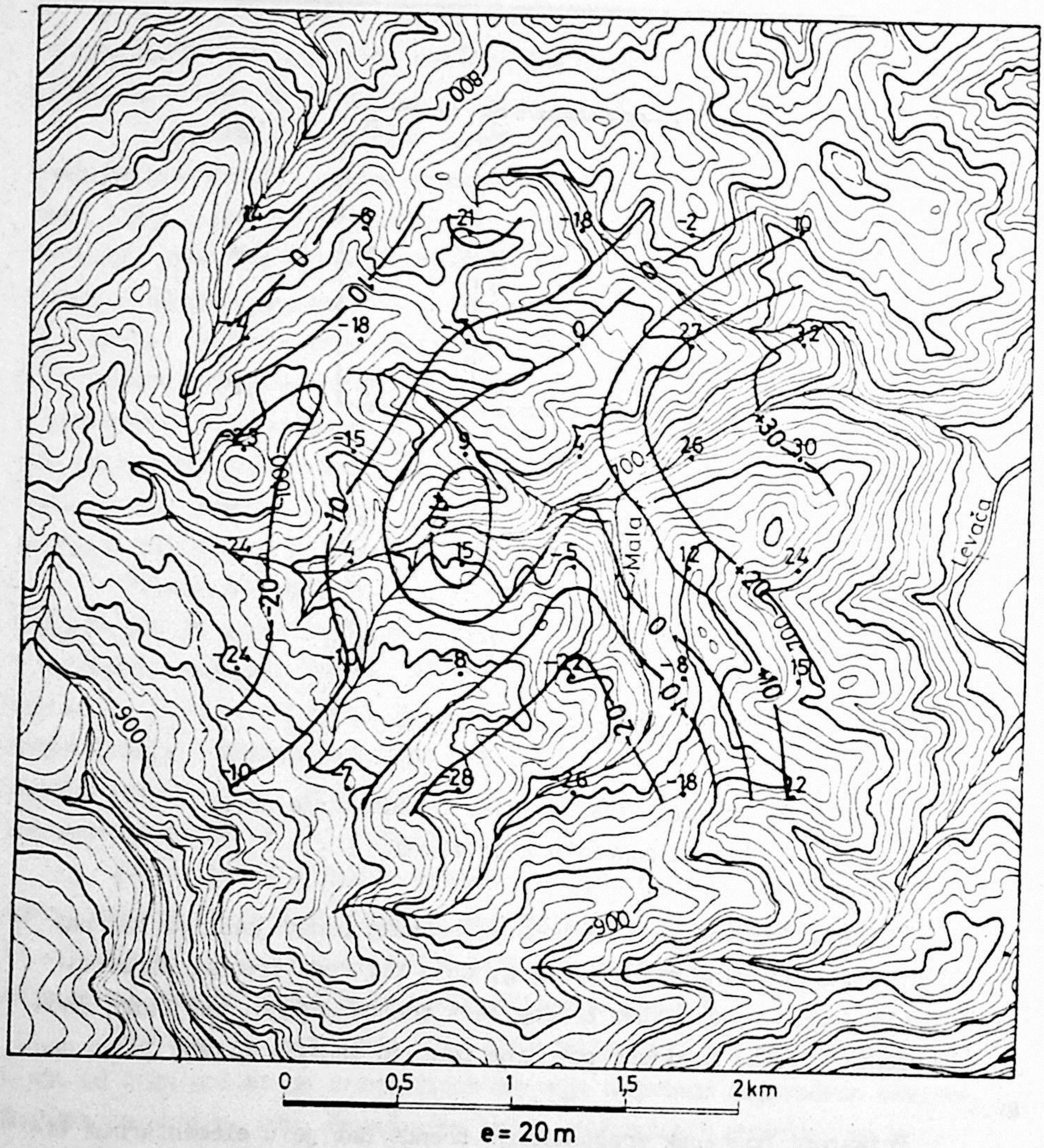


Slika 5. Princip izravnavanja. Sračunavanje prvog trenda površine u prostoru.

Postupak izravnavanja se može višestruko ponavljati. Na taj način se dobijaju površine prvog, drugog, do n-tog reda trenda. Izravnavanja posle drugog, eventualno trećeg reda trenda nemaju, medjutim, mnogo praktičnog smisla. Dobijene površine postaju isuviše slične jedna drugoj.

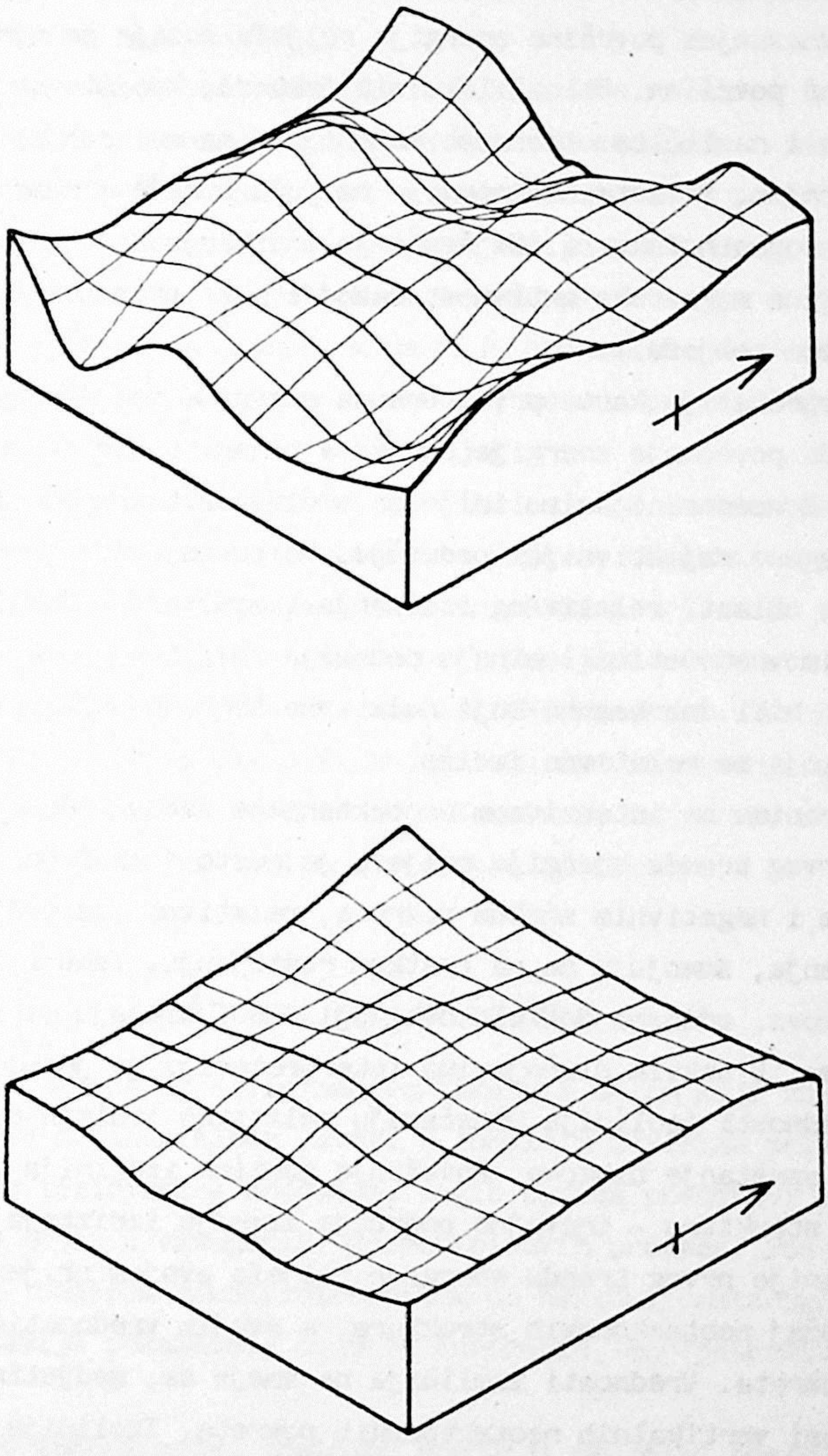
Prikazani postupak sračunavanja trenda dat je u elementarnom vidu. On se može izvesti bez ikakvog instrumentarijuma. Primena računara sa odgovarajućim programom može, razumljivo, bitno ubrzati posao i povećati vrednost dobijenih podataka.

Odnos prostornog položaja površine energije reljefa i prostornog položaja prvog trenda energije reljefa za ispitivani teren prikazan je shematski na slici 7. Blokdijagrami su konstruisani u izometriji, na os-



e = 20 m

Slika 6. Prvi trend energije reljefa.



Slika 7. Shematski prikaz prostornog položaja površine energije reljefa (gore) i prvog trenda energije reljefa (dole).

novu karte energije reljefa (slika 4), odnosno karte prvog trenda energije reljefa (slika 7).

Izravnavanjem površine energije reljefa dobija se njen trend - generalizovana površina. Uticaj lokalnih faktora, kao što su učinak egzogenih procesa i različita otpornost materijala na razaranje, izravnavanjem je otklonjen. Prvi trend energije reljefa odražava samo dejstvo regionalnih, endogenih faktora. Najčešće je u pitanju neotektonska aktivnost. Obnovljena magmatska aktivnost takodje može uticati na regionalne odnose energije reljefa.

Interpretacija karte prvog trenda energije reljefa zasniva se na principu da povećanje energije odražava pojačanu neotektonsku aktivnost terena. Koncentracija izolinija sa većim pozitivnim vrednostima odgovaraće endogeno najaktivnijem području. To su najčešće prevojna područja izmedju oblasti relativnog izdizanja i spuštanja. Izolinije sa većim negativnim vrednostima lociraju područja relativnog mirovanja. To, takodje, mogu biti dna basena koji relativno tonu, odnosno temeni delovi područja koja se relativno izdižu.

U terenima sa intenzivnom neotektonskom aktivnošću interpretacija karte prvog trenda energije reljefa je nešto specifičnija. Blokovi sa pozitivnim i negativnim znakom pokreta, relativna izdizanja, odn. relativna tonjenja, smenjuju se na kratkom rastojanju. Temeni delovi izdignutih blokova, odnosno dna blokova koji tonu, spajaju se sa prevojnim područjima. U takvim slučajevima interpretacija je jednostavnija. Pozitivne vrednosti izolinija označavaju relativno izdizanje, a negativne relativno spuštanje blokova. Povećanje gustine izolinija označiće neotektonsku strukturu - prevojno područje izmedju izdizanja i spuštanja.

Izolinije prvog trenda energije reljefa svojom orijentacijom pokazuju položaj neotektonskih struktura, a svojim vrednostima znak i intenzitet pokreta. Vrednosti izolinija ne smeju se, medjutim, tretirati i kao iznosi vertikalnih neotektonskih pokreta. Izolinije pokazuju vrednosti promene parametra, u ovom slučaju trenda energije reljefa. Njihove vrednosti su proporcionalne, ali ne i jednake iznosu kretanja.

Povećavanjem jediničnog polja povećavaju se i merene vrednosti energije reljefa. Proporcionalno se povećavaju i razlike u odnosu na referentni nivo, pa time i vrednosti izolinija prvog trenda energije reljefa. Nasuprot tome, smanjenjem jediničnog polja smanjuju se i vredno-

sti izolinija za isti teren. Njihovi medjusobni odnosi, položaj i znak, ostaće, medjutim, nepromenjeni.

Karta prvog trenda energije reljefa data na slici 6 pokazuje povećane vrednosti izolinija u istočnom delu, a smanjene u zapadnom delu terena. Zapadni deo, ujedno teren sa najvišim kotama, predstavlja teme bloka koji se relativno izdiže. Istočni deo je prevojno područje ka bloku koji relativno tone. Ovaj blok na terenu predstavlja dolina reke Levače, na krajnjem istoku karte, koja nije obuhvaćena merenjem. Prevojno područje, neotektonski aktivna struktura, sudeći po položaju izolinija ima orijentaciju ose u pravcu sever - jug.

Uticaj endogenih faktora, kao što su napr. neotektonski pokreti, na reljef terena predstavlja regionalnu pojavu. Objektivni podaci dobijaju se tek kvantitativnom analizom prostora površine od više stotina do više hiljada kvadratnih kilometara. Primenjeni morfometrijski postupak analize energije reljefa ima statistički karakter. Verodostojnost podataka raste proporcionalno sa brojem obavljenih merenja. Dati teren, površine od par desetina kvadratnih kilometara, sa par desetina merenja (slike 3, 4 i 6) ima isključivo namenu da ilustruje postupak.

(2) Analiza nagiba padina

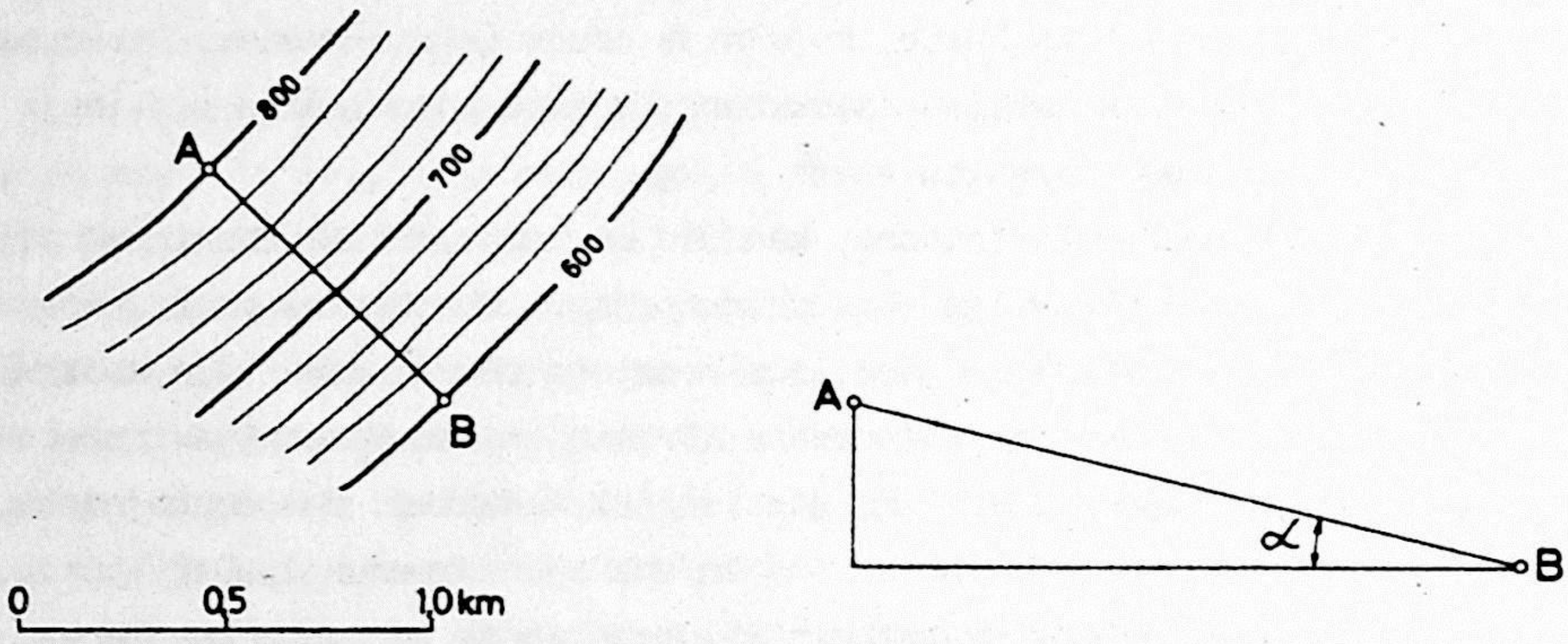
Nagib padina je definisan vertikalnim uglom koji zaklapa površina terena sa horizontalnom ravni. U lokalnim okvirima metarskog do kilometarskog veličinskog područja, nagib terena predstavlja neposrednu posledicu dejstva egzogenih, geomorfoloških procesa. Posmatran statistički, u regionalnom dekakilometarskom do hektokilometarskom području, nagib predstavlja pokazatelj dejstva endogenih, morfostrukturnih procesa.

Nagib terena može, analogno energiji reljefa, poslužiti kao parametar za kvantitativnu geomorfološku analizu. Dobijeni podaci u lokalnim razmerama služe za utvrdjivanje intenziteta erozije, odnosno akumulacije. Dobijeni podaci su, sa različitih aspekata, primenljivi u brojnim geološkim disciplinama. Oni imaju primenu i u drugim naukama koje tretiraju površinu zemlje. Takve su, na primer, poljoprivreda i šumarstvo, gradjevinarstvo, vojne nauke i t.d. U regionalnim razmerama

nagib postaje pokazatelj najmladje tektonske aktivnosti zemljine kore.

Praktični postupak analize nagiba svodi se na sistematsko merenje nagiba padina na topografskoj karti, okonturavanje polja jednakog nagiba i njihovu interpretaciju. Uobičajena su dva načina merenja nagiba na topografskoj karti: grafički i trigonometrijski.

Grafički način merenja nagiba se svodi na konstrukciju topografskog profila izmedju dve tačke na padini (slika 8). Pri ovom se podrazu-

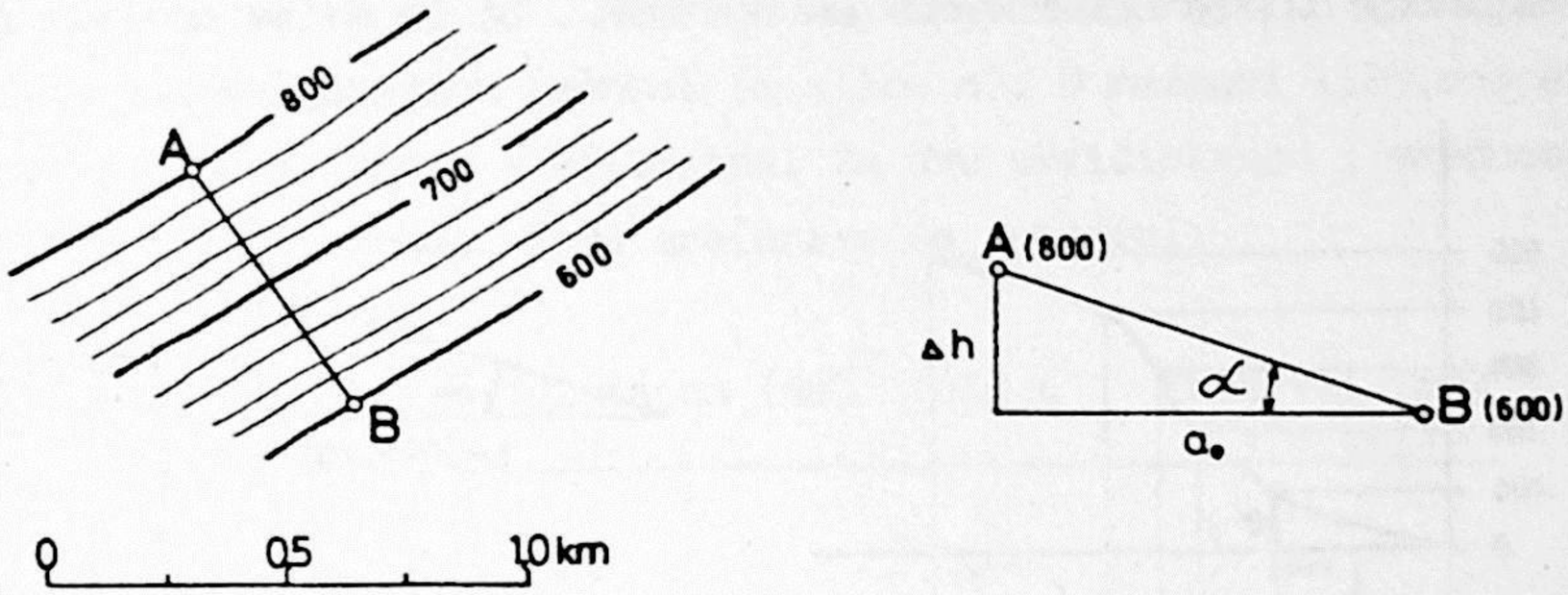


Slika 8. Grafički način odredbe nagiba

meva da je nagib izmedju izabranih tačaka konstantan. Profil se konstruiše u razmeri karte. Po želji razmera se može povećati. Prilikom uvećavanja razmere horizontalno i vertikalno rastojanje tačaka obavezno se povećavaju za isti iznos, dva, tri, ili više puta. Promena odnosa horizontalne i vertikalne razmere daje netačne podatke. Na datom primeru (slika 8) prilikom konstrukcije profila razmera je povećana 2 puta i po horizontali i po vertikali.

Trigonometrijski način odredbe nagiba polazi od odnosa u trouglu koga formiraju površina padine ($\bar{AB}$), horizontalno rastojanje tačaka (a_o) i visinska razlika tačaka (Δh). Ove odnose pokazuje slika 9.

Visinska razlika tačaka se očitava direktno sa karte u metrima. Njihovo horizontalno rastojanje, koje se na karti meri u milimetrima, mora se putem razmere karte prevesti u iste jedinice, tj. u metre. U datom primeru visinska razlika iznosi 2oo m, a horizontalno rastojanje je



Slika 9. Trigonometrijski način odredbe nagiba

6oo metara. Ugao nagiba se sračunava po obrascu:

$$tg\,\alpha = \frac{\Delta h}{a_o}$$

odnosno:

$$\alpha = arctg\,\frac{\Delta h}{a_o}$$

U datom primeru:

$$tg\,\alpha = \frac{2oo}{6oo} = o,333...$$

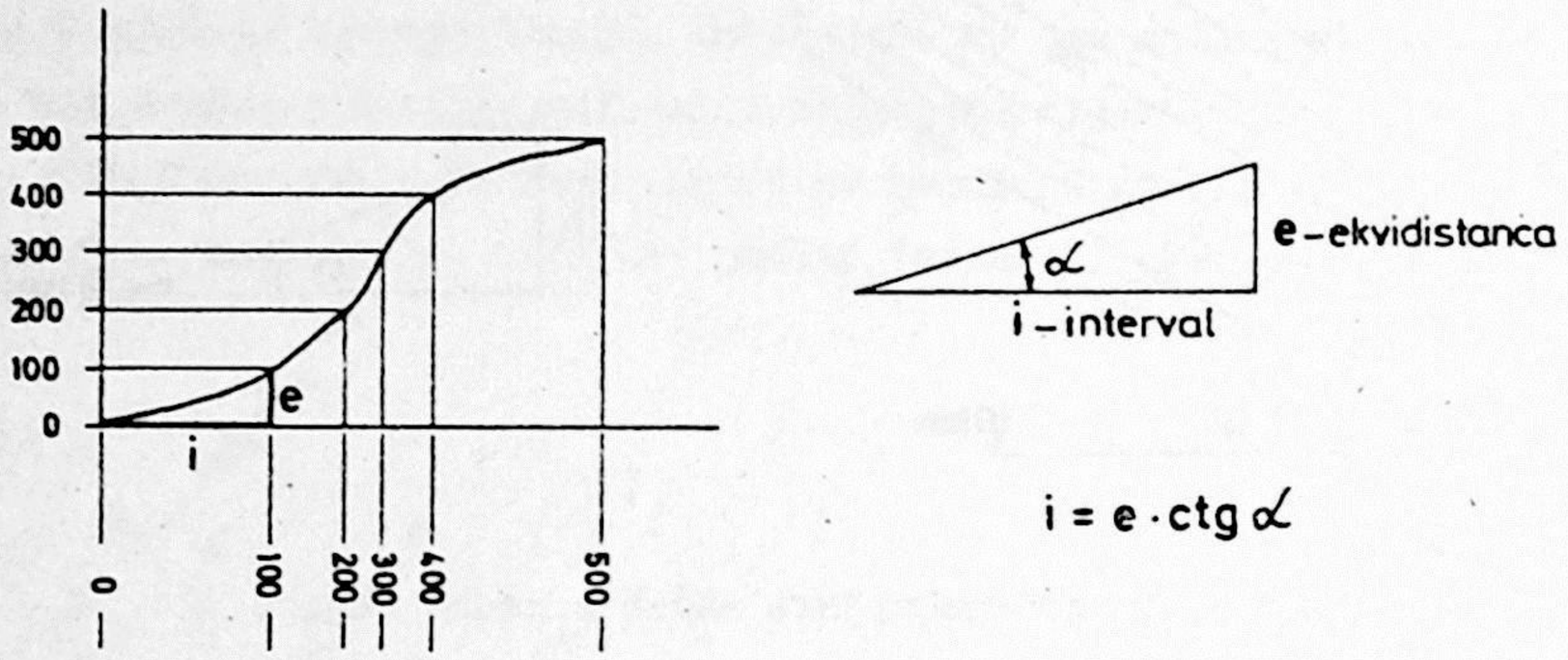
$$\alpha = 18^o$$

Vrednost merenog ugla padine se, kao pravilo, zaokružuje na ceo stepen. Padine u reljefu predstavljaju prirodne, a ne geometrijski ravne površine, te veća tačnost nema praktičnog smisla.

Potreba za merenjem nagiba sa tačnošću od jednog stepena u praksi se javlja u ograničenom broju slučajeva. Analiza nagiba padina najčešće podrazumeva klasiranje padina po nagibu u odredjenim rasponima. Odvajaju se, na primer, područja sa nagibom od 0^o do 5^o, od 5^odo 10^o, 10^o - 15^o, i t.d.Broj klasa, odnosno granične vrednosti nagiba za pojedine klase, odredjuje se zavisno od karakteristika terena, razmere u kojoj se radi i svrhe za koju se analiza obavlja.

Za klasifikaciju padina po nagibu potreban je veliki broj merenja. Trigonometrijski, a posebno grafički način odredbe nagiba, za ovo je isuviše složen i dugotrajan. Masovno merenje zahteva racionalni

način direktnog očitavanja nagiba. Ovo omogućavaju elementarni principi konstrukcije topografske karte (slika lo).



Slika lo. Odnos intervala, ekvidistance i nagiba.

Padina u reljefu je sečena zamišljenim horizontalnim ravnima. Ravni se nalaze na medjusobno jednakom vertikalnom rastojanju. Ono se definiše kao ekvidistanca karte. Preseci horizontalnih ravni i padine, projektovani na jednu osnovnu horizontalnu ravan, daju izohipse. Horizontalno rastojanje izohipsi naziva se interval. On zavisi od ekvidistance i nagiba padine. Ekvidistanca je za jednu topografsku kartu konstantna vrednost. Interval stoga zavisi isključivo od nagiba.

Za kartu odredjene razmere i date ekvidistance promenom vrednosti ugla nagiba (α) po obrascu $i = e \cdot ctg\,\alpha$ mogu se sračunati vrednosti intervala za odgovarajuće nagibe. Ako se unapred zna koliki interval odgovara odredjenom uglu, merenje nagiba se svodi na prosto poredjenje posmatranog intervala sa sračunatim vrednostima.

Kod klasiranja padina po nagibu po prikazanom principu se izradjuje šablon za direktno očitavanje. U obrascu $i = e \cdot ctg\,\alpha$ menjaju se vrednosti nagiba na granicama izabranih klasa i sračunavaju granične vrednosti njihovih intervala.

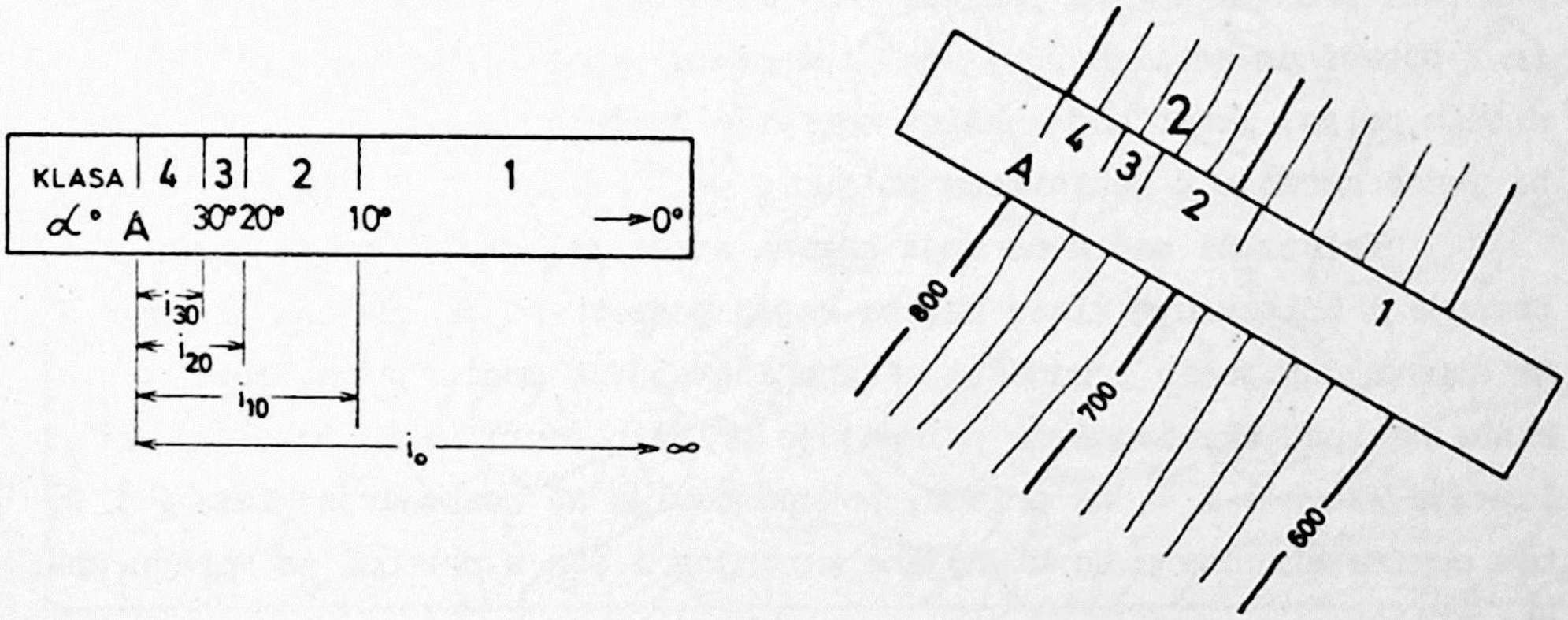
Princip rada je objašnjen na sledećem primeru:

Na karti razmere 1:25.ooo obavlja se klasiranje padina po nagibu. Klase imaju raspon od 10^o. Teren je brdovito-planinski. Maksimalni nagibi ne prelaze $4o^o$. Usvojene su 4 klase: 0^o-10^o, 10^o-20^o, 20^o-30^o i

klasa sa nagibom većim od 30^{o}. Merenje nagiba izmedju stotih izohipsi daje sasvim zadovoljavajuću tačnost (e = loo m). U razmeri 1:25.ooo ekvidistanca od loo m iznosi 4 milimetra. Za ovu ekvidistancu i vrednosti uglova nagiba na granicama klasa sračunava se interval:

Klasa	Nagib (α°)	ekvidistanca (mm) e	ctg α	interval (mm) i = e·ctg α
1	0	4	∞	∞
2	10	4	5,67	22,69
3	2Q	4	2,75	11.oo
4	30	4	1,73	6,92
	>30	4	<1,73	<6,92

Konstrukciju šablona i način merenja nagiba prikazuje slika 11.



Slika 11. Šablon za očitavanje nagiba i način njegove upotrebe.

Početna tačka (A) pri konstrukciji šablona se proizvoljno bira. Kod merenja šablon se postavlja upravno na pružanje izohipsi. Početna tačka (A) treba da padne na celu izohipsu. Očitava se klasa u koju pada izohipsa za loo m viša, ili niža od tačke A.

U datom primeru na slici 11 početna tačka A leži na izohipsi

8oo. Niža za sto metara, izohipsa 7oo pada u područje klase 2, što znači da nagibi padine u ovom delu terena iznose od 10^{o} do 20^{o}. Vrednost klase se upisuje na sredini merenog dela padine.

Početna tačka prilikom merenja ne mora ležati isključivo na stotoj izohipsi. Ona se može postaviti na bilo koju izohipsu, pa čak i izmedju njih. Bitno za merenje je da se prilikom očitavanja uzima horizontalno rastojanje za visinsku razliku od loo m u odnosu na početnu tačku. U slučajevima kada očitavana izo hipsa padne na granicu dve klase upisuje se vrednost više klase.

Merenje nagiba može se, razumljivo, izvoditi samo na jedinstvenoj padini. Merenja preko grebena, ili dna dolina, dala bi potpuno pogrešne rezultate.

Konstruisani šablon se može koristiti samo za odredjenu razmeru, odnosno usvojenu ekvidistancu. Promena razmere karte, ili promena ekvidistance na karti iste razmere zahteva konstrukciju novog šablona.

Gustina merenja zavisi od karakteristika reljefa, t.j. od učestanosti promena nagiba padine. Ona je takodje uslovljena razmerom karte i potrebnom detaljnošću, odn. tačnošću. Ako se sledi princip jediničnih polja, iznet kod analize energije reljefa, minimalni zahtev bilo bi jedno merenje u jediničnom polju.

Prikazani način merenja nagiba svodi se, dakle, na prosto očitavanje i upisivanje klase nagiba kojoj posmatrani deo padine pripada. Na osnovu dobijenih vrednosti razgraničavaju se područja različitih klasa nagiba. Pri ovome se primenjuje princip formalne interpolacije. Izmedju klasa 1 i 4, na primer, predpostavlja se postojanje klasa 2 i 3, bez obzira što one nisu utvrdjene merenjem i što u prirodi ne moraju postojati.

Ograničena područja različitih klasa mogu se predstaviti različitim bojama, ili crno-belom šrafurom. Opšte pravilo je da područja sa većim nagibom budu označena jačim intenzitetom boje, odnosno gušćom crno-belom šrafurom.

Karta nagiba padina daje značajne podatke za sve nauke koje se bave površinom zemlje. Stabilnost padina, pojačana erozija ili akumulacija, obradivost tla, njegova prohodnost, mogućnost i način gradjenja, kao i mnoga druga svojstva terena, neposredno su uslovljeni nagibima.



Slika 12. Okonturavanje polja različitog nagiba.

Na slici 12 dat je primer izrade karte nagiba padina. Na karti originalne razmere 1:25.ooo područja različitog nagiba su razvrstana po klasama u rasponu 0^{o} - 10^{o} - 20^{o} - 30^{o} - $>30^{o}$. Šablon za merenja, sa ekvidistancom od loo m priložen je uz kartu. Gustina merenja varira od 7 do 18 merenja na kvadratni kilometar. Prosečna gustina iznosi oko ll merenja/km^{2}, što je u ovoj razmeri sasvim dovoljno za detaljno klasiranje. Granice područja su izvučene primenom formalne interpolacije. One predstavljaju izolinije graničnih vrednosti nagiba za izabrane klase. U finalnom iscrtavanju sa ovakve karte se uklanjaju podaci pojedinih merenja i polja različitog nagiba se označavaju bojama, odn. šrafurama.

Neposredno mereni nagibi, kao i energija reljefa, rezultat su udruženog dejstva endogenih i egzogenih sila. Da bi se otklonio lokalni uticaj egzogenih procesa, odn. litološkog sastava i sklopa terena, utvrdjuje se regionalna težnja, trend nagiba. Ovaj postupak detaljno je prikazan u analizi energije reljefa.

Za sračunavanje prvog trenda nagiba potrebno je vrednosti nagiba izraziti po jediničnoj mreži. Ovde se, takodje, primenjuje princip formalne interpolacije. Na karti nagiba padina granice područja su izolinije utvrdjenih vrednosti. Uzima se da se nagib izmedju izolinija različitih vrednosti linearno menja.

Primer očitavanja nagiba sa karte nagiba padina po jediničnoj mreži pokazan je na slici 13. Već samo ovakvo očitavanje predstavlja izvesno uopštavanje. Ono se ne sme upotrebiti za potrebe egzaktnog utvrdjivanja nagiba na odredjenoj tački terena.

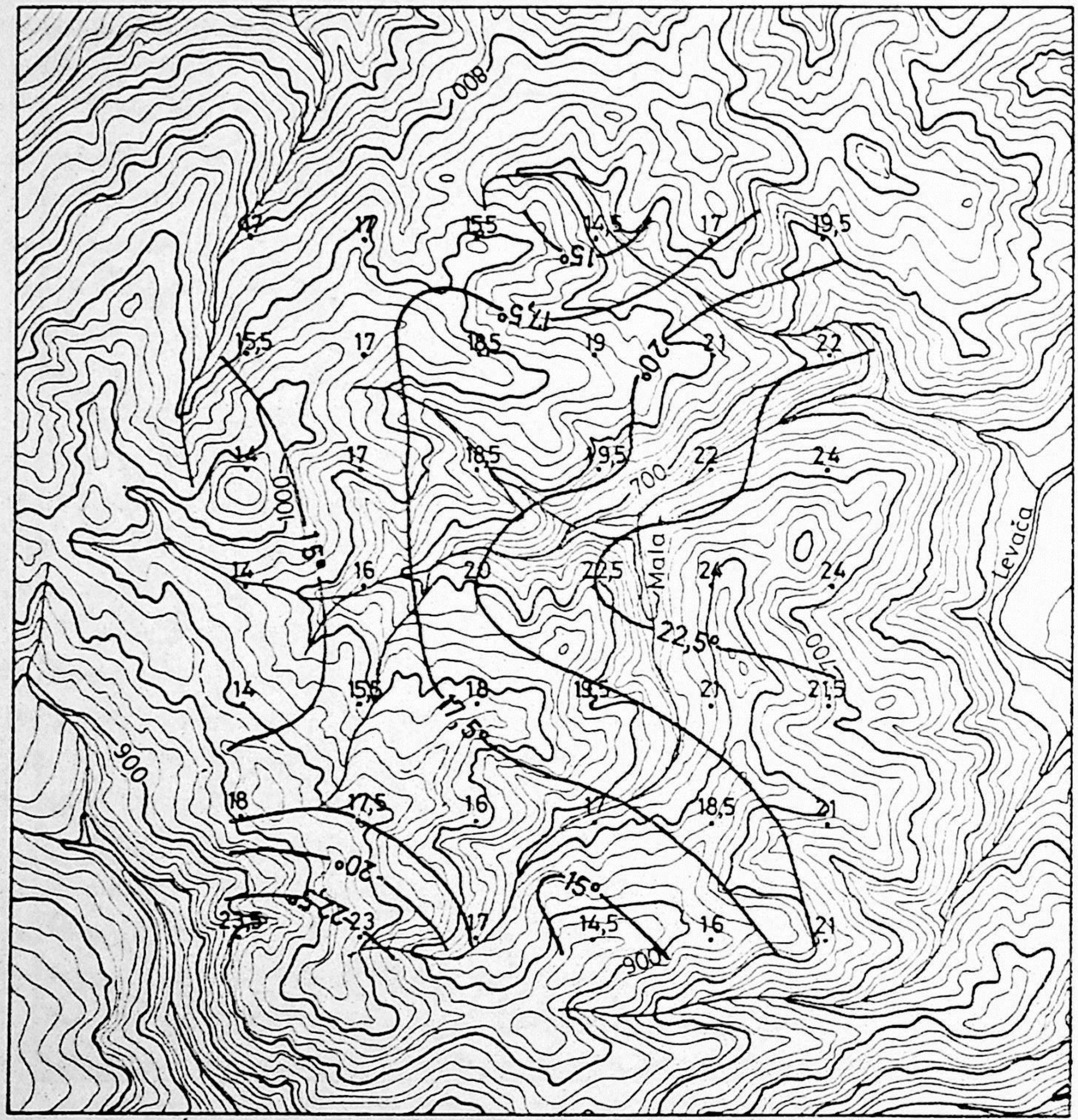
Za sračunavanje trenda primenjuje se ranije objašnjeni postupak tekućih srednjih vrednosti. U datom primeru uzeta su 9 podatka kao osnova za sračunavanje. Prema dobijenim vrednostima trenda izvučene su izolinije prvog trenda nagiba padina sa ekvidistancom od $2,5^{o}$ (slika 14).

Interpretacija prvog trenda nagiba padina analogna je interpretaciji prvog trenda energije reljefa. Povećanje vrednosti nagiba označava neotektonski aktivne strukture, prevojna područja izmedju blokova koji se relativno izdižu, odn. spuštaju. Smanjenje vrednosti javlja se u centralnim delovima ovih blokova.

Kod većih delova terena, predstavljenim na kartama sitnije raz-



Slika 13. Očitane vrednosti nagiba sa karte nagiba padina: podloga za sračunavanje prvog trenda nagiba.



Slika 14. Karta prvog trenda nagiba padina.

mere, naročito tamo gde je neotektonska aktivnost intenzivna, važi opšte pravilo da povećane vrednosti prvog trenda nagiba označavaju izdizanje, a male vrednosti spuštanje terena.

Karta prvog trenda nagiba padina, data na slici 14, pokazuje praktično isti model neotektonske aktivnosti kao i karta prvog trenda energije reljefa (slika 6). Zapadni deo terena se može interpretirati kao područje relativnog izdizanja u odnosu na istočni deo, oblast doline reke Levače. Neotektonska struktura ima generalnu orijentaciju u pravcu sever - jug.

Visoko poklapanje karte prvog trenda energije reljefa i karte prvog trenda nagiba padina je razumljivo, s obzirom na izrazitu analogiju ova dva parametra. Ako se horizontalno rastojanje dve tačke na padini označi sa a_o, a njihova visinska razlika sa Δh, nagib je odredjen kao

$$\alpha = \text{arc tg} \frac{\Delta h}{a_o}$$

Odavde je

$$\Delta h = a_o \, \text{tg} \, \alpha$$

Ako se horizontalno rastojanje izabere kao konstanta, kao što je slučaj kada se koristi jedinična mreža, visinska razlika, odn. energija reljefa je proporcionalna nagibu. Odnos, razumljivo, nije linearan, pošto je u pitanju trigonometrijska funkcija.

(3) Poredjenje realnog stanja reljefa sa teorijskim modelom

Reljef odredjenog dela terena nastaje kao rezultat dejstva egzogenih, geomorfoloških procesa. Ovi procesi su kontrolisani endogenim silama. Specifičnosti oblika reljefa su rezultat udruženog dejstva endogenih i egzogenih sila.

Poznavanje mehanizama geomorfoloških procesa omogućava da se za pojedine oblike, ili reljef u celini, sračuna teorijski model. Ovaj model predstavlja izgled koji bi posmatrani oblik, odn. reljef dobio ukoliko bi se razvijao isključivo pod dejstvom egzogenih faktora. Mo-

del, dakle, predstavlja reljef formiran u idealnim uslovima apsolutnog mirovanja zemljine kore.

Poredjenje realnog stanja reljefa sa teorijskim modelom otkriva uticaj endogenih faktora. Pored lociranja područja endogene aktivnosti, mogu se utvrditi i relativni odnosi njenog intenziteta i, najčešće, i znak pokreta.

Teorijski model se, više ili manje uspešno, može sračunati za veliki broj oblika različitih procesa. Ovde su prikazana dva slučaja: teorijski model uzdužnog profila vodotoka i teorijski model reljefa u celini. Postupci sa ovim modelima pokazali su se najpraktičnijim, a dobijeni rezultati najpouzdanijim.

(3.1.) Teorijski analogon uzdužnog profila vodotoka

Uzdužni profil vodotoka, formiran u sredini homogene geološke gradje, teži ka usaglašavanju. Razvojem fluvijalnog procesa prelomi i nagle promene nagiba postepeno se gube. Profil dobija izgled krive čiji nagib od izvorišta do ušća ravnomerno postaje sve manji. U idealnim uslovima apsolutnog tektonskog mirovanja ovako usaglašeni profil bi postepeno prešao u ravnotežni profil. Na ravnotežnom profilu bi prestao rad tekuće vode i fluvijalni proces bi bio završen. Ravnotežni profil predstavlja erozionu bazu fluvijalnog procesa.

Uzdužni profil jednog vodotoka predstavlja izvanredno osetljivi senzor. On reaguje na svaki pokret zemljine kore. Relativna izdizanja ili spuštanja pojedinih delova profila manifestuju se promenom odnosa vertikalne i bočne erozije. Promene uslovljavaju izmene nagiba profila. Na mestima povećanja nagiba povećava se rad vodotoka, pojačava se erozija. Smanjenje nagiba povlači pojačavanje bočne erozije u odnosu na vertikalnu i pojačavanje akumulacije. Svaki pokret izaziva narušavanje saglasnosti profila. Ravnotežni profil, kao idealno usaglašena završnica fluvijalnog procesa ostaje teorijski model kome vodotok teži, ali koji nikada ne dostiže.

Postupak kvantitativne geomorfološke analize predvidja poredje-

nje realnog stanja sa teorijskim modelom. Kao idealno usaglašeni profil, teorijski analogon odgovara položaju koji bi posmatrani profil zauzeo kada bi se razvijao u uslovima tektonskog mirovanja terena. Razlike realnog stanja i teorijskog modela predstavljaju na taj način učinak endogenih pokreta u vremenu evolucije posmatranog vodotoka.

Realno stanje se utvrdjuje prostom konstrukcijom uzdužnog profila posmatranog vodotoka. Da bi se istakle i manje nesaglasnosti, vertikalna razmera profila se povećava u odnosu na horizontalnu najmanje pet puta. Kod ravničarskih reka potrebno je znatno veće povećanje vertikalne razmere nego kod planinskih.

Teorijski model, tj. potpuno usaglašeni profil vodotoka, sračunava se kao matematička kriva. Ova kriva mora zadovoljiti dve osnovne karakteristike vodotoka koji predstavlja: visinu njegovog izvorišta i ušća, odnosno visinku razliku izvorišta i ušća i ukupnu dužinu vodotoka. Postoji više mogućnosti matematičkog definisanja ovakve krive. Najčešće se predstavlja kao logaritamska kriva i kao parabola.

LOGARITAMSKA KRIVA

Sračunavanje teorijskog uzdužnog profila u vidu logaritamske krive razradio je 1934. godine J.F.N.Green (Wooldridge S.W., Morgan R.S., 1959.; King C.A.M., 1966.). Uzdužni profil se postavlja u koordinatni sistem HL. Po ordinati se menja visina nad izvorištem (od 0 do H), a po apscisi dužina vodotoka (l od 0 do L). Visina bilo koje tačke na krivoj koja predstavlja teorijski analogon uzdužnog profila datog vodotoka definisana je obrascem

$$h_t = a - K \log l$$

gde je:

h_t - Visina tačke na teorijskom analogonu posmatranog uzdužnog profila.

a - Konstanta zavisna od visine izvorišta realnog vodotoka.

K - Konstanta zakrivljenosti uzdužnog profila

l - Horizontalno rastojanje od izvorišta realnog profila do posmatrane tačke.

Osnovni problem pri primeni ovog obrasca čini odredba konstanti a i K. Konstante obezbedjuju da sračunati teorijski model predstavlja analogon upravo posmatranog realnog profila. Konstante se, stoga, odredjuju na osnovu konstruisanog realnog profila. Na njemu se utvrdjuju najusaglašeniji delovi, na kojima se biraju dve tačke. U obrazac za teorijski analogon uvode se očitane vrednosti h i l izabranih tačaka. Odredba konstanti se sada svodi na rešavanje dve jednačine sa dve nepoznate.

Konstruisani teorijski analogon stavlja se u isti koordinatni sistem sa realnim uzdužnim profilom. Njihovim medjusobnim poredjenjem utvrdjuje se anomalija (a) kao pozitivna , ili negativna razlika visine iste tačke na realnom profilu (h) i teorijskom modelu (h_t):

$$a = h - h_t$$

Anomalija se sistematski meri po uzdužnom profilu vodotoka, od njegovog izvorišta do ušća. Postupak se pojednostavljuje ako se tačke merenja uzimaju na medjusobno jednakom rastojanju, na primer na 0,25 km, 0,5o km, ili 1,o km, zavisno od horizontalne razmere profila. Rastojanje od 1 cm u razmeri karte, odn. profila, obezbedjuje dovoljnu gustinu podataka za dalju interpretaciju.

Odstupanja realnog uzdužnog profila od njegovog teorijskog analogona utvrdjuju se za sve duže vodotoke na ispitivanom terenu. Dužina vodotoka koji se obradjuje zavisi od razmere karte i željene detaljnosti, odn. gustine podataka. Obično se u obzir uzimaju svi vodotoci sa kojih se može dobiti najmanje pet tačaka očitavanja anomalije.

Očitane anomalije se prenose na topografsku kartu i lociraju na odgovarajućim vodotocima, prema njihovim rastojanjima od izvorišta. Sledi formalna interpolacija i izvlačenje izolinija. Kod suviše čestih promena anomalija, gde se na kratkom rastojanju višestruko smenjuju pozitivne i negativne vrednosti, preporučuje se izravnavanje. Vrednosti anomalija se očitavaju po jediničnoj mreži, kako je prikazano u analizi nagiba padina. Izravnavanje, odn. sračunavanje trenda anomalije obavlja se po postupku prikazanom u analizi energije reljefa.

Teorijski analogon daje položaj erozione baze ka kojoj je usmeren posmatrani realni profil. Na mestima gde je realni profil niži od svog teorijskog analogona pojačava se akumulacija. Tamo gde nivo teorij-

skog modela nije dostignut pojačana je erozija. Realni profil uvek pokazuje tendenciju da dostigne nivo svoje erozione baze.

U opštem slučaju interpretacije područja najvećih pozitivnih vrednosti anomalije ($h > h_t$) tumače se kao područja maksimalne erozije, uslovljena pojačanom neotektonskom aktivnošću. To mogu biti prevojna područja izmedju blokova suprotnog znaka relativnog kretanja. Kod veoma aktivnih oblasti, sa većim brojem blokova diferencijalnog kretanja, pozitivna anomalija označava generalno neotektonsko izdizanje terena.

Negativna anomalija, silazak realnog uzdužnog profila ispod nivoa svog teorijskog analogona ($h < h_t$) označava područje pojačane akumulacije. Područja najvećih negativnih vrednosti anomalije mogu se tumačiti kao centralni delovi izdizanih, odn. spuštanih blokova. Uopšteno posmatrano, negativna anomalija se javlja kao znak tendencije neotektonskog spuštanja terena.

Primena teorijskog modela sračunatog putem logaritamske krive nosi u sebi dva suštinska ograničenja:

a. Ocena usaglašenosti dela realnog uzdužnog profila veoma je subjektivna. Na ovako ocenjenom delu se biraju dve tačke i u njima očitavaju vrednosti h i l. Zamenom ovih vrednosti u obrascu krive sračunavaju se konstante a i K. Sračunate konstante, na taj način, su takodje podložne subjektivnosti. To praktično znači da različiti autori za isti realni profil mogu dati različite položaje teorijskih analogona, te prema tome i različite vrednosti anomalija.

b. Logaritamska kriva ne definiše uzdužni profil vodotoka u njegovom izvorištu. Za krivu

$$h_t = a - K \log l$$

u izvorištu $l = 0$, pa stoji:

$$h_t = a - K \log 0$$

Kako je $\log 0 = -\infty$, izlazi da je visina teorijskog uzdužnog profila u izvorištu

$$h_t = a + K \infty$$

odnosno

$$h_t = \infty$$

Odavde izlazi da je za svaki uzdužni profil anomalija u području izvorišta beskonačno velika, sa negativnim znakom. Takav podatak, razumljivo, ne može predstavljati osnovu za interpretaciju.

Navedena ograničenja znatno sužavaju primenljivost logaritamske krive kao teorijskog analogona vodotoka. Ograničenja, medjutim, ne znače i potpunu eliminaciju postupka. Vrednosti a i K su konstante samo za odredjene delove profila. Njihove vrednosti se menjaju od izvorišta do ušća. Teorijski analogon jednog uzdužnog profila može se na taj način aproksimirati čitavom familijom logaritamskih krivih. Umesto izbora usaglašenih delova profila i sračunavanja konstanti za ceo uzdužni profil, uzima se niz tačaka po profilu i logaritamske krive sračunavaju parcijalno za odredjene delove profila.

Nedefinisanost izvorišta može se rešiti prostim izostavljanjem iz interpretacije izvorišnog dela uzdužnog profila. Kada se logaritamska kriva primenjuje kao teorijski model vodotoka ovakvo isključivanje je obavezno.

I pored mogućnosti da se ograničenja prevazidju, logaritamska kriva, u celini posmatrano, ne predstavlja najpogodniji analogon. U odredjenim slučajevima ona, svakako, može poslužiti. Pokazala se kao veoma pogodna za ispitivanje vodotoka uništenih kraškim procesom, čiji su uzdužni profili tek parcijalno očuvani (Marković M., 1973). U većini drugih slučajeva za sračunavanje teorijskog analogona znatno veće mogućnosti pruža parabola.

PARABOLA

Ivanov V.P. (1951.) je predložio da se teorijski analogon uzdužnog profila vodotoka definiše kao parabola n-tog stepena. Pri tome eksponent (n) treba da bude parametar oblika realnog uzdužnog profila. Ovakvo rešenje je prihvatio i razradio Volkov N.G. (197o.).

U koordinatnom sistemu HL kriva usaglašenog uzdužnog profila vodotoka po Ivanovu matematički se može izraziti obrascem:

$$h_t = H\left(\frac{L-l}{L}\right)^n \quad \ldots\ldots\ldots (1.)$$

gde je:

h_t - Visina tačke na teorijskom analogonu uzdužnog profila nad visinom ušća realnog profila.

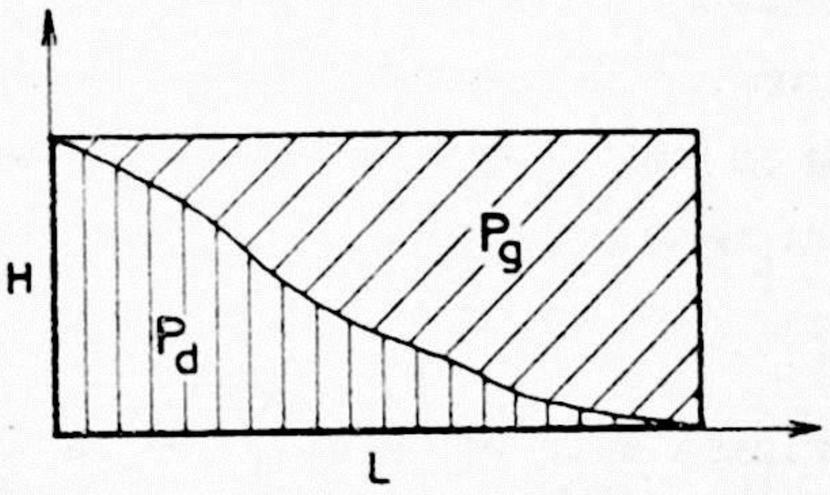
H - Visina izvorišta nad ušćem vodotoka.

L - Ukupna horizontalna dužina uzdužnog profila od izvorišta do ušća.

l - Horizontalno rastojanje od izvorišta vodotoka do posmatrane tačke.

n - Parametar oblika realnog uzdužnog profila.

Za posmatranu tačku vrednosti H, L i l se direktno očitavaju sa konstruisanog realnog profila vodotoka. Parametar oblika (n) se odredjuje kao odnos površina iznad i ispod krive realnog uzdužnog profila u pravougaoniku HL opisanom oko profila (slika 15).



$$n = \frac{P_g}{P_d}$$

$$P_g = HL - P_d$$

$$n = \frac{HL - P_d}{P_d} \qquad \ldots(2)$$

Slika 15. Sračunavanje parametra oblika uzdužnog profila vodotoka.

Površina HL se jednostavno sračunava kao površina pravougaonika. Nepravilna površina ispod krive (P_d) može se sračunati aproksimacijom geometrijskom figurom, izbrojavanjem na milimetarskom papiru, planimetrisanjem, metodom integracije i t.d. U svakom slučaju, sračunavanje parametra oblika realnog profila ne predstavlja problem.

Kriva teorijskog analogona realnog uzdužnog profila sračunava se prostom zamenom vrednosti u obrascu 1. Najjednostavnije je da se visina krive teorijskog analogona sračunava za tačke medjusobno jednako horizontalno udaljene. U obrascu 1, za sračunate vrednosti H, L i n, menja se, dakle, samo rastojanje tačaka od izvorišta, i to od izvoriš-

ta (l = 0) do ušća (l = L). U razmeri profila, odnosno topografske karte, ovo rastojanje se obično uzima kao 1 cm.

Parabola sa eksponentom n kao parametrom oblika realnog uzdužnog profila, predstavlja veoma pogodan teorijski analogon. On u potpunosti zadovoljava dužinu i visinsku razliku izvorišta i ušća posmatranog vodotoka. U izvorištu je:

$$l = 0$$

pa je prema obrascu 1:

$$h_t = H$$

Na ušću je:

$$l = L$$

pa je prema obrascu:

$$h_t = 0$$

Posmatrani realni uzdužni profil i njegov teorijski analogon imaju, dakle, istu dužinu i istu visinu u tačkama izvorišta i ušća.

Odstupanje položaja realnog uzdužnog profila od njegovog teorijskog analogona predstavlja anomaliju. Ona je definisana kao razlika visina iste tačke na realnom profilu i teorijskom modelu:

$$a = h - h_t \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

Anomalija se sistematski utvrdjuje po dužinama svih većih vodotoka na ispitivanom terenu Kod sračunavanja teorijskih analogona pritoka glavnog vodotoka neophodne su izvesne modifikacije formule 1. Sračunat po originalnom obrascu teorijski analogon pritoke mora sa njenim uzdužnim profilom imati zajedničke tačke u izvorištu i na ušću u glavni vodotok. Uzdužni profil pritoke u tački ušća ima zajedničku tačku sa uzdužnim profilom glavnog vodotoka. Na taj način teorijski analogon pritoke se vezuje za realni uzdužni profil glavnog vodotoka, a ne za njegov teorijski analogon, kako bi bilo neophodno. To praktično znači da bi se, mereno po glavnom vodotoku, u tački ušća pritoke javila pozitivna ili negativna anomalija. Istovremeno, mereno po pritoci, anomalija u tački njenog ušća bila bi ravna nuli.

Prilikom analize glavni vodotok i njegove pritoke se moraju tretirati kao jedinstvena celina. Stoga se za sračunavanje teorijskih analogona pritoka uvodi popravka koja omogućuje njihovo uvezivanje sa

teorijskim analogonom glavnog vodotoka. Popravka predstavlja odstupanje uzdužnog profila glavnog vodotoka od njegovog teorijskog analogona u tački ušća posmatrane pritoke. Drugim rečima, popravka je veličina anomalije na ušću pritoke (a_u). Modifikovani obrazac za sračunavanje teorijskih analogona pritoka glasi:

$$h_t = (H \pm a_u)(\frac{L-l}{L})^n \quad \ldots\ldots (4).$$

Znak popravke zavisi od znaka anomalije u tački ušća pritoke u glavni vodotok. Pozitivan je kada je realni profil glavnog vodotoka u tački ušća pritoke iznad, a negativan kada je ispod svog teorijskog analogona.

Na identičan način, po obrascu 4, sračunavaju se teorijski analogoni pritoka nižeg reda. Tada se kao glavni vodotok tretira pritoka u koju se posmatrana niža pritoka uliva. Kao popravka se uvodi anomalija više pritoke na mestu ušća pritoke nižeg reda.

Sračunate anomalije prenose se, prema položaju tačaka merenja, po odgovarajućim vodotocima na topografsku kartu. Formalnom interpolacijom izvlače se izolinije anomalija. Ekvidistanca izolinija se bira po navedenom principu da na karti ne bude više od 8 do lo izolinija različitih vrednosti. Izolinije anomalija pokazuju promenu odstupanja realnih položaja vodotoka od njihovih teorijskih analogona. Volkov je ova odstupanja tretirao kao deformacije uzdužnih profila, pa je njihove izolinije skraćeno nazvao "izodefe".

U slučaju kada izolinije anomalija pokazuju isuviše velike i nagle promene obavlja se izravnavanje. Primenom prikazanog postupka tekućih srednjih vrednosti sračunava se prvi trend anomalija i izvlače njegove izolinije.

Princip interpretacije karte izolinija odstupanja realnih uzdužnih profila od njihovih teorijskih analogona prikazan je kod logaritamske krive. Pozitivne vrednosti označavaju pojačanu eroziju, povećanu neotektonsku aktivnost, odnosno tendenciju relativnog izdizanja blokova. Negativne vrednosti se javljaju u oblastima pojačane akumulacije materijala. To su prostori smanjene neotektonske aktivnosti, centralni delovi relativno izdignutih ili spuštenih blokova. Posmatrano generalno, negativne anomalije označavaju područja najmladjeg tektonskog tonjenja.

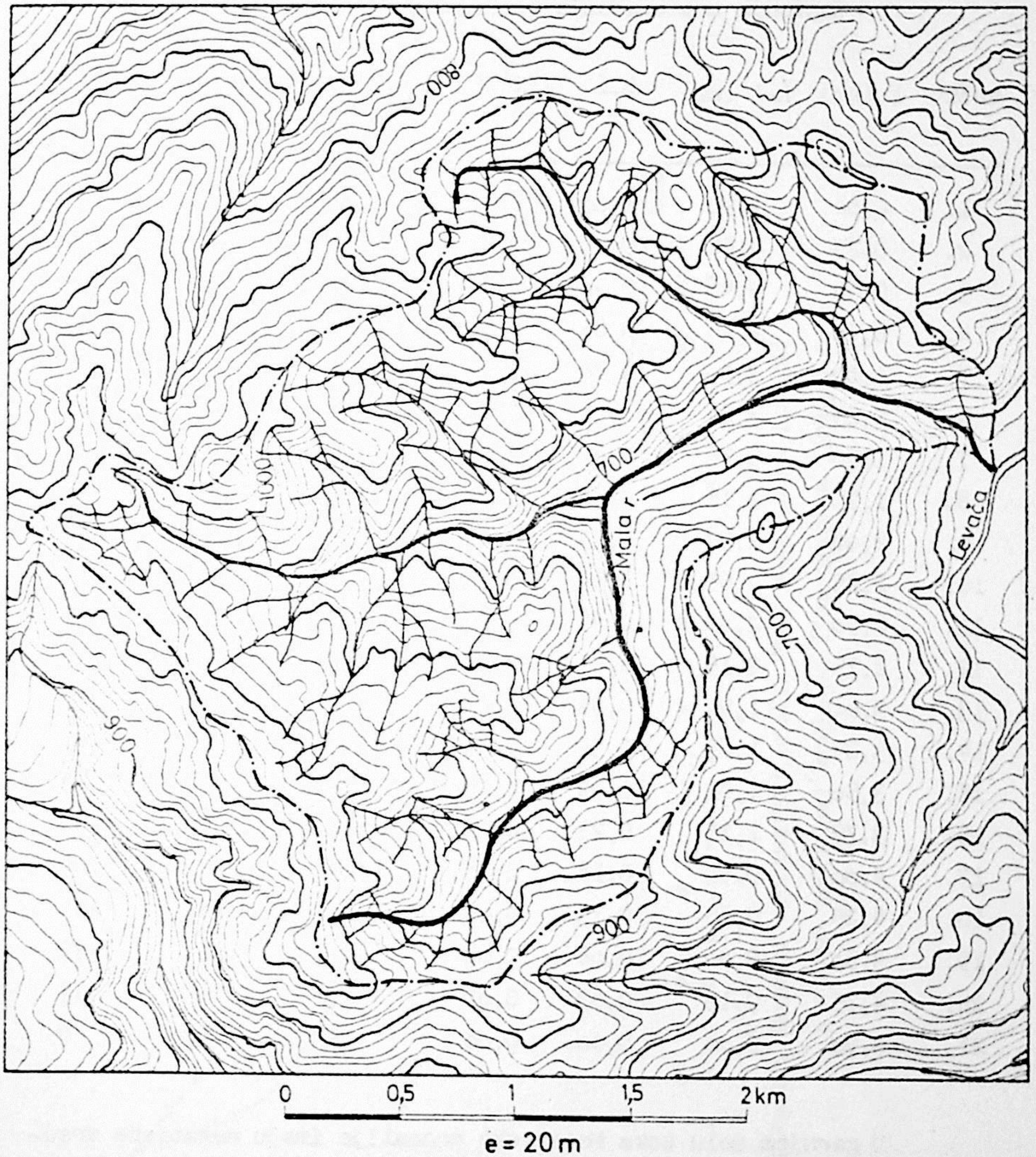
Teorijski analogon u vidu parabole n-tog reda zadovoljava realni uzdužni profil vodotoka. Oba imaju iste dužine i istu tačku kao izvorište. Kod glavnog vodotoka poklapa se i ušće realnog profila i teorijskog modela. Uvodjenjem popravke visine kod pritoka je ovo poklapanje izbegnuto. Vrednost anomalije u izvorištu, a kod glavnog vodotoka i na ušću, je ravno nuli. Razumljivo da to ne znači i apsolutno neotektonsko mirovanje područja na kome se izvorište, odn. ušće nalazi. Stoga se pri interpretaciji preporučuje izostavljanje podataka na izvorištu i ušću vodotoka.

Izolinije anomalije pokazuju svojom orijentacijom položaj neotektonski aktivnih struktura. Vrednost i znak izolinija proporcionalni su intenzitetu i znaku pokreta. Vrednost izolinija predstavlja, medjutim, samo veličinu proučavanog parametra na datom mestu. Ona se nikako ne sme izjednačiti sa iznosom vertikalnog pokreta.

Postupak sračunavanja teorijskog analogona uzdužnog profila vodotoka kao parabole sa eksponentom n prikazan je na primeru terena Male reke. Položaj i morfometrijski odnosi vodotoka mogu se utvrditi na datoj topografskoj karti (slika 16). Horizontalna dužina vodotoka od izvorišta do ušća (L) iznosi 4,9 km. Visinska razlika izvorišta i ušća (H) je 560 m. Vrednost parametra oblika uzdužnog profila Male reke (n) iznosi 1,47. Sračunavanje teorijskog analogona je obavljeno tako da se rastojanje tačaka od izvorišta (l) povećava za 0,25 km. U originalnoj razmeri 1:25.000 tačke su, dakle, medjusobno udaljene 1 cm.

Podatke sračunavanja teorijskog analogona Male reke daje priloženi zapisnik. Sve vrednosti visina realnog uzdužnog profila, visina teorijskog analogona , kao i vrednosti anomalija zaokružene su na ceo metar.

Na osnovu podataka iz zapisnika konstruisan je teorijski model uzdužnog profila Male reke. On je prikazan zajedno sa realnim uzdužnim profilom u istom koordinatnom sistemu (slika 17). Promena vrednosti anomalija po uzdužnom profilu od izvorišta do ušća Male reke prikazana je na slici 18.

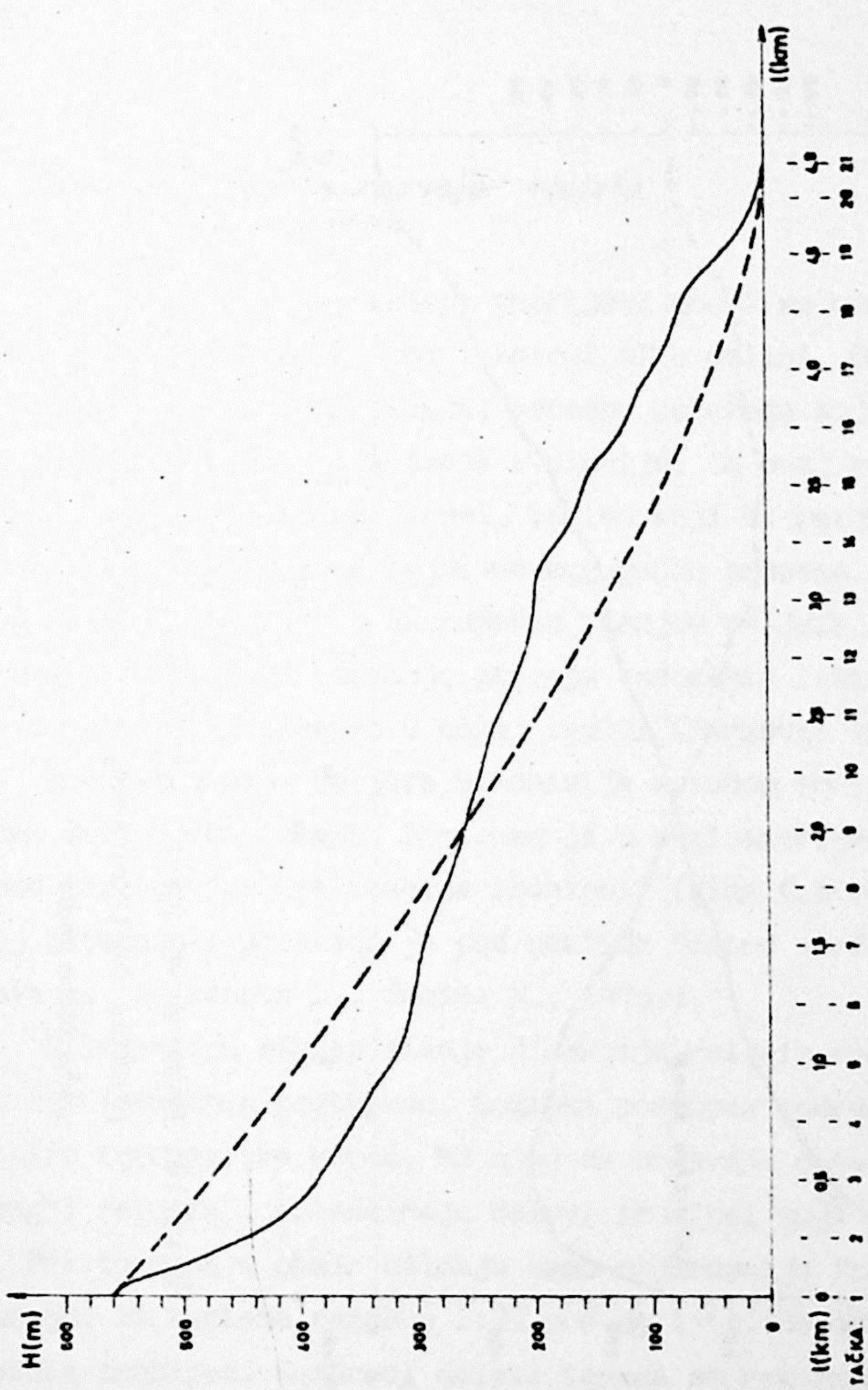


Slika 16. Drenažno područje i drenažni sistem
Male reke.

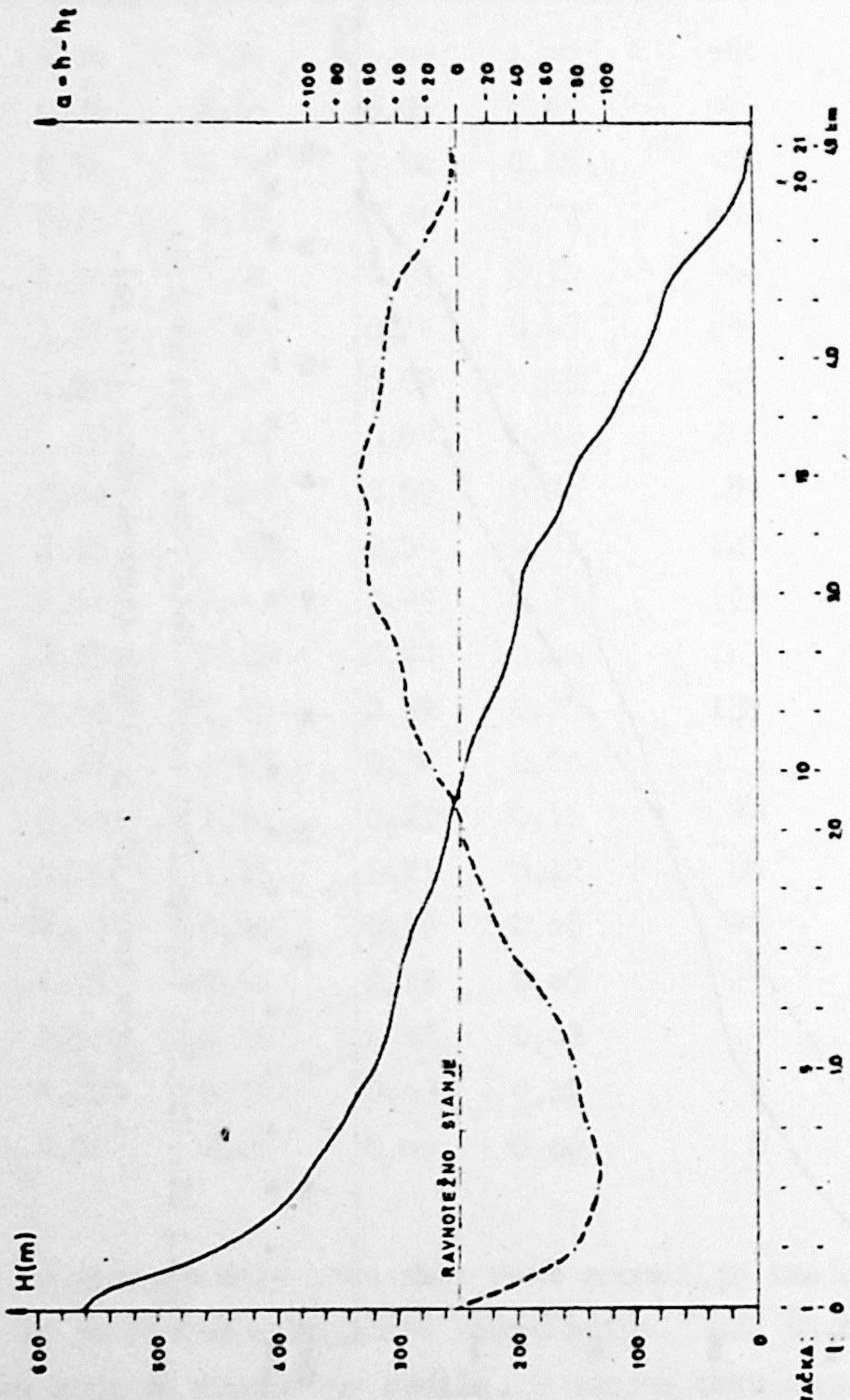
Zapisnik sračunavanja teorijskog analogona Male reke

tačka	l (km)	L-l (km)	$\frac{L-l}{L}$	$(\frac{L-l}{L})^n$	$h_t=H(\frac{L-l}{L})^n$ (m)	h (m)	$a=h-h_t$ (m)
1.	0,oo	4,9o	1,oo	1,oo	56o	56o	0
2.	0,25	4,65	0,95	0,93	519	444	-75
3.	0,5o	4,4o	0,9o	0,85	478	384	-94
4.	0,75	4,15	0,85	0,78	439	353	-86
5.	1,oo	3,9o	0,8o	0,71	4oo	322	-78
6.	1,25	3,65	0,74	0,65	363	3o2	-61
7.	1,5o	3,4o	0,69	0,58	327	293	-34
8.	1,75	3,15	0,64	0,52	292	276	-16
9.	2,oo	2,9o	0,59	0,46	259	257	-2
1o.	2,25	2,65	0,54	0,41	227	244	+17
11.	2,5o	2,4o	0,49	0,35	196	23o	+34
12.	2,75	2,15	0,44	0,3o	167	2o8	+41
13.	3,oo	1,9o	0,39	0,25	139	198	+59
14.	3,25	1,65	0,34	0,2o	113	174	+61
15.	3,5o	1,4o	0,29	0,16	89	155	+66
16.	3,75	1,15	0,23	0,12	66	122	+56
17.	4,oo	0,9o	0,18	0,o8	46	95	+49
18.	4,25	0,65	0,13	0,o5	29	73	+44
19.	4,5o	0,4o	0,o8	0,o3	14	36	+22
2o.	4,75	0,15	0,o3	0,o1	3	6	+3
21.	4,9o	0,oo	0,oo	0,oo	0	0	0

U gornjem delu toka Male reke anomalije imaju negativne vrednosti. To je područje pojačane akumulacije. Može da odgovara temenom delu bloka koji se relativno izdiže. U donjem toku anomalije su pozitivne. Ovde je erozija izrazito pojačana. Područje donjeg toka Male reke može se, stoga, tretirati kao prevojno područje izmedju bloka koji se relativno izdiže, na zapadu, i bloka koji intenzivno tone, na istoku ispitivanog terena (dolina reke Levače).



Slika 17. Uzdužni topografski profil Male reke (puna linija)
i njegov teorijski analogon (isprekidana linija).



Slika 18. Promena vrednosti odstupanja realnog uzdužnog profila od teorijskog analogona od izvorišta do ušća Male reke.

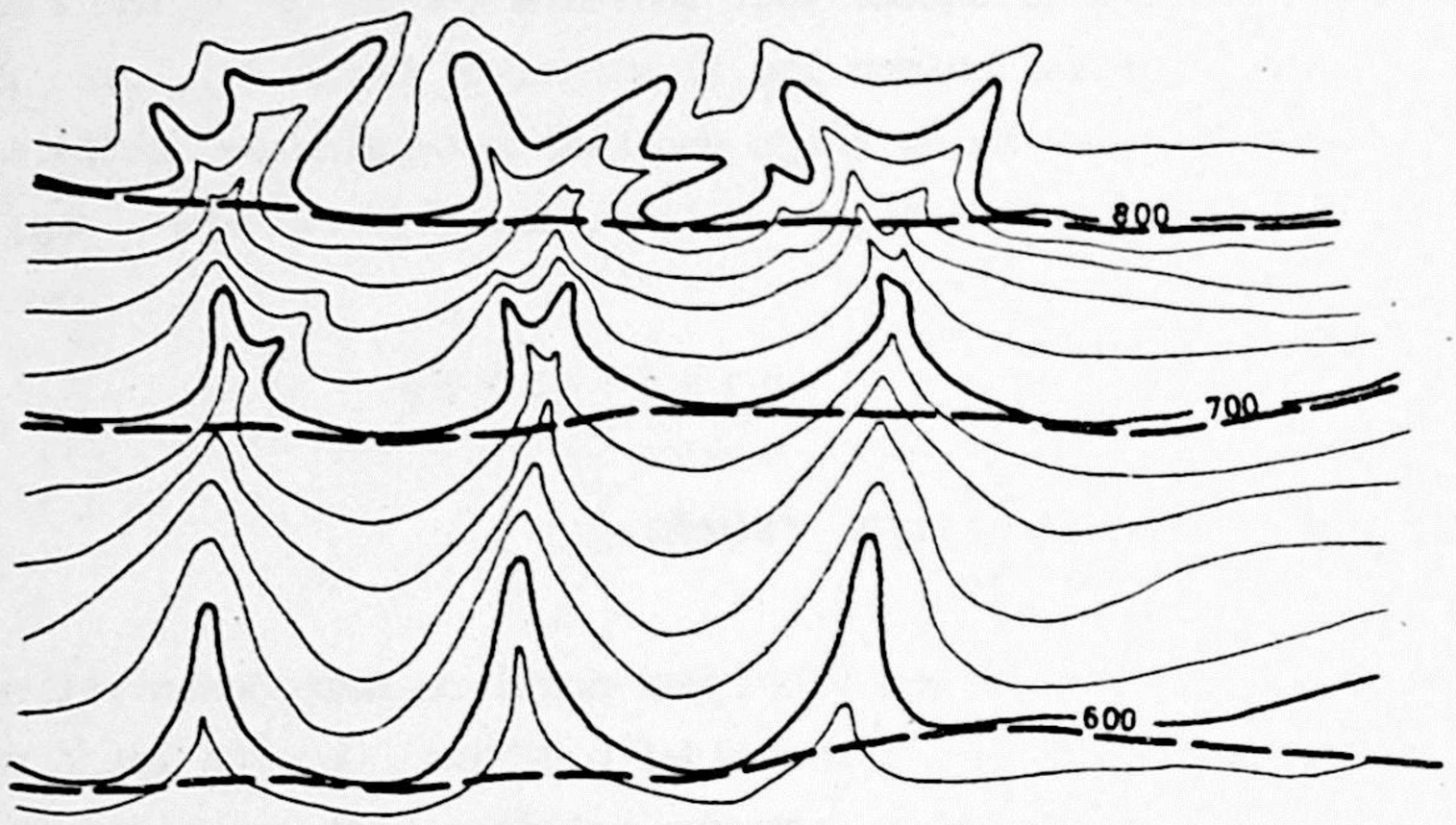
Pouzdana interpretacija zahteva sračunavanje većeg broja teorijskih analogona, pokrivanje znatno veće površine terena merenjima i izvlačenje izolinija. Prikazani primer ima ilustrativni karakter. Ipak, interpretacija data i na ovako malom broju podataka generalno se uklapa u model neotektonske aktivnosti dobijen analizom energije reljefa i nagiba padina.

(3.2.) Teorijski model razvoja reljefa u vremenu

Za ispitivani deo terena teorijski model se može postaviti ne samo za pojedinačni oblik, već i za reljef u celini. Osnovna ideja postupka podrazumeva rekonstrukciju, odredbu položaja koji je reljef imao u toku neke od ranijih faza svoje evolucije. Za ovaj rekonstruisani reljef sračunava se teorijski model, izgled koji bi reljef dobio kada bi se razvijao isključivo pod dejstvom egzogenih procesa. Poredjenje teorijskog modela sa stvarnim savremenim stanjem reljefa omogućava lociranje i kvantitativno izražavanje uticaja endogenih faktora. Metod je razradjen i prvi put primenjen u našoj zemlji (Marković M., 1973.).

Rekonstrukcija reljefa se obavlja metodom poništavanja efekta naknadne morfološke izmene. Postupak je u angloameričkoj literaturi poznat pod nazivom "generalizacija izohipsi" (King C.A.M., 1966.). U sovjetskoj literaturi prikazan je pod nazivom "metod morfoizohipsi" (Aristarhova L., Polkanova L., Šubina N., 197o.).

Eliminacija efekta mladje disekcije reljefa može se izvesti logičkim ili formalnim postupkom. Logički postupak podrazumeva kvalitativnu analizu topografske karte. Na njoj se uočavaju ostaci ranijeg ("inicijalnog") reljefa i potenciraju delovi izohipsi koji odražavaju ove ostatke. Pri tome se u obzir uzimaju samo najkrupnije forme, a detalji se zanemaruju. Na kartama razmere 1:25.ooo do 1:5o.ooo obično se tertiraju samo stote izohipse. Razoreni delovi terena se rekonstruišu prostim povezivanjem delova izohipsi na očuvanim ostacima prvobitnog reljefa. Elementarni primer takve generalizacije dat je na slici 19. Eliminacijom efekta jaružanja rekonstruisana je, u najkrupnijim crtama, površina prvobitne padine.



Slika 19. Logička rekonstrukcija reljefa. Generalizovane rekonstruisane izohipse izvučene su debelim isprekidanim linijama.

Tačnost logičke generalizacije može se znatno povećati terenskim proučavanjima reljefa, a naročito stereoskopskom analizom aerosnimaka.

Formalna generalizacija predstavlja čist morfometrijski postupak. Preko karte izučavanog terena postavlja se mreža jediničnih površina. U svakom polju očitava se najviša kota terena i njena vrednost upisuje u centar polja. Primenom formalne interpolacije izvlače se izolinije i dobija generalni izgled prvobitnog reljefa. Ekvidistanca ovako dobijenih generalizovanih izohipsi ne treba da bude manja od 5o do 1oo metara. Povećanje tačnosti postiže se pogušćavanjem očitavanja. Jedinična mreža se pomera za polovinu polja u pravcima I-Z i S-J. U novim položajima jediničnih polja ponavljaju se očitavanja najviših kota. Veličina jediničnih polja se pri ovome ne sme menjati.

Promene veličine jediničnog polja uslovljavaju izmenu detaljnosti generalizacije. Sa smanjenjem jedinične površine reljef se približava svom savremenom izgledu. Nasuprot tome, povećanjem jediničnog polja generalizovani reljef dobija opštiji izgled. Formalno posmatrano,

sa povećanjem jediničnog polja rekonstruiše se reljef sve starije faze njegove morfološke evolucije.

Do sada obavljena ispitivanja su pokazala da u sitnim razmerama, napr. 1:loo.ooo i manje, postupak formalne generalizacije može vrlo uspešno zameniti znatno složeniju logičku rekonstrukciju reljefa. Bez obzira na vid primenjenog postupka dobijene generalizovane izohipse tek u najopštijem vidu odražavaju oblike starijeg reljefa. Rekonstrukcija daje samo grubu, jako uopštenu sliku nekadašnjeg stanja reljefa. Ona pruža podatke o krupnim celinama i njihovim odnosima. To su, po pravilu, oblici dimenzija većih od kilometarskog reda veličina. Pokušaj rekonstrukcije detalja isuviše je spekulativan i najčešće ostaje neuspešan.

Poredjenjem rekonstruisanog i savremenog reljefa otvara se mogućnost kvantitativnog iskazivanja efekta udruženog dejstva endogenih i egzogenih sila. Preko karte rekonstruisanog reljefa postavlja se jedinična mreža. Po tačkama u uglovima polja mreže očitavaju se visine rekonstruisanog reljefa. Mreža se prenosi na kartu savremenog reljefa i po istim tačkama očitavaju njegove visine. Oduzimanjem visina savremenog od visina rekonstruisanog reljefa dobija se po mreži tačaka zbirni učinak procesa, kako egzogenih tako i endogenih, koji su delovali na proučavani teren. Ove vrednosti razlika rekonstruisanog i savremenog reljefa mogu se prikazati i izolinijama.

Prilikom prihvatanja postupka poredjenja rekonstruisanog i savremenog reljefa kao metoda kvantitativne geomorfološke analize neophodno je povesti računa i o njegovim ograničenjima. Već je naglašeno da generalizacija daje samo najopštiju sliku rekonstruisanog reljefa. Ona se ne može ravnopravno porediti sa stanjem savremenog reljefa, prikazanim sa maksimalnom detaljnošću koju dozvoljava data razmera karte. Podaci se moraju medjusobno izjednačiti po vrednosti. S obzirom da je povećanje detaljnosti rekonstruisanog reljefa nemoguće, mora se uprostiti savremeni izgled reljefa. Uprošćavanje se postiže izravnavanjem površine, t.j. sračunavanjem generalnog trenda savremenog reljefa.

Podaci za sračunavanje prvog trenda savremenog reljefa dobijaju se očitavanjem visina po uglovima mreže jediničnih površina, postavljene preko topografske karte. Postupak izravnavanja metodom tekućih srednjih vrednosti već je detaljno objašnjavan. S obzirom da se vrednosti

rekonstruisanog reljefa uporedjuju sa uprošćenim savremenim reljefom po mreži tačaka, izvlačenje izolinija savremenog reljefa nije potrebno.

Teorijski model razvoja proučavanog reljefa u vremenu postiže se sračunavanjem prvog trenda rekonstruisanog reljefa. Trend, odnosno izravnavanje površine, u opštem slučaju znači smanjenje visinskih razlika izmedju ekstremnih vrednosti tretirane površine. Izražena je, dakle, težnja da se vrhovi snize, a depresije ispune. Identičnu težnju pokazuje razvoj svakog geomorfološkog procesa u normalnim uslovima. Trend ispitivanog reljefa može, na taj način, da se izjednači sa teorijskim položajem koji bi teren zauzeo kada bi se razvijao pod isključivim dejstvom egzogenih procesa. Ovakva postavka je, razumljivo, strogo formalna. Specifičnosti i terena i procesa u potpunosti su apstrahovane.

Trend rekonstruisanog reljefa predstavlja teorijski model. To je prostorni položaj koji bi posmatrani teren zauzeo u slučaju da se razvijao u idealnim uslovima apsolutnog odsustva endogenih pokreta. Razlika položaja takve teorijske površine i stvarno postignutog stanja predstavlja odraz učinka endogenih faktora, najčešće neotektonskih pokreta.

Sračunavanje razlika teorijskog modela i realnog stanja reljefa podrazumeva predpostavku da su ove dve površine identične po objektivnosti podataka koje pružaju. Topografska karta daje prikaz reljefa sa maksimalnom detaljnošću koja se u datoj razmeri može postići. Površina rekonstruisanog reljefa dobijena je, medjutim, generalizacijom, uz značajna uopštavanja i uprošćavanja. Kod konstrukcije teorijskog modela razvoja reljefa, izravnavanjem rekonstruisanog reljefa, ova uopštavanja su još više naglašena.

Detaljnost i tačnost karte rekonstruisanog reljefa i karte teorijskog modela ne mogu se povećati. Da bi se ovi podaci po vrednosti izjednačili sa savremenim reljefom ostaje samo mogućnost uprošćavanja savremenog reljefa. Uprošćavanje se takodje postiže izravnavanjem, izradom karte prvog trenda realnog, savremenog reljefa.

Postupak poredjenja teorijskog modela i realnog stanja izvodi se po već prikazanoj shemi. Očitavanjem po jediničnoj mreži, postavljenoj preko karte prvog trenda rekonstruisanog reljefa, dobija se niz podataka koji reprezentuju površinu teorijskog modela u prostoru. Prenošenjem mreže na kartu prvog trenda savremenog reljefa u istim tačkama

dobijaju se vrednosti realnog stanja reljefa. Oduzimanjem realnog stanja od teorijskog dobijaju se razlike koje označavaju uticaj endogenih faktora

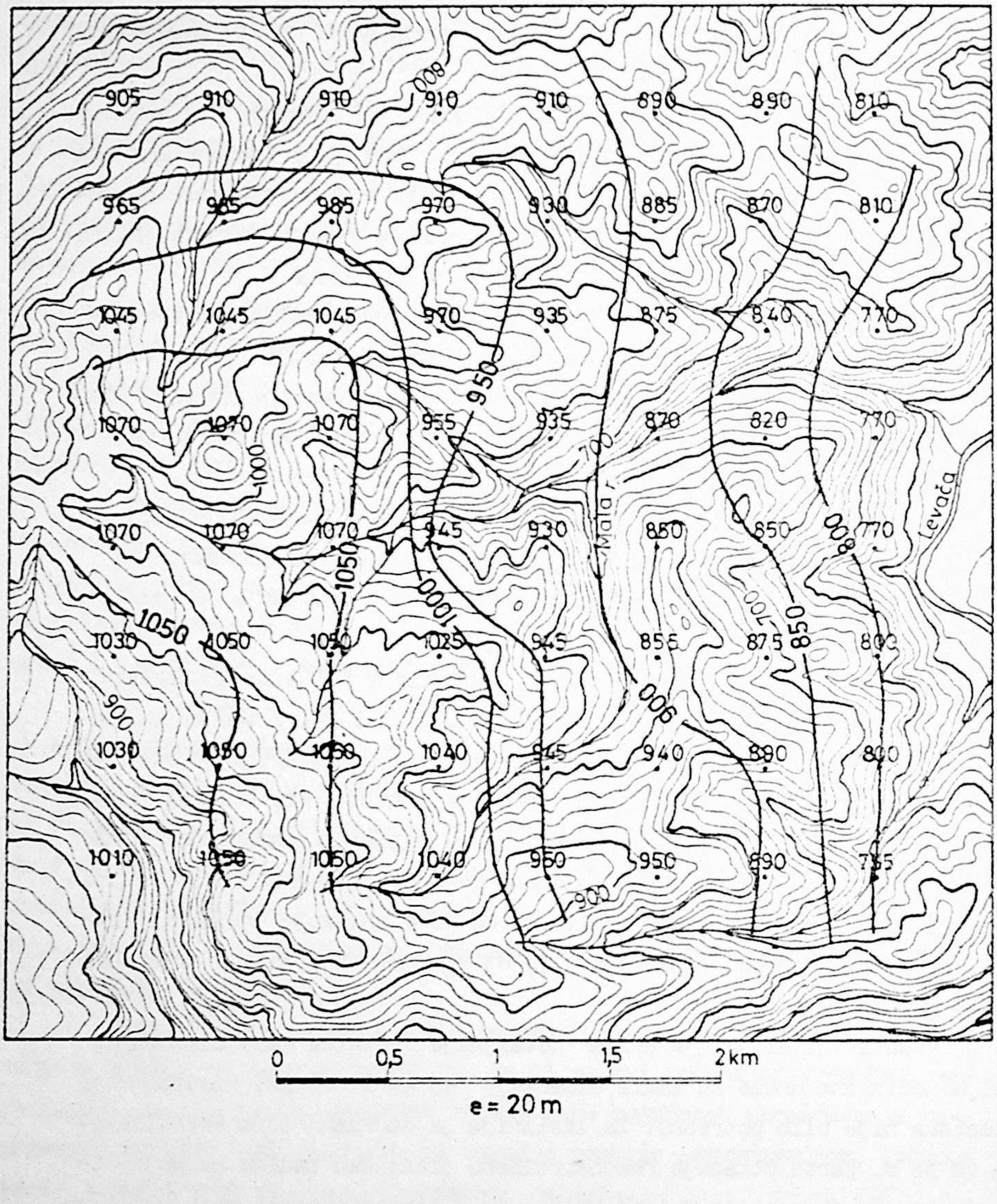
Radi očiglednije interpretacije razlike se iskazuju kao pozitivne ili negativne u odnosu na referentni nivo. Kako je prikazano kod energije reljefa, vrednost ovog nultog nivoa dobija se kao aritmetička sredina svih utvrdjenih razlika teorijskog i realnog stanja reljefa. Na osnovu mreže tako utvrdjenih razlika izvlače se izolinije.

Prilikom interpretacije područja povećanih, pozitivnih vrednosti razlika teorijskog i realnog stanja reljefa tretiraju se kao tektonski aktivne strukture. To su najčešće prevojna područja izmedju blokova relativnog izdizanja i spuštanja terena. Najveće negativne vrednosti razlika odgovaraju centralnim delovima pokrenutih blokova.

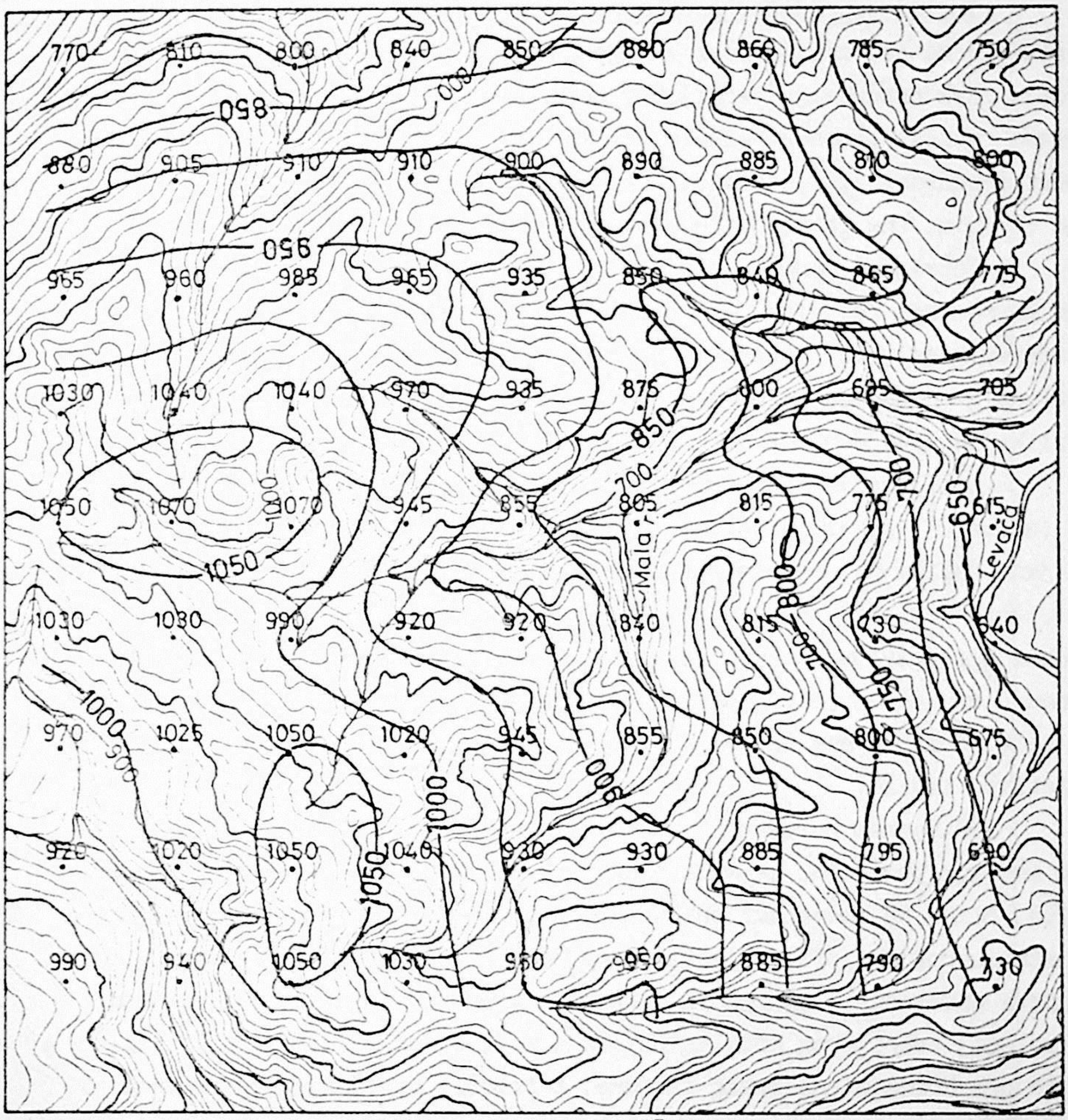
U opštem slučaju, kod terena sa intenzivnom najmladjom endogenom aktivnošću i velikim brojem diferencijalno kretanih blokova, pozitivne razlike se tumače kao područja relativnog izdizanja, a negativne kao područja relativnog spuštanja terena.

Primer analize odstupanmja realnog stanja reljefa od njegovog teorijskog modela prikazan je slikama 2o, 21, 22 i 23. Slika 2o prikazuje primer rekonstrukcije reljefa. Formalna generalizacija je obavljena po jediničnoj mreži sa poljima dimenzija 1 km x 1 km. Početak mreže je postavljen u SZ ugao karte. Podaci su pogušćeni pomeranjem mreže za polovinu polja prema istoku, odnosno prema jugu. Karta rekonstruisanog reljefa sa ekvidistancom izolinija od 5o m pokazuje prvobitni izgled planinske padine. Depresija u kojoj je formirana dolina Male reke jedva je naglašena.

Na slici 21 dat je primer detaljnije formalne generalizacije. Polja jedinične mreže su imala dimenzije 0,5 km x 0,5 km. Pogušćavanje podataka nije bilo potrebno. Za izolinije je zadržana ista ekvidistanca od 5o m. Karta pokazuje rekonstruisanu planinsku padinu na kojoj se jasno zapaža formiranje doline Male reke i njenih glavnih pritoka. U odnosu na prethodnu, grublju generalizaciju ovaj detaljniji postupak daje rekonstrukciju stanja reljefa u mladjoj fazi njegove morfološke evolucije. Kao osnov za sračunavanje teorijskog modela uzeta je detaljnija rekonstrukcija, prikazana na slici 21.



Slika 2o. Karta rekonstruisanog reljefa.
Generalnija rekonstrukcija - starija faza evolucije reljefa.



Slika 21. Karta rekonstruisanog reljefa.
Detaljnija rekonstrukcija - mladja faza
evolucije reljefa.

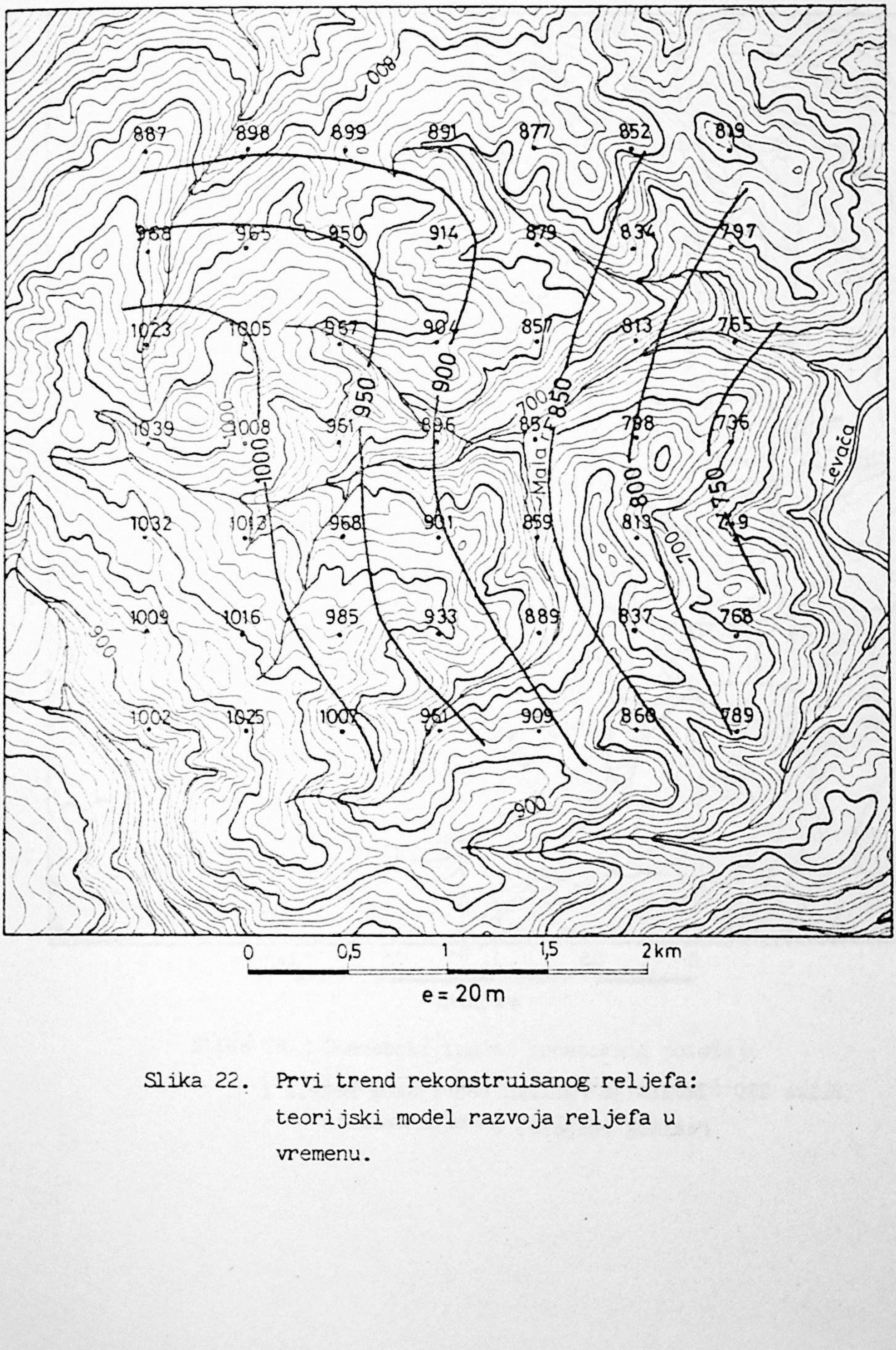
Izgled teorijskog modela reljefa, položaj koji bi reljef zauzeo u slučaju da se razvijao bez endogenih uticaja, prikazan je na slici 22. Podaci za konstrukciju teorijskog modela dobijeni su sračunavanjem prvog trenda rekonstruisanog reljefa (slika 21). Osnovu za tekuću srednju vrednost predstavljalo je 9 podataka. Izolinije su izvučene sa ekvidistancom od 5o m. One pokazuju tendenciju zaravnjivanja planinske padine.

Teorijski model, prikazan na slici 22, je uporedjen sa uprošćenim savremenim reljefom. Uprošćavanje je izvršeno izravnavanjem karte savremenog reljefa. Vrednosti razlika su sračunate kao pozitivne ili negativne u odnosu na referentni nivo sa vrednošću od 85 m. Kartu izolinija razlika prikazuje slika 23.

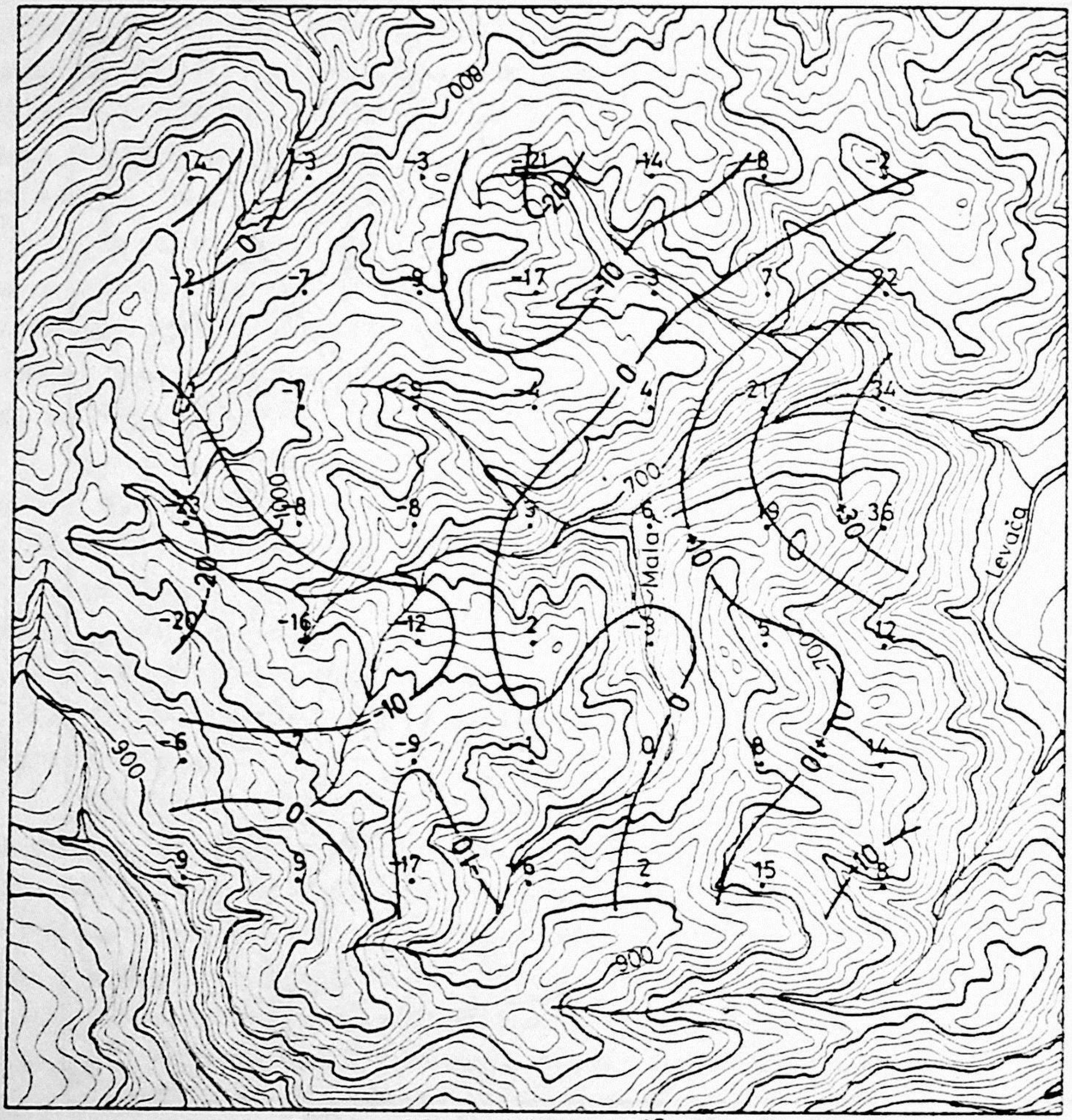
Dobijena karta razlika teorijskog modela i realnog stanja reljefa (slika 23) pokazuje veliku sličnost sa kartom prvog trenda energije reljefa (slika 6), odnosno sa kartom prvog trenda nagiba padina (slika 14). Interpretacija sve tri karte je praktično identična. Istočni deo terena predstavlja aktivnu neotektonsku strukturu - prevojno područje izmedju dva bloka. Struktura je orijentisana pravcem sever - jug. Istočni blok, dolina reke Levače, intenzivno tone dok se zapadni deo terena relativno izdiže.

Prikazani primer postupka poredjenja realnog stanja sa teorijskim modelom prostorno se može pratiti na blokdijagramima (slika 24, 25 i 26). Slika 24 shematski prikazuje prostorne položaje savremenog i rekonstruisanog reljefa. Njihovim poredjenjem dobija se učinak udruženog dejstva endogenih i egzogenih faktora u vremenu. Na slici 25 prikazan je položaj teorijskog modela, položaja koji bi reljef imao da se razvijao bez uticaja endogenih faktora, i položaj uprošćenog savremenog reljefa. Njihovim poredjenjem dobija se učinak endogenih faktora.

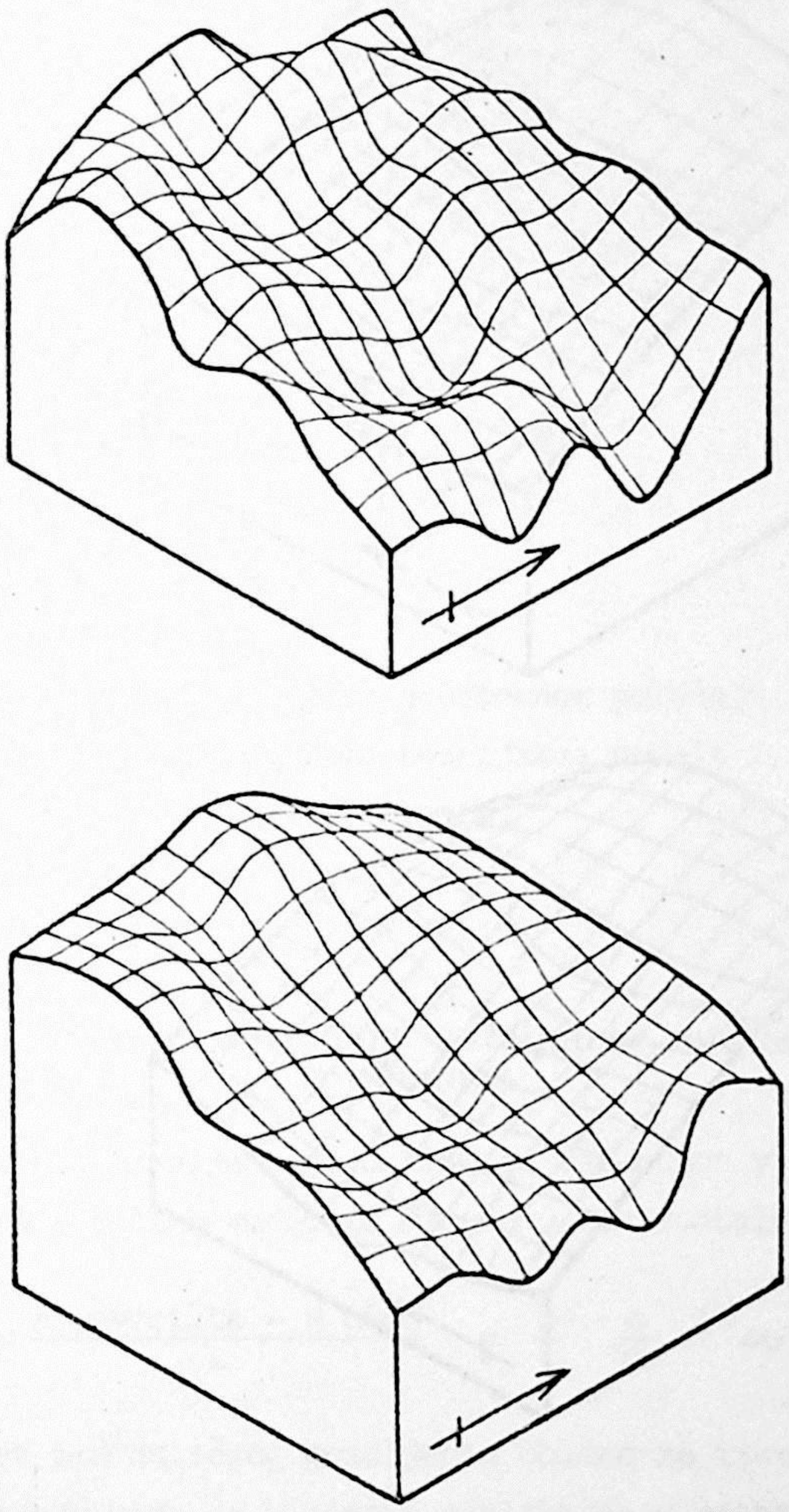
Prostorni položaj površine razlika teorijskog modela i realnog stanja, koja predstavlja učinak endogenih faktora, shematski je prikazan na slici 26. Poredjenje slike 26 sa shematskim blokdijagramom prvog trenda energije reljefa (slika 7, donji dijagram) pokazuje zanemarljiva odstupanja. Suštinski različiti postupci kvantitativne geomorfološke analize dali su isti rezultat. Ova činjenica se može prihvatiti kao dokaz ispravnosti primenjenih postupaka.



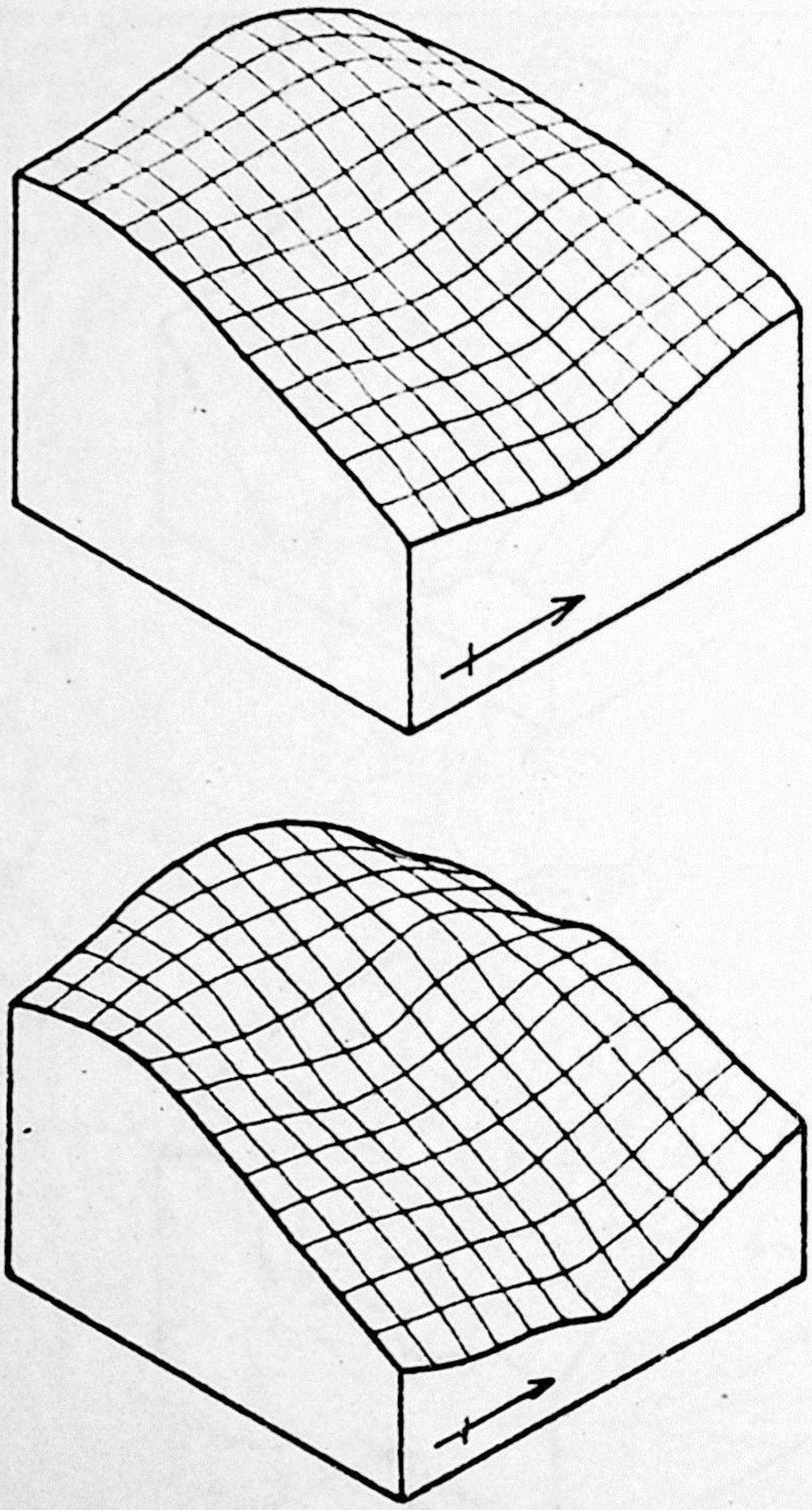
Slika 22. Prvi trend rekonstruisanog reljefa: teorijski model razvoja reljefa u vremenu.



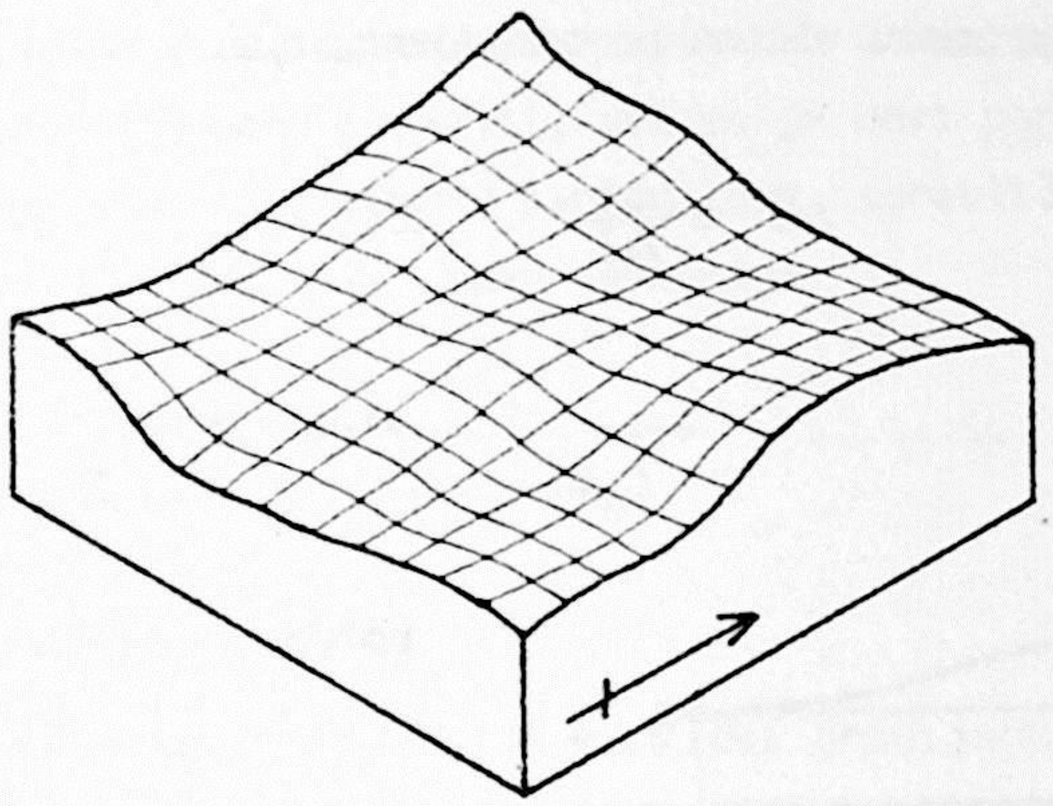
Slika 23. Izolinije razlika teorijskog modela i realnog reljefa.



Slika 24. Shematski izgled prostornog položaja savremenog reljefa (gore) i površine rekonstruisanog reljefa (dole).



Slika 25. Shematski izgled prostornog položaja površine teorijskog modela (gore) i prostornog položaja uprošćenog savremenog reljefa (dole).



Slika 26. Shematski izgled prostornog položaja površine razlika teorijskog modela i realnog stanja reljefa.

(4) Analiza anomalija parcijalnog hidrauličkog gradijenta

Hidraulički gradijent je definisan kao odnos visinske razlike izvorišta i ušća i dužine vodotoka merene u horizontalnoj ravni:

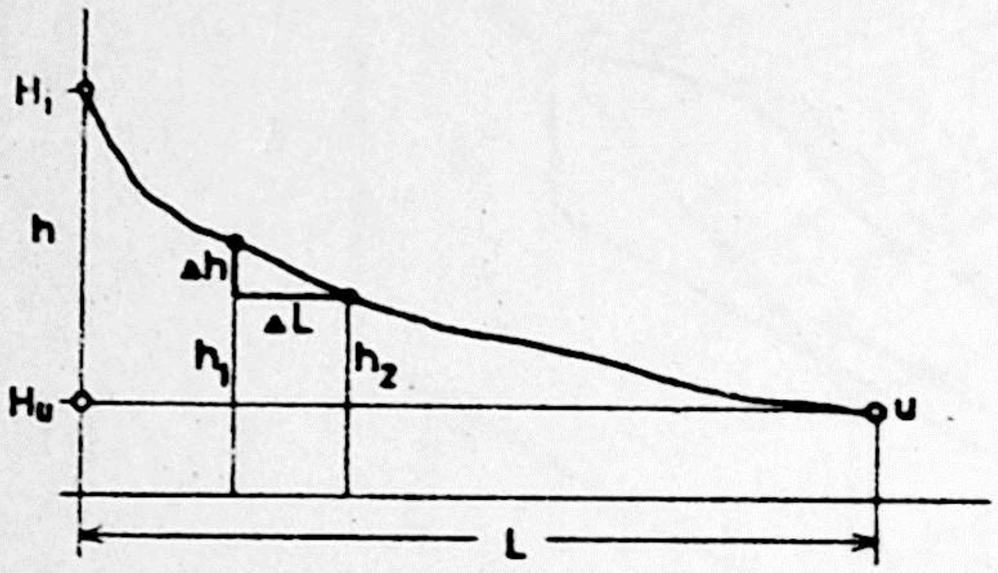
$$i = \frac{H \text{ izvorišta} - H \text{ ušća}}{L} = \frac{h}{L} \quad \frac{m}{km} \quad (^{o}/_{oo}) \quad \ldots\ldots (1.)$$

Vrednost hidrauličkog gradijenta obično se iskazuje u promilima. Promili se dobijaju kada se visinska razlika da u metrima, a dužina u kilometrima.

Hidraulički gradijent predstavlja jedan od pokazatelja kinetičke energije vodotoka, odnosno intenziteta procesa. Kako je kinetička energija zavisna i od brojnih drugih faktora, ovako definisan hidraulički gradijent ne predstavlja naročito pogodan parametar za kvantitativnu geomorfološku analizu.

Znatno pogodniji parametar čini parcijalni hidraulički gradijent. On predstavlja promenu visine po odredjenoj dužini vodotoka (slika 27):

$$\Delta i = \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad \ldots\ldots (2.)$$



ukupni gradijent:

$$i = \frac{H_1 - H_u}{L} = \frac{h}{L}$$

parcijalni gradijent:

$$\Delta i = \frac{h_1 - h_2}{\Delta L} = \frac{\Delta h}{\Delta L}$$

Slika 27. Ukupni i parcijalni hidraulički gradijent

Parcijalni hidraulički gradijent odredjuje nagib na posmatranom odsečku uzdužnog profila vodotoka. Promene nagiba, nesaglasnosti uzdužnog profila, posledica su, izmedju ostalog, uticaja endogenih faktora. Parcijalni hidraulički gradijent se stoga može tretirati kao pogodan parametar za kvantitativnu analizu.

Metod analize parcijalnog hidrauličkog gradijenta razradio je na platformnim oblastima Ju.A.Meščerjakov (1965.). Detaljni prikaz postupka uz izvesne mofifikacije dala je L.E.Setunskaja (197o.). Suština se svodi na sistematsko merenje parcijalnog hidrauličkog gradijenta po odsečcima jednake dužine. Podaci se nanose na kartu. Principom interpolacije izvlače se izolinije. Kao anomalije izdvajaju se područja porasta parcijalnog hidrauličkog gradijenta.

Originalni postupak Meščerjakova, prilagodjen platformnim ravničarskim oblastima, mora za orogene oblasti biti modifikovan. Vrednosti parcijalnog hidrauličkog gradijenta na planinskim i ravničarskim tokovima medjusobno se ne mogu porediti. Povećanje gradijenta napr. za lo °/oo u zaravnjenim delovima terena može značiti dvostruko i veće povećanje nagiba. Kod planinskih reka, gde vrednosti ovog gradijenta prelaze i 3oo °/oo povećanje od lo °/oc je beznačajno. Izvlačenje izolinija sa apsolutnim vrednostima parcijalnog hidrauličkog gradijenta stoga nema

praktičnog smisla.

Da bi se promene nagiba tokova razvijenih u različitim reljefnim uslovima mogle medjusobno porediti, uveden je novi parametar - relativni gradijent. On pokazuje promenu parcijalnog hidrauličkog gradijenta na posmatranom delu vodotoka i nema dimenzije:

$$r_i = \frac{\Delta i_m}{\frac{1}{2}(\Delta i_g + \Delta i_d)} \quad \ldots\ldots\ldots (3.)$$

gde je:

Δi_m - Mereni parcijalni hidraulički gradijent.

Δi_g - Parcijalni hidraulički gradijent prvog uzvodnog odsečka.

Δi_d - Parcijalni hidraulički gradijent prvog nizvodnog odsečka.

Za savršeno usaglašeni, ravnotežni profil, koji bi se formirao na geološki homogenom terenu, u idealnim uslovima apsolutnog tektonskog mirovanja, relativni gradijent je konstantna vrednost i iznosi jedan. Anomalija parcijalnog hidrauličkog gradijenta se odredjuje kao odstupanje nagiba posmatranog profila od ravnotežnog stanja:

$$a_i = r_i - 1 \quad \ldots\ldots\ldots (4.)$$

Praktični postupak analize anomalija parcijalnog hidrauličkog gradijenta zahteva sistematsko merenje visinskih razlika po odsečcima jednake dužine, od izvorišta do ušća svih većih vodotoka na ispitivanom terenu. Dužina odsečka se bira zavisno od razmere karte i željene detaljnosti i tačnosti rada. Najčešće se uzimaju odsečci dužine 1 do 2 cm u razmeri karte. Očitana vrednost visinske razlike početka i kraja odsečka upisuje se na sredini merenog odsečka.

Za utvrdjivanje iznosa parcijalnog hidrauličkog gradijenta visinske razlike se moraju svesti na dužinu od 1 km. Ako je napr. karta razmere 1:25.ooo, a izabrana dužina odsečka 1 cm, što u ovoj razmeri iznosi 0,25 km, utvrdjena visinska razlika od napr. 8o m množi se sa 4, tako da parcijalni hidraulički gradijent na 1 km dužine iznosi 32o m. Za utvrdjivanje relativnog gradijenta, odn. anomalije parcijalnog hi-

drauličkog gradijenta, ovakvo svodjenje nije potrebno, s obzirom da se operiše sa količnikom merenih vrednosti.

Za izmerene vrednosti visinskih razlika po obrascu 3 se izračunava relativni gradijent (r_i). Za jedan vodotok ovu vrednost će imati svi mereni odsečci, izuzev prvog, na izvorištu i poslednjeg, na ušću. Oduzimanjem jedinice, vrednosti ravnotežnog stanja, dobija se anomalija kao pozitivna, ili negativna vrednost. Iznos anomalije i njen znak upisuju se bojom, radi razlikovanja, takodje na sredini tretiranog odsečka.

Formalna interpolacija i izvlačenje izolinija omogućava dobijanje karte anomalija parcijalnog hidrauličkog gradijenta za ceo ispitivani teren. Nagib vodotoka, pored endogene aktivnosti, uslovljen je i litološkim sastavom i sklopom terena. Karta izolinija anomalija stoga, kao pravilo, pokazuje brojne maksimume i minimume. Da bi se istakla generalna težnja anomalija neophodno je izravnavanje karte, odn. sračunavanje trenda.

Za sračunavanje trenda sa karte izolinija se očitavaju vrednosti anomalije po uglovima mreže jediničnih polja. Primenom postupka tekućih srednjih vrednosti obavlja se izravnavanje. Prema dobijenim vrednostima interpolacijom se izvlače izolinije.

U terenima heterogene geološke gradje, naročito u područjima gde je neotektonska aktivnost bila intenzivna, postupak izravnavanja se može ponoviti. Na osnovu vrednosti prvog trenda sračunava se drugi trend anomalije parcijalnog hidrauličkog gradijenta.Dalje izravnavanje obično nije potrebno, niti ima praktičnog smisla.

Interpretacija rezultata analize se zasniva na principu da povećane vrednosti anomalija odgovaraju pojačanoj endogenoj aktivnosti terena, odnosno pojačanoj eroziji. Područja najveće pozitivne anomalije će, na taj način, biti interpretirana kao neotektonske strukture, tj. kao prevojna područja izmedju blokova suprotnog znaka pokreta, ili, u opštem slučaju, kao područja relativnog izdizanja terena.

Analogno tome, područja najvećih negativnih vrednosti anomalije označavaće centralne delove relativno izdizanih, odn. spuštanih blokova. U opštem slučaju negativna anomalija može označavati relativno spuštanje, odnosno pojačanu akumulaciju.

Rezultati analize anomalija parcijalnog hidrauličkog gradijenta,

odnosno njihova interpretacija, mogu se primeniti za utvrdjivanje neotektonske aktivnosti istraživanog područja. Njihova primena, medjutim, može biti i znatno šira. Utvrdjivanje područja pojačane erozije, ili akumulacije, jeste od interesa za inženjersku geologiju, hidrogeologiju, istraživanje ležišta mineralnih sirovina, i t.d.

Primer sračunavanja anomalija parcijalnog hidrauličkog gradijenta dat je za vodotok Male reke (slika 16). U originalnoj razmeri karte 1:25.ooo uzeti su odsečci dužine 0,25 km (1 cm). Merene vrednosti, sračunati parcijalni hidraulički gradijenti i vrednosti njihovih anomalija dati su zapisnikom.

Promena anomalija parcijalnog hidrauličkog gradijenta po uzdužnom profilu Male reke data je dijagramom na slici 28. Iznos i znak anomalije se višestruko menjaju na kratkom rastojanju od izvorišta do ušća. Da bi se obavila interpretacija neophodno je sračunavanje generalnog trenda anomalije.

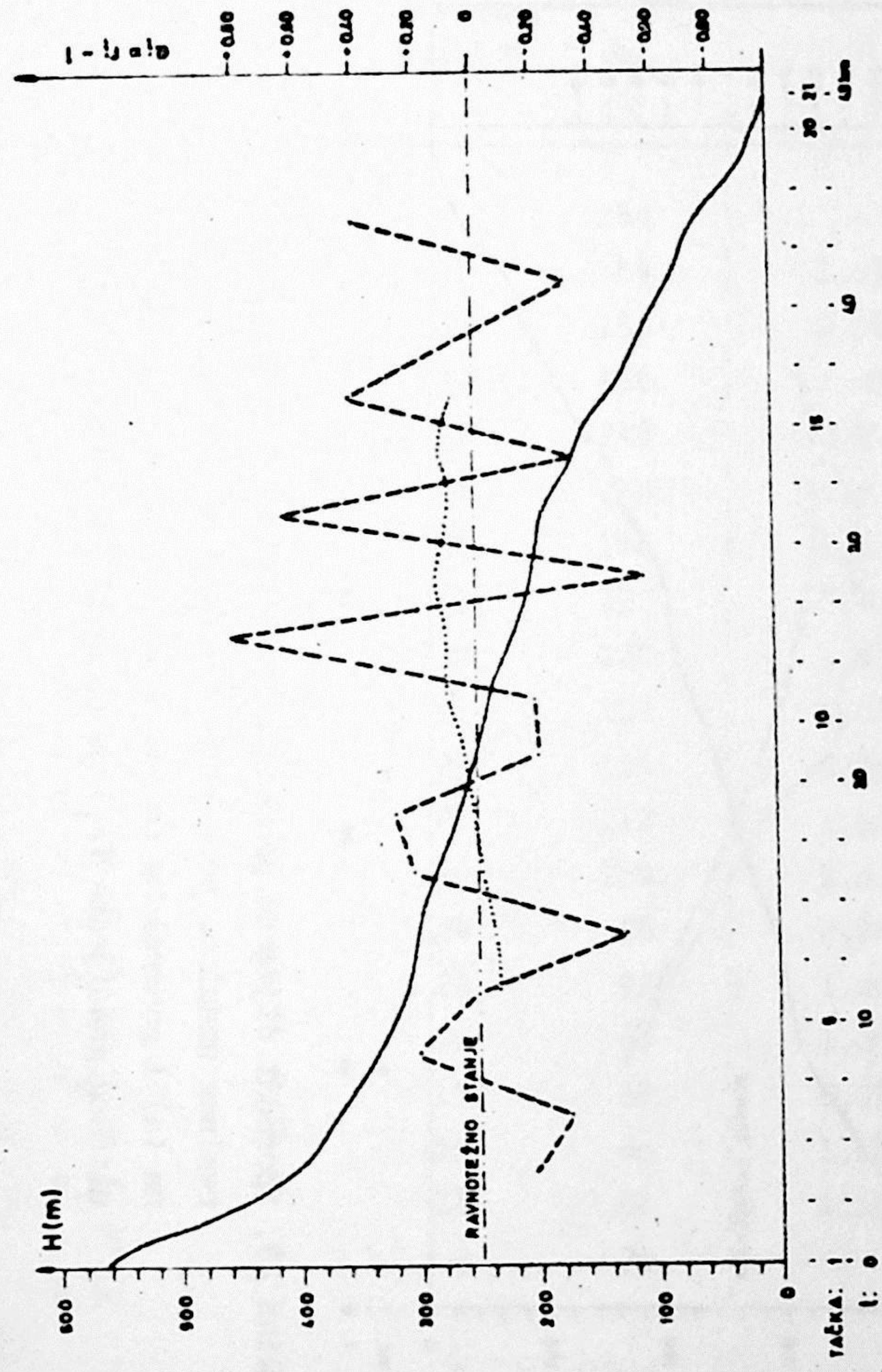
S obzirom da je u prikazanom primeru anomalija sračunata samo za jedan vodotok nije bilo dovoljno podataka za postavljanje mreže i sprovodjenje uobičajenog postupka tekućih srednjih vrednosti sa 9 podataka. Izravnavanje anomalija po uzdužnom profilu Male reke stoga je izvršeno linearno. Aritmetička sredina je radjena za tri podatka u nizu. Kod svakog narednog merenja tekuća srednja vrednost je obezbedjena izostavljanjem prvog podatka i obuhvatanjem sledećeg. Da bi se postigla vrednost planarnog izravnavanja sa 9 podataka uradjen je linearni trend trećeg stepena. Na slici 28 tačkasta linija prikazuje ovaj generalni, treći trend anomalije parcijalnog hidrauličkog gradijenta Male reke.

U gornjem delu vodotoka Male reke trend anomalije pokazuje negativne vrednosti (slika 28). To je, znači, područje pojačane akumulacije. Ono se može tumačiti kao centralni deo bloka koji se relativno izdiže. Anomalije u nizvodnoj polovini toka Male reke imaju pozitivne vrednosti. Interpretacija ovde pokazuje pojačanu eroziju, odn. postojanje neotektonski aktivne strukture, prevojnog područja izmedju dva bloka sa suprotnim znakom kretanja. Dobijeni rezultati se, dakle, u potpunosti uklapaju u koncepciju o endogenoj aktivnosti ovog terena, stvorenu primenom različitih postupaka.

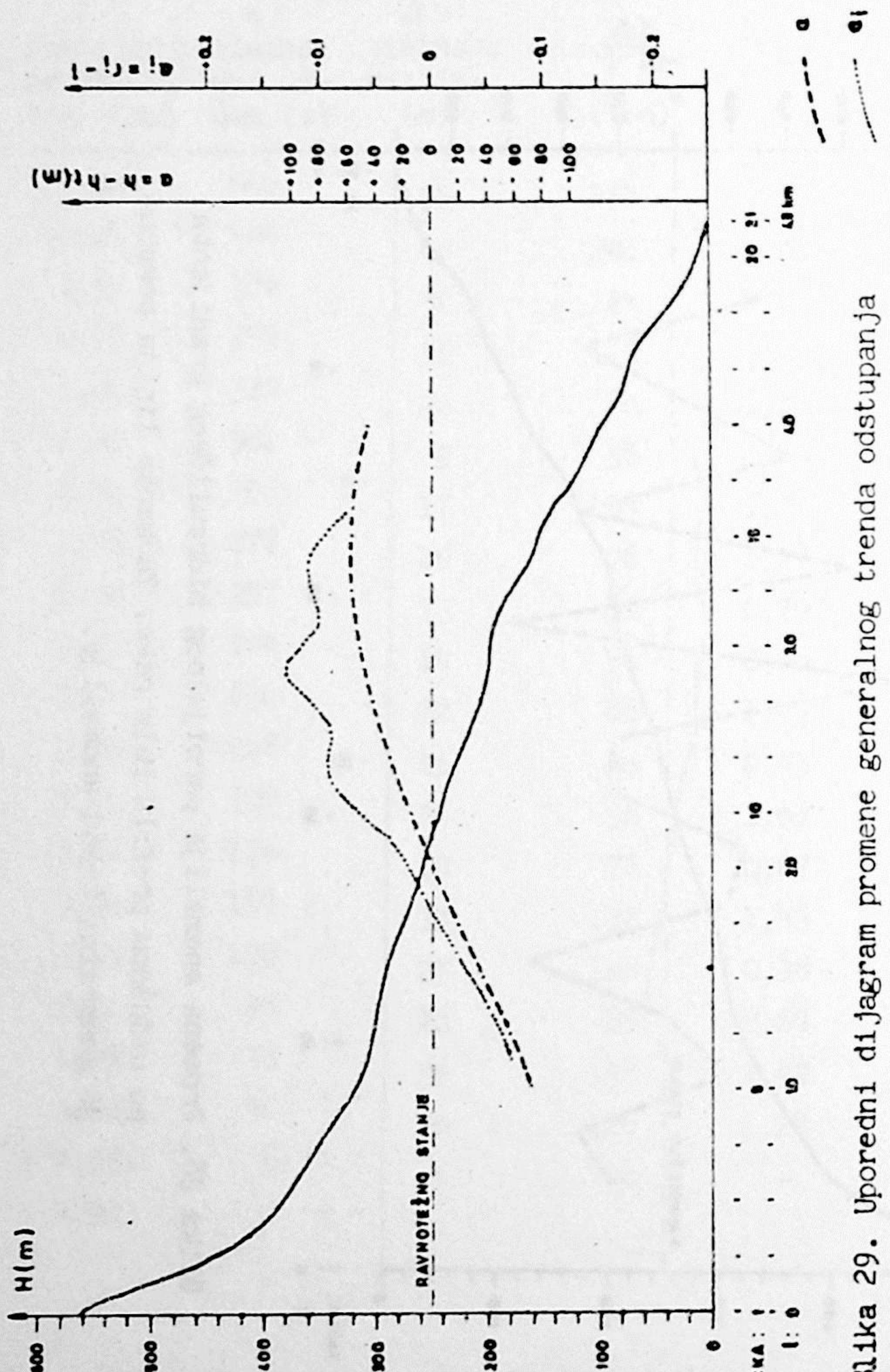
Zapisnik sračunavanja anomalija
parcijalnog hidrauličkog gradijenta Male reke

tačka	l rastojanje od izvorišta (km)	h visina nad ušćem (m)	Δh visinska razlika (m)	$\Delta i = \frac{\Delta h}{1\ km}$ (‰)	r_i	$a_i = r_i - l$
1.	0,oo	56o				
			116	464	-	-
2.	0,25	444				
			6o	24o	0,82	-0,18
3.	0,5o	384				
			31	124	0,68	-0,32
4.	0,75	353				
			31	124	1,22	+0,22
5.	1,oo	322				
			2o	8o	1,oo	0,oo
6.	1,25	3o2				
			9	36	0,49	-0,51
7.	1,5o	293				
			17	68	1,21	+0,21
8.	1,75	276				
			19	76	1,27	+0,27
9.	2.oo	257				
			13	52	0,79	-0,21
1o.	2,25	244				
			14	56	0,8o	-0,2o
11.	2,5o	23o				
			22	88	1,83	+0,83
12.	2,75	2o8				
			1o	4o	0,43	-0,57
13.	3,oo	198				
			24	96	1,66	+0,66
14.	3,25	174				
			19	76	0,67	-0,33
15.	3,5o	155				
			33	132	1,43	+0,43
16.	3,75	122				
			27	1o8	0,98	-0,o2
17.	4,oo	95				
			22	88	0,69	-0,31
18.	4,25	73				
			37	148	1,42	+0,42
19.	4,5o	36				
			3o	12o	1,28	+0,28
2o.	4,75	6				
			6	4o	-	-
21.	4,9o	o				

Opravdanost primene anomalije parcijalnog hidrauličkog gradijenta kao parametra za kvantitativnu geomorfološku analizu najjednostavnije se proverava poredjenjem sa drugim parametrima. Kao primer je izabrano odstupanje realnog uzdužnog profila od njegovog teorijskog analogona.



Slika 28. Promena anomalija parcijalnog hidrauličkog gradijenta po uzdužnom profilu Male reke. Tačkasta linija pokazuje generalni trend anomalije.



Slika 29. Uporedni dijagram promene generalnog trenda odstupanja realnog uzdužnog profila od njegovog teorijskog analogona (a) i generalnog trenda anomalije parcijalnog hidrauličkog gradijenta (a_1) po uzdužnom profilu Male reke.

Zapisnik sračunavanja anomalija parcijalnog hidrauličkog gradijenta za teorijski analogon

Male reke

tačka	l rastojanje od izvorišta (km)	h visina nad ušćem (m)	Δh visinska razlika (m)	$\Delta i = \frac{\Delta h}{1\ km}$ (‰)	r_i	$a_i = r_i - l$
1.	0,00	560	41	164	-	-
2.	0,25	519	41	164	1,03	+0,03
3.	0,50	478	39	156	0,98	-0,02
4.	0,75	439	39	156	1,03	+0,03
5.	1,00	400	37	148	0,99	-0,01
6.	1,25	363	36	144	1,00	0,00
7.	1,50	327	35	140	1,01	+0,01
8.	1,75	292	33	132	0,99	-0,01
9.	2,00	259	32	128	1,00	0,00
10.	2,25	227	31	124	1,02	+0,02
11.	2,50	196	29	116	0,98	-0,02
12.	2,75	167	28	112	1,02	+0,02
13.	3,00	139	26	104	1,00	0,00
14.	3,25	113	24	96	0,98	-0,02
15.	3,50	89	23	92	1.05	+0,05
16.	3,75	66	20	80	1,00	0,00
17.	4,00	46	17	68	0,97	-0,03
18.	4,25	29	15	60	1,07	+0,07
19.	4,50	14	11	44	1,10	+0,10
20.	4,75	3	3	20	-	-
21.	4,90	0				

Kriva promene anomalije parcijalnog hidrauličkog gradijenta po uzdužnom profilu Male reke (slika 28) na prvi pogled ne pokazuje nikakvu sličnost sa krivom promene odstupanja realnog uzdužnog profila od teorijskog analogona Male reke (slika 18). Slika je, medjutim, sasvim drugačija ako se

uporede njihovi trendovi (slika 29). Oba parametra u gornjem delu profila pokazuju negativne, a u donjem pozitivne vrednosti. Promena vrednosti odvija se praktično jednako za oba parametra. Ovako visok stepen poklapanja ne može biti slučajan. On svedoči o ispravnosti izbora parametara i o verodostojnosti rezultata koje njihove analize pružaju.

Vrednost relativnog hidrauličkog gradijenta za usaglašeni, ravnotežni profil je konstantna i iznosi jedan. U priloženom zapisniku prikazano je sračunavanje anomalija parcijalnog hidrauličkog gradijenta za teorijski analogon Male reke, predstavljen na slici 17. Dobijene vrednosti anomalija, koje bi za ravnotežni profil trebalo da budu ravne nuli, pokazuju izvesna, minimalna odstupanja. Ona se mogu objasniti nepreciznošću rada. Pri sračunavanju teorijskog analogona visine su zaokružavane na ceo metar. Ovakva uopštavanja svakako su uticala i na sračunavanje anomalija. Veličina odstupanja nije, medjutim, takva da bi prihvatanje analogona kao ravnotežnog, teorijskog modela bilo dovedeno u pitanje.

(5) Analiza erozionog integrala

Uzdužni profil vodotoka predstavlja jedan od najosetljivijih pokazatelja endogene aktivnosti terena. Njegove karakteristike pružaju izvanredno pogodne parametre za kvantitativnu geomorfološku analizu. Kvantitativni efekt pojačane fluvijalne erozije, ili akumulacije, zavisi od kvaliteta i intenziteta endogene aktivnosti terena. Ovaj efekt zavisi, izmedju ostalog, i od metričkih odnosa uzdužnog profila posmatranog vodotoka, tj. od njegove relativne visine i dužine. Stoga je medjusobno poredjenje karakteristika celih uzdužnih profila različitih vodotoka krajnje nepouzdan analitički postupak.

Komparabilnost celih uzdužnih profila različitih vodotoka može se obezbediti prikazom svih proučavanih profila u jedinstvenom nedimenzioniranom koordinatnom sistemu. Ideja je zasnovana na analogiji sa hipsometrijskom analizom drenažnog područja (Strahler, A.N., 1952.). Uzdužni profil svakog vodotoka može se konstruisati u koordinatnom sistemu čiju apscisu predstavlja odnos dužine od izvorišta do posmatrane ta-

čke i ukupne dužine vodotoka ($\frac{l}{L}$). Ordinata je definisana kao količnik visine posmatrane tačke nad ušćem i visinske razlike izvorišta i ušća ($\frac{h}{H}$). U ovako definisanom koordinatnom sistemu kriva bilo kog uzdužnog profila mora se i po apscisi i po ordinati kretati izmedju vrednosti 0 i 1.

U tački izvorišta je:

$$l = 0 \quad i \quad h = H$$

te je

$$\frac{l}{L} = 0 \quad i \quad \frac{h}{H} = 1$$

Izvorište se, dakle, kao ekstremna tačka krive uzdužnog profila, nalazi na ordinati sa vrednošću 1.

U tački ušća je:

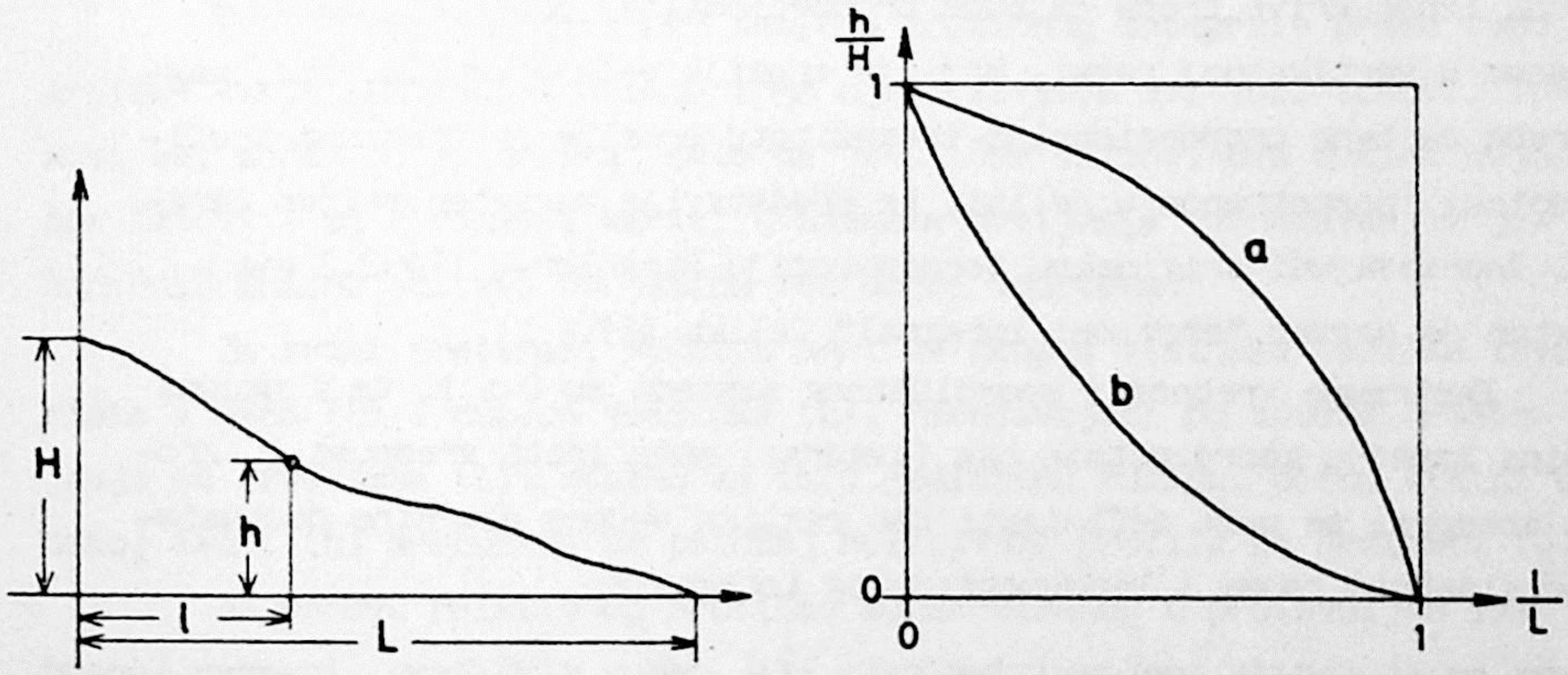
$$l = L \quad i \quad h = 0$$

te je

$$\frac{l}{L} = 1 \quad i \quad \frac{h}{H} = 0$$

Prema tome, ušće se kao drugi ekstrem krive nalazi na apscisi sa vrednošću 1.

Za uzdužni profil izražen u nedimenzioniranom sistemu predložen je naziv "relativni profil" (Marković M., 1973.). Svi relativni profili medjusobno se mogu porediti.



Slika 3o. Elementi za sračunavanje relativnog profila i izgled relativnog profila za slučaj pojačane akumulacije (a), odn. pojačane erozije (b).

Položaj krive relativnog profila odražava stepen morfološke evolucije vodotoka, odnosno intenzitet erozije. Kod slabo izražene erozije, u područjima koja se relativno spuštaju, kriva je konveksna. U slučaju vodotoka koji se intenzivno useca, tj. u oblastima relativnog izdizanja, kriva je konkavna i teži da se približi koordinatnim osama (slika 3o).

Da bi se izbegle subjektivnosti, nužne kod kvalitativnog poredjenja krivih, njihov položaj se kvantifikuje. Kriva relativnog profila može se u opštem slučaju definisati kao

$$y = f(x)$$

odnosno

$$- \frac{h}{H} = f(\frac{l}{L})$$

Površinu izmedju krive i koordinatnih osa predstavlja odredjeni integral od koordinatnog početka do ekstrema apscise:

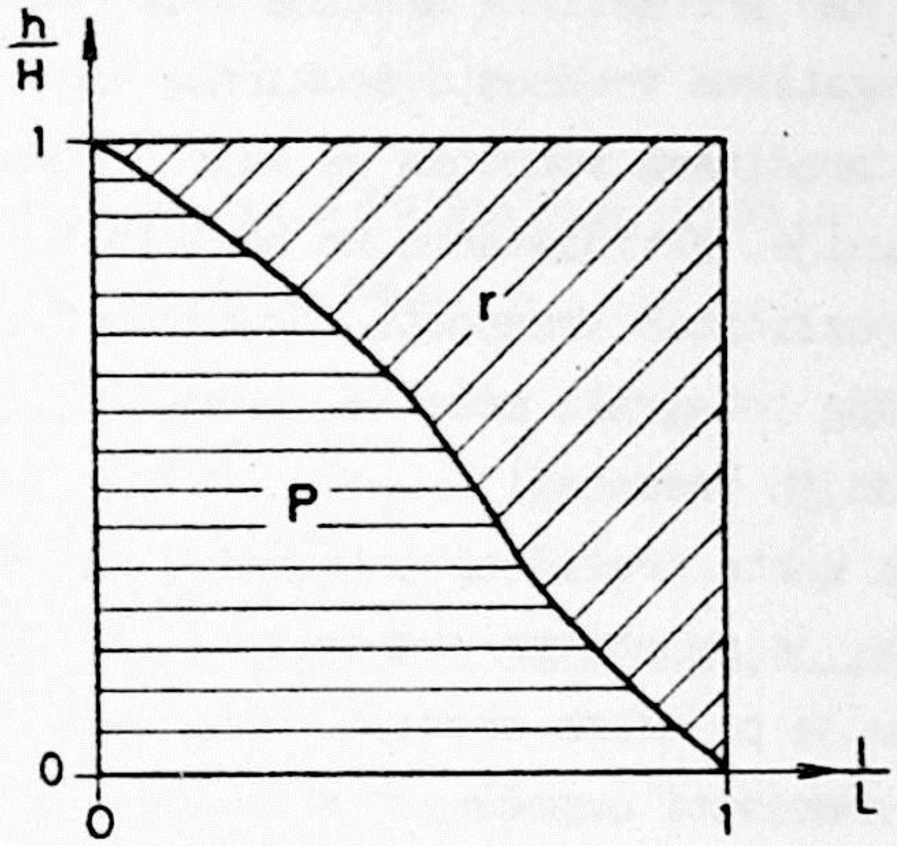
$$P = \int_0^1 \frac{l}{L} \, d(\frac{l}{L})$$

Ova površina teorijski predstavlja prostor, iskazan u vertikalnoj ravni, koji erozija treba da savlada. Po analogiji sa Strahler-ovim radom taj prostor je definisan kao "hipsometrijski integral". Sledeći analogiju, površina iznad krive treba da bude proporcionalna prostoru, takodje izraženom u vertikalnoj ravni, koji je erozija već savladala. Ona, dakle, treba da bude proporcionalna intenzitetu erozije na uzdužnom profilu vodotoka, posmatranom u celini, te predstavlja karakterističan parametar. Zadržavajući originalnu terminologiju Strahler-a (1952.) ovaj parametar je nazvan "erozioni integral" (slika 31).

Ekstremne vrednosti koordinatnog sistema su 0 i 1, te i ukupna površina izmedju koordinatnih osa (kvadrat) mora imati vrednost 1. Erozioni integral se može definisati kao razlika ukupne površine obuhvaćene koordinatnim osama i hipsometrijskog integrala:

$$r = 1 - \int_0^1 \frac{l}{L} \, d(\frac{l}{L})$$

Matematička definicija relativnog profila, po pravilu, predstavlja vrlo složen posao. U praktičnom postupku ovo se može izbeći.



Slika 31. Hipsometrijski (P) i erozioni integral (r).

Površina iznad, ili ispod krive relativnog profila može se izmeriti planimetrom, ili sračunati kao sistem geometrijskih figura. Vrednost erozionog integrala se iskazuje kao decimal ukupne površine kvadrata ucrtanog izmedju koordinatnih osa. Njegova vrednost mora se uvek kretati u rasponu od 0 do 1, stim što je uvek veća od nule, a manja od jedinice.

Pri praktičnom postupku analize erozionog integrala preko topografske karte se postavlja paus i na njemu izvlače svi veći tokovi. Tokovi se, počev od izvorišta, dele na jedinične dužine. Ova dužina najčešće iznosi 1 cm u razmeri karte. U tačkama dobijenim označavanjem jediničnih dužina očitava se visina nad ušćem vodotoka.

Za svaki tretirani vodotok meri se ukupna visinska razlika izvorišta i ušća (H) i dužina vodotoka (L). Povećavajući po apscisi rastojanje od izvorišta (l), stalno za istu jediničnu dužinu, prema visini u datoj tački (h) sračunava se položaj relativnog profila po ordinati ($\frac{h}{H}$).

Na osnovu relativnog profila, konstruisanog u proizvoljno izabranoj razmeri, grafičkim putem, ili planimetrisanjem, utvrdjuje se vrednost erozionog integrala za dati vodotok.

Utvrdjene vrednosti erozionih integrala svih obradjivanih vodotoka na ispitivanom terenu iskazuju se kao pozitivne, odn. negativne raz-

like u odnosu na referentni nivo. Po ranije prikazanom principu referentni nivo se dobija kao aritmetička sredina svih obavljenih merenja.

Pozitivne i negativne vrednosti erozionog integrala prenose se na kartu i upisuju na sredinama vodotoka na koje se odnose. Interpolacijom se izvlače izolinije. Ekvidistanca se bira tako da na karti bude od 8 do lo izolinija različitih vrednosti. Površina dobijena izvlačenjem izolinija erozionog integrala može se, prema potrebi, izravnati postupkom tekućih srednjih vrednosti.

Interpretacija karte erozionog integrala, ili karte prvog trenda erozionog integrala, je relativno jednostavna. Polja pozitivnih vrednosti označavaju područja pojačane erozije, odn. neotektonski aktivne strukture. Negativne vrednosti označavaju slabljenje ukupne erozije na vodotoku. One označavaju centralne delove blokova relativnog izdizanja, ili spuštanja terena. Gusti raspored izolinija, sa velikim promenama vrednosti erozionog integrala, može označavati kinematski aktivne diskontinuitete.

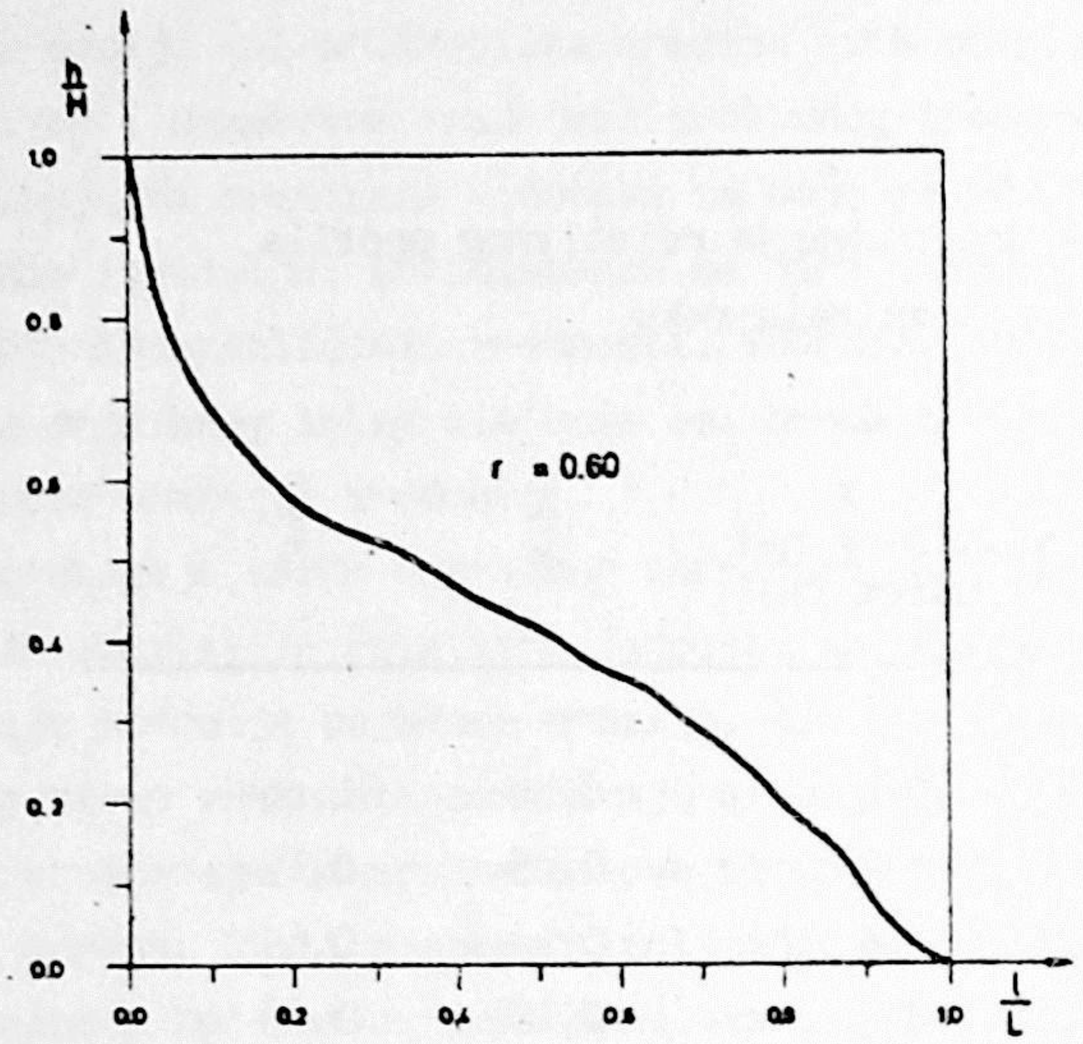
S obzirom da su kao parametar uzete karakteristike uzdužnog profila u celini, interpretacija mora imati regionalni karakter. Ona može ukazati na postojanje struktura dekakilometarskog reda veličina. Ispitivanja izvedena u našoj zemlji (Marković M., Petrović B., Komarnicki S., 1976.) dala su vrlo dobre rezultate i potvrdila primenljivost analize erozionog integrala. Na manjim površinama ovaj postupak, medjutim, gubi praktični smisao.

Postupak sračunavanja erozionog integrala prikazan je na primeru Male reke (slike 16 i 17). Ovaj vodotok ima dužinu (L) od 4.9oo m. Visinska razlika izvorišta i ušća (H) iznosi 56o m. Sračunavanje relativnog profila je obavljeno po odsečcima od 25o m. Podatke sračunavanja daje priloženi zapisnik. Relativni profil Male reke prikazuje slika 32. Vrednost erozionog integrala (r) je utvrdjena planimetrisanjem. Ona iznosi 0,6o.

Kriva relativnog profila Male reke ima oblik koji ukazuje na pojačanu eroziju. Vrednost erozionog integrala takodje je dosta visoka. Na osnovu erozionog integrala samo jednog vodotoka interpretacija se, razumljivo, ne može dati. Može se samo tvrditi da, generalno posmatrano, karakteristike Male reke odgovaraju pojačanoj eroziji, odnosno neotektonski aktivnom području.

Zapisnik sračunavanja relativnog profila
za Malu reku

tačka	l rastojanje od izvorišta (km)	h visina nad ušćem (m)	$\frac{l}{L}$	$\frac{h}{H}$
1.	0,oo	56o	0,oo	1,oo
2.	0,25	444	0,o5	0,79
3.	0,5o	384	0,1o	0,69
4.	0,75	353	0,15	0,63
5.	1,oo	322	0,2o	0,58
6.	1,25	3o2	0,26	0,54
7.	1,5o	293	0,31	0,52
8.	1,75	276	0,36	0,49
9.	2,oo	257	0,41	0,46
1o.	2,25	244	0,46	0,44
11.	2,5o	23o	0,51	0,41
12.	2,75	2o8	0,56	0,37
13.	3,oo	198	0,61	0,35
14.	3,25	174	0,66	0,31
15.	3,5o	155	0,71	0,28
16.	3,75	122	0,77	0,22
17.	4,oo	95	0,82	0,17
18.	4,25	73	0,87	0,13
19.	4,5o	36	0,92	0,o6
2o.	4,75	6	0,97	0,o1
21.	4,9o	0	1,oo	0,oo



Slika 32. Relativni profil i erozioni integral Male reke.

(6) Analiza drenažnog sistema

Skup svih prirodnih kanala, kojima stalno ili povremeno teče voda, predstavlja drenažnu mrežu jednog područja. Termin obuhvata oblike fluvijalnog i proluvijalnog procesa. Njihovo povezivanje je neophodno. Bujične vode, koje formiraju jaruge, najčešće se ulivaju u stalne vodotoke. U našoj literaturi u upotrebi su termini "rečna mreža" i "hidrografska mreža". Ovi termini su po svojoj suštini uži od izraza drenažna mreža. Oni podrazumevaju samo stalne vodotoke.

Drenažni sistem predstavlja skup svih prirodnih kanala kojima stalno ili povremeno teče voda, a koji se povezuju u jedinstveni vodotok.

Područje sa koga se vode prikupljaju u jedan drenažni sistem naziva se drenažno područje. U upotrebi su i termini slivno područje,

slivni basen i drenažni basen.

Drenažno područje je ograničeno vododelnicom. To je zamišljena linija koja spaja najviše kote na terenu. Od nje se vode dreniraju na različite strane, u dva različita drenažna sistema. Topografski utvrdjena vododelnica predstavlja stvarnu, hidrogeološku vododelnicu samo kod terena izgradjenih od nerastvorljivih stena. Kod rastvorljivih stenskih masa položaj topografske i stvarne, hidrogeološke vododelnice bitno se razlikuje.

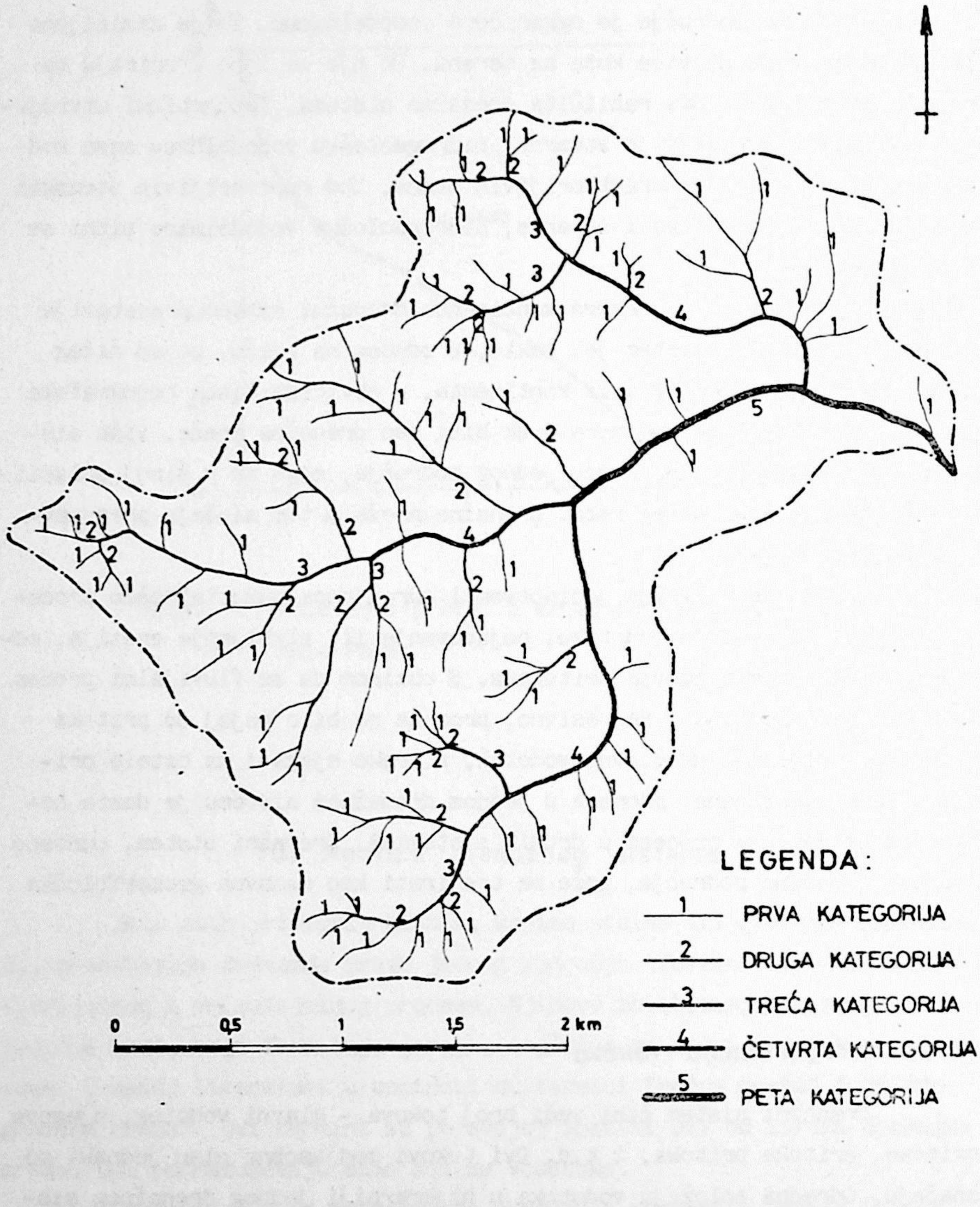
Posmatrano u razmerama kontinenta drenažni sistem predstavlja deo drenažne mreže. Sistem je, dakle, u odnosu na mrežu, pojam nižeg reda. U razmerama jednog dela kontinenta, u okvirima lista topografske karte, drenažni sistem ne mora uvek biti deo drenažne mreže. Više sistema, koji čine drenažnu mrežu jednog područja, mogu se u široj oblasti povezivati u sistem višeg reda. Drenažna mreža u tom slučaju predstavlja element sistema.

Sistem se odlikuje jedinstvom i odredjenom samostalnošću procesa. Promena na glavnom vodotoku, pojačavanje ili slabljenje erozije, odražava se na svim njegovim pritokama. S obzirom da se fluvijalni proces razvija i progresivno i regresivno, promena na bilo kojoj od pritoka mora imati uticaj i na glavni vodotok, a preko njega i na ostale pritoke. Sa druge strane, promena u jednom drenažnom sistemu je dosta nezavisna od razvoja procesa u drugim sistemima. Drenažni sistem, odnosno njegovo drenažno područje, može se tretirati kao osnovna geomorfološka jedinica.

(6.1.) Kategorizacija tokova

Drenažni sistem čini veći broj tokova - glavni vodotok, njegove pritoke, pritoke pritoka, i t.d. Ovi tokovi medjusobno nisu jednaki po značaju. Odredba položaja vodotoka u hijerarhiji jednog drenažnog sistema naziva se kategorizacija. Osnovne ideje i prvu shemu kategorizacije dao je R.Horton (1945.). Postupak je modifikovao i pojednostavio A.N.Strahler (1957.).

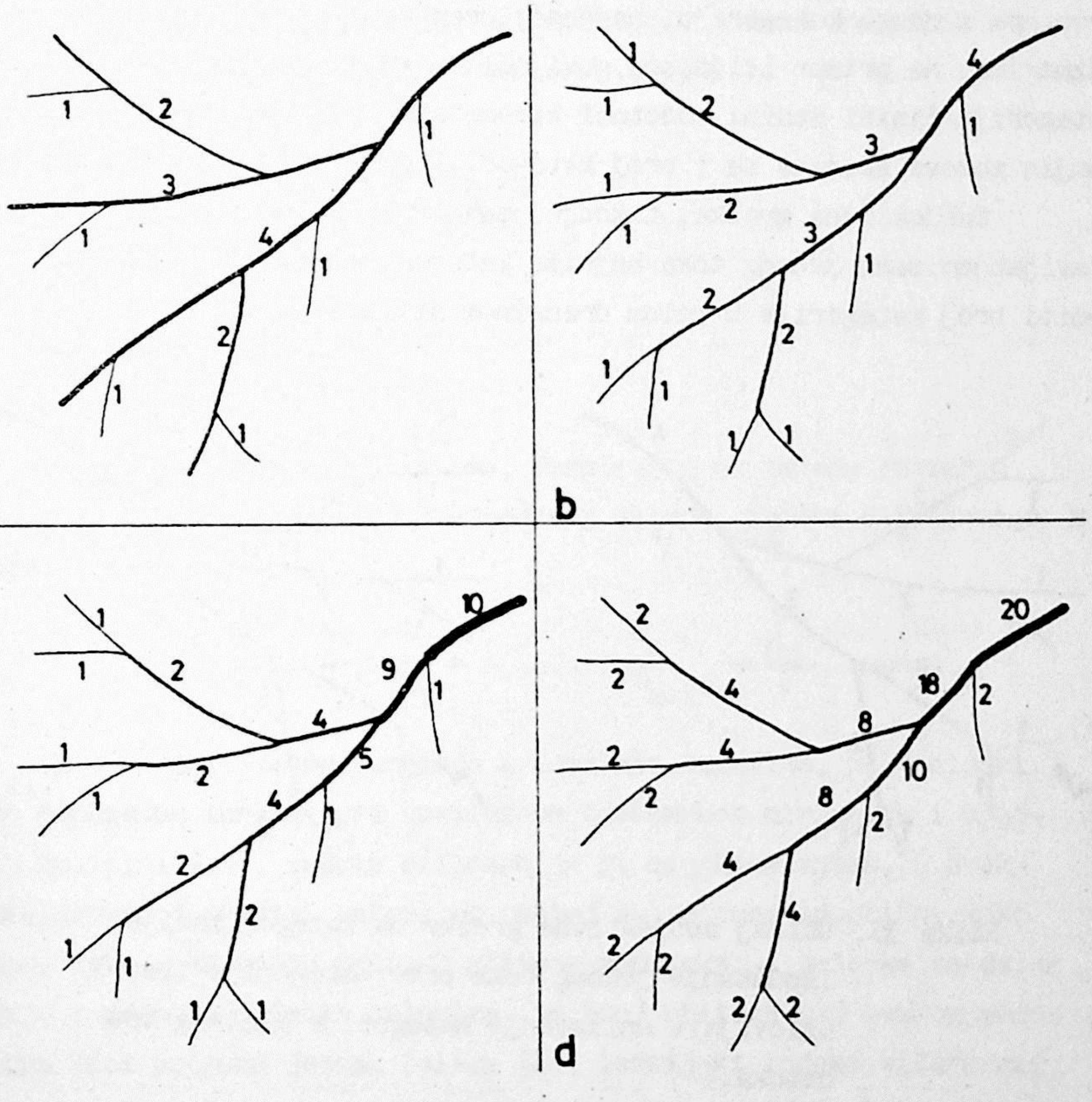
Strahler-ova pravila kategorizacije sažeto se izražavaju u četiri stava:



Slika 33. Kategorizacija tokova u drenažnom sistemu
Male reke shodno Strahler-ovom principu.

- Najnižu, prvu kategoriju čine tokovi bez pritoka.
- Spajanjem dva toka iste kategorije nastaje tok više kategorije.
- Kod pripajanja toka niže kategorije toku više kategorije - kategorija se ne menja.
- Glavni vodotok ima najvišu kategoriju.

Kategorizacija tokova po iznetim pravilima prikazana je na primeru drenažnog sistema Male reke (slika 33).

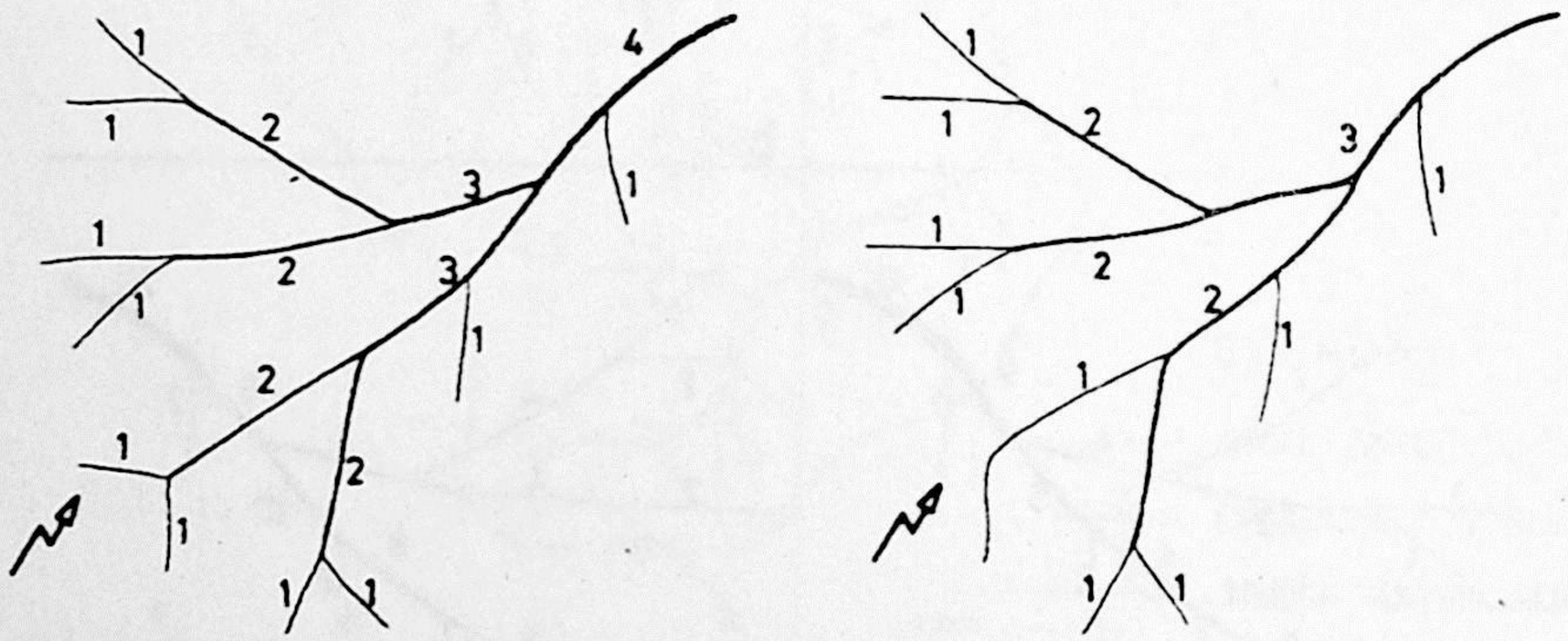


Slika 34. Shema kategorizacije tokova različitih autora:
a. R.Horton (1945.); b. A.Strahler (1957.);
c. R.Shreve (1967.); d. A. Scheidegger (1965.).

Strahler-ova modifikacija predvidja kategorizaciju odsečaka tokova. Time je izbegnut problem rekategorizacije, koji se javlja u originalnoj Hortonovoj shemi celih tokova. Različiti autori su do sada dali više različitih shema kategorizacije. Najznačajnije od njih su uporedno prikazane na slici 34. U praktičnim radovima najpogodnijom se pokazala Strahler-ova modifikacija Hortonove sheme.

Broj kategorija pokazuje razvijenost drenažnog sistema. Ovaj broj zavisi, medjutim, od razmere topografske karte koja je upotrebljena kao osnova za kategorizaciju. Na kartama razmere 1:25.ooo i krupnije, prvu, pa i drugu kategoriju, najčešće predstavljaju jaruge. U sitnim razmerama, na primer 1:loo.ooo, ovi oblici se ne zapažaju. Ovde će prvu kategoriju činiti stalni vodotoci kilometarskih dužina. Izostavljanjem manjih tokova snižava se i broj kategorija posmatranog drenažnog sistema.

Subjektivna greška, takodje, znatno utiče na kategorizaciju. Izostavljanjem samo jednog toka najniže kategorije može se, na primer, promeniti broj kategorija u celom drenažnom sistemu (slika 35).



Slika 35. Uticaj subjektivne greške na kategorizaciju.
Ispuštanje jednog toka prve kategorije (levo) uslovljava snižavanje kategorije glavnog vodotoka.

Kategorizacijom je odredjen značaj svakog vodotoka u jednom drenažnom sistemu. Tokovi iste kategorije iz raznih drenažnih sistema medjusobno se mogu porediti pod uslovom da je kategorizacija obavlje-

na po istoj shemi i u istoj razmeri topografske karte.

Analogno kategorizaciji tokova može se vršiti kategorizacija drenažnih područja. Kategorija jednog drenažnog područja se odredjuje prema kategoriji glavnog vodotoka drenažnog sistema koji je razvijen u posmatranom području.

(6.2.) Indeks bifurkacije

Odnos broja tokova susednih kategorija u jednom drenažnom sistemu odredjuje indeks bifurkacije (Horton R., 1945.):

$$I_B = \frac{N_n}{N_{n+1}}$$

gde je

N - Broj tokova.

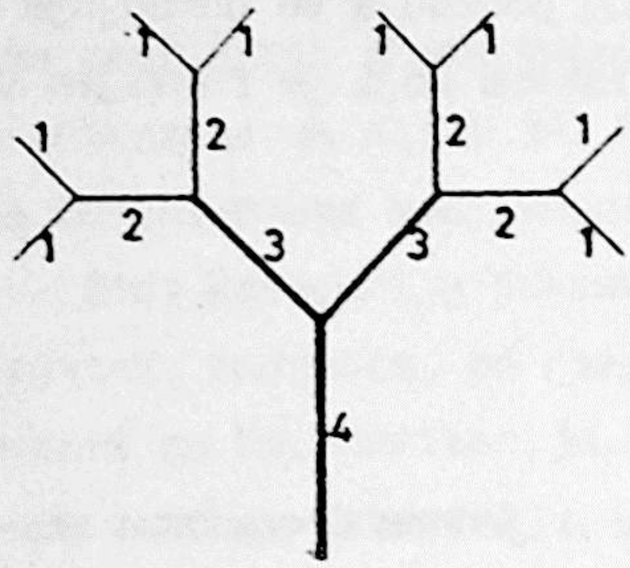
n - Kategorija.

Kod dobro razvijenog sistema, formiranog na terenu razmerno homogenog litološkog sastava i ujednačenog sklopa, indeks bifurkacije je ujednačen i teži konstanti:

$$I_B = \frac{N_1}{N_2} \simeq \frac{N_2}{N_3} \simeq \frac{N_3}{N_4} \simeq \ \ldots\ldots \simeq \frac{N_n}{N_{n+1}} \longrightarrow \text{const.}$$

Za drenažni sistem formiran u idealnim uslovima, na geološki potpuno homogenom terenu, pri apsolutnom tektonskom mirovanju i ujednačenoj količini vode, indeks bifurkacije bi bio konstantan. U ovakvoj idealizovanoj sredini uslovi za razvoj su potpuno identični kako za jednu, tako i za drugu pritoku glavnog vodotoka. I pritoke se dalje razvijaju i granaju u istim uslovima, te broj pritoka kod svakog vodotoka mora biti potpuno jednak (slika 36). Teorijski indeks bifurkacije bi imao vrednost dva.

Indeks bifurkacije kod realnih sistema ima promenljivu vrednost. On zavisi od uslova u kojima se vodotok razvija, ali i od subjektivnih faktora. Ukoliko se analiza izvodi na karti krupne razmere



n	N	$I_B=\frac{N_n}{N_{n+1}}$
1	8	2
2	4	2
3	2	2
4	1	

Slika 36. Shematski prikaz grananja i vrednost indeksa bifurkacije u idealnim geološkim uslovima.

u tokove najnižih kategorija ubrajaju se i jaruge. U tom slučaju su vrednosti indeksa bifurkacije kod nižih kategorija jako visoke i veoma variraju. Ujednačavaju se tek kod viših kategorija.

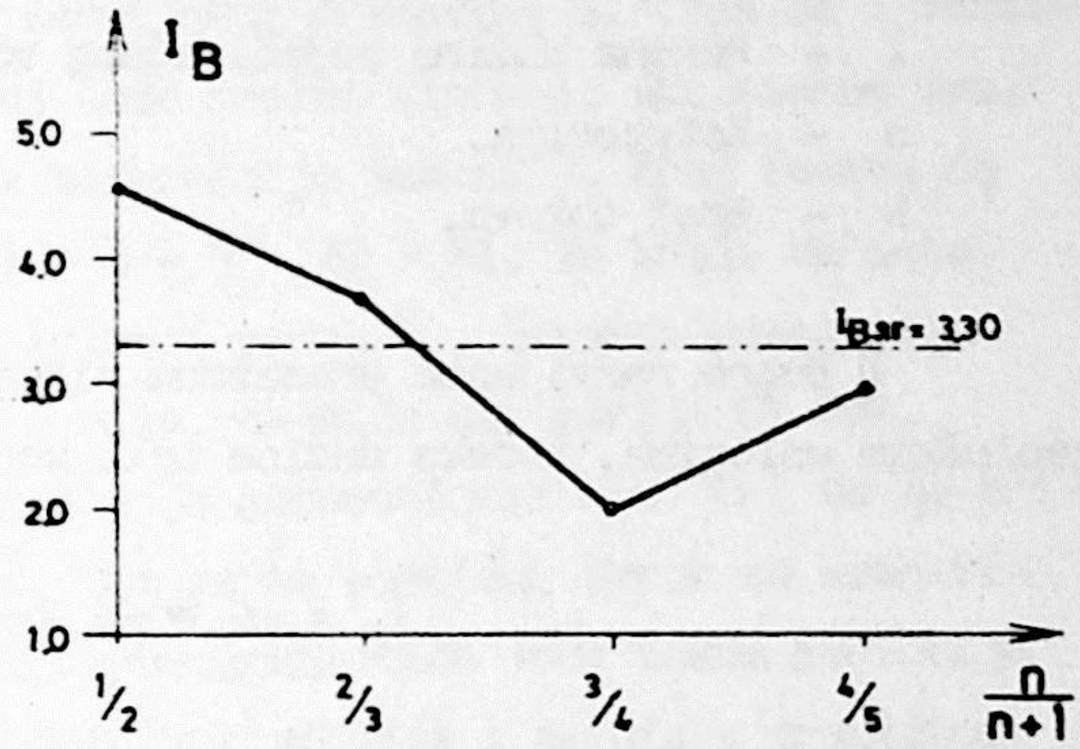
Srednja vrednost indeksa bifurkacije se uzima kao reprezentativna za proučavani sistem. Ona se kod realnog sistema obično kreće u rasponu od 2 do 4, a najčešće iznosi oko 3,5.

Sračunavanje indeksa bifurkacije ilustruje primer drenažnog sistema Male reke. Na osnovu obavljene kategorizacije (slika 33) prostim izbrojavanjem je utvrdjen broj tokova pojedinih kategorija. Vrednosti i sračunati indeksi bifurkacije dati su tabelarno. Promene vrednosti indeksa bifurkacije po kategorijama i njegova srednja vrednost prikazani su i grafički (slika 37).

Interpretacija bi zahtevala poredjenje sistema Male reke sa drugim drenažnim sistemima ispitivanog terena. U samom drenažnom sistemu Male reke variranja vrednosti indeksa bifurkacije su znatna. Razlog je, svakako, tektonska aktivnost područja tokom evolucije fluvijalnog reljefa. Pojačana aktivnost uslovljava pojačavanje erozije. Erozija se manifestuje povećanim grananjem tokova. Sa grananjem se povećava i broj tokova pojedinih kategorija. Povećanje nije ravnomerno. Ono je u slučaju krupnih, regionalnih pokreta izraženije kod viših kategorija. Kod lo-

n	N	I_B
1	100	4,54
2	22	3,67
3	6	2,00
4	3	3,00
5	1	

I_B srednje = 3,30



Slika 37. Promene vrednosti indeksa bifurkacije u drenažnom sistemu Male reke.

kalnih, diferencijalnih kretanja blokova povećanje broja tokova je izraženije kod nižih kategorija. Upravo takav slučaj pokazuje drenažno područje Male reke. Indeksi bifurkacije opadaju sa rastom kategorije.

(6.3.) Indeks dužina

Indeks dužina je definisan kao odnos prosečnih dužina tokova dve susedne kategorije (Horton R., 1945.):

$$I_L = \frac{L_{n+1}}{L_n}$$

gde je

L - Prosečna dužina toka odredjene kategorije.

n - Kategorija.

Prosečna dužina tokova jedne kategorije sračunava se kao prosta aritmetička sredina dužina svih tokova te kategorije:

$$L_n = \frac{\Sigma l_n}{N_n}$$

gde je

l - Merena dužina pojedinačnog vodotoka.

n - Kategorija.

N - Broj tokova.

U dobro razvijenom drenažnom sistemu, formiranom u ujednačenim geološkim uslovima, indeks dužina teži konstanti:

$$I_L = \frac{L_2}{L_1} \approx \frac{L_3}{L_2} \approx \frac{L_4}{L_3} \approx \ldots \approx \frac{L_{n+1}}{L_n} \longrightarrow \text{const.}$$

Za teorijski sistem, formiran u idealnim uslovima, na terenu bez promene litologije i sklopa, sa jednakom količinom vode i bez ikakvih tektonskih pokreta u toku evolucije sistema, indeks dužina predstavlja konstantnu vrednost. Ovo je razumljivo, kada se ima u vidu činjenica da su uslovi razvoja svih delova terena identični. Grananje pritoka počinje istovremeno i svi tokovi jedne kategorije imaju istu dužinu (slika 36).

Promena vrednosti dužina tokova uslovljena je, pre svega, najmladjom tektonskom aktivnošću. Pojačana erozija, izazvana ovom pojačanom aktivnošću, odražava se intenzivnim grananjem tokova. Pri grananju dolazi do skraćenja dužine. Nasuprot tome, lagano tonjenje izaziva pojavu povećanja dužine tokova unutar odredjenih kategorija.

Srednji indeks dužina kod realnih sistema varira u istim granicama kao i indeks bifurkacije. Njegova vrednost obično iznosi od 2 do 4, najčešće 3,3 do 3,5.

(6.4.) Zakon broja tokova

Medjusobni odnos broja tokova pojedinih kategorija u drenažnom sistemu dozvoljava formulisanje zakona broja tokova. U čast tvorca ideje o kvantitativnoj analizi drenažnog sistema i drenažnog područja, koji je utvrdio ove odnose, zakon se može nazvati prvi Hortonov zakon. On glasi: Broj tokova sukcesivnih kategorija u jednom drenažnom sistemu teži da formira geometrijsku progresiju koja počinje tokom najviše kategorije i raste saglasno indeksu bifurkacije.

U idealnim, teorijskim uslovima indeks bifurkacije je konstantna vrednost. Broj tokova takvog teorijskog drenažnog sistema će i formirati geometrijsku progresiju kojoj teže realni sistemi. Ako sistem ima, na primer, 5 kategorija, a indeks bifurkacije iznosi 3, broj tokova će graditi geometrijsku progresiju 1 - 3 - 9 - 27 - 81. To znači da peta, najviša kategorija ima 1 vodotok (glavni vodotok), četvrta kategorija ima tri toka, treća 9, druga 27, a prva, najniža kategorija 81 tok.

Realni sistemi teže da formiraju geometrijski niz. Oni mu se približavaju u manjoj ili većoj meri, ali ga ne postižu. Uzrok su specifičnosti procesa. One nastaju usled promena količine vode tokom evolucije reljefa i usled inhomogeniteta litološkog sastava i sklopa u drenažnom području. Najznačajniji uzrok odstupanja čine, medjutim, najmladji tektonski pokreti. Promena odnosa vertikalne i bočne erozije, pojačavanje usecanja, odn. pojačavanje akumulacije, prouzrokovana ovim pokretima, dovodi do promene u broju tokova i javljaju se odstupanja od geometrijske progresije.

Zakon broja tokova se može grafički predstaviti. Geometrijska progresija se definiše kao matematička kriva

$$y = f(x)$$

odnosno, za zakon broja tokova

$$N_n = I_B^{z-n} \quad ..... (1.)$$

gde je

N - Broj tokova.

n - Posmatrana kategorija.

I_B - Srednji indeks bifurkacije.

z - Najviša kategorija u drenažnom sistemu.

Kriva se konstruiše u koordinatnom sistemu po čijoj se ordinati menja broj tokova (N), a po apscisi kategorija (n). Ovako definisana geometrijska progresija će imati oblik parabole.

Suština primene zakona broja tokova svodi se na utvrdjivanje odstupanja realnog sistema od idealnog, teorijskog slučaja. To praktično znači korelaciju geometrijskog niza koji gradi realni sistem sa idealnom geometrijskom progresijom teorijskog modela. Korelacija je grafički dale-

ko jednostavnija ako se parabola transformiše u pravu. Transformacija se izvodi logaritmovanjem. Broj tokova posmatrane kategorije je tada:

$$\log N_n = (z-n) \log I_B \quad \ldots\ldots (2.)$$

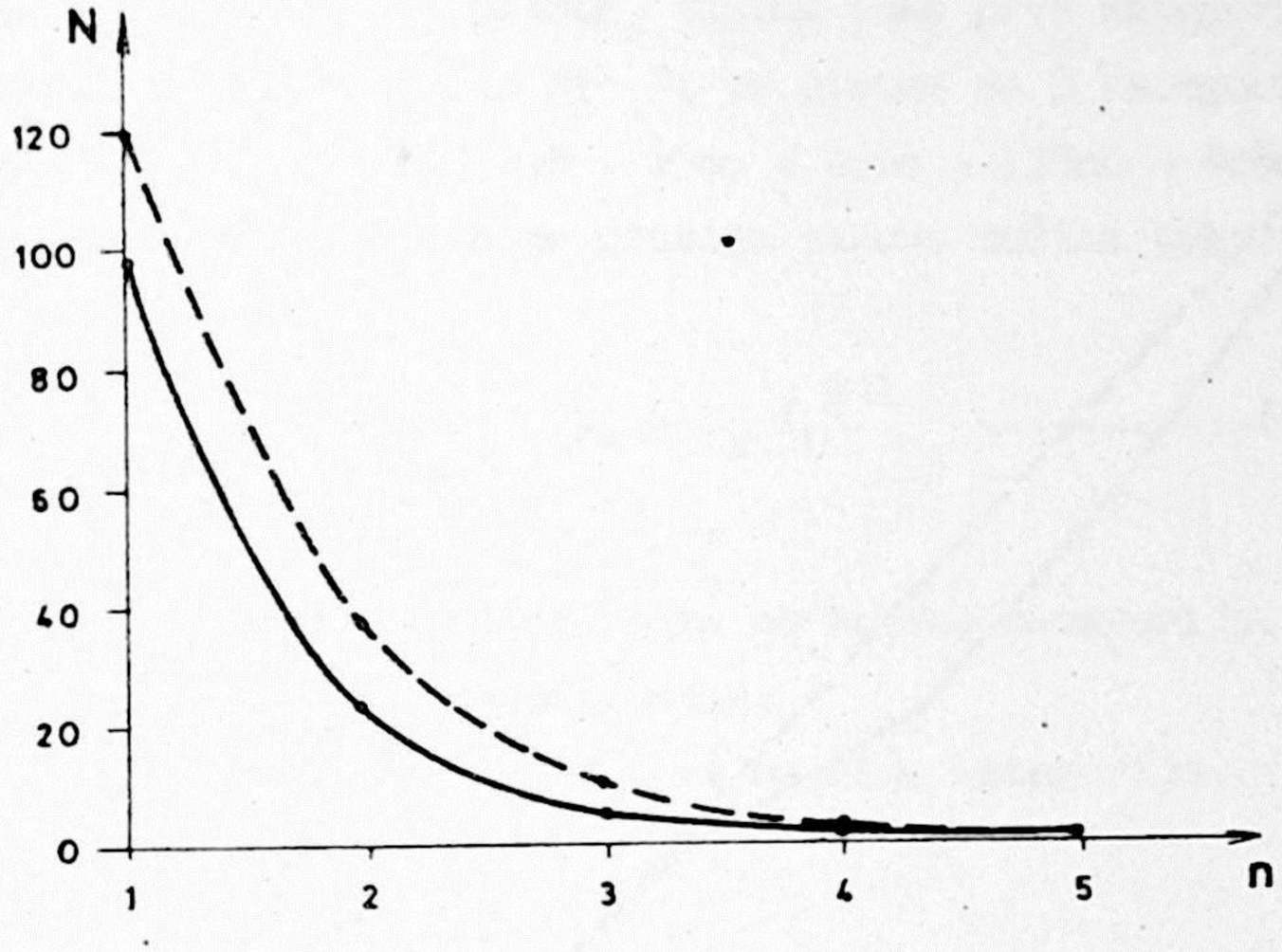
Geometrijska progresija se, na taj način, prikazuje u semilogaritamskom koordinatnom sistemu, kod koga se po ordinati menja logaritam broja tokova, a po apscisi kategorija.

Za realni drenažni sistem geometrijska progresija, tj. ravnotežno stanje, se sračunava po obrascu 1. Za indeks bifurkacije se uzima srednja vrednost svih indeksa u datom drenažnom sistemu. Dijagram se konstruiše po obrascu 2. Na isti dijagram zatim se nanose logaritmi stvarnog broja tokova realnog sistema. Odstupanja od ravnotežnog stanja, tj. od prave linije koja predstavlja geometrijsku progresiju, postaju očigledna.

Razumevanje prvog Hortonovog zakona i njegovog grafičkog predstavljanja olakšaće primer Male reke. Nakon obavljene kategorizacije (slika 33) utvrdjen je broj tokova pojedinih kategorija i sračunat srednji indeks bifurkacije. Broj tokova za teorijski model (geometrijska progresija) sračunat je po obrascu 1, na bazi srednjeg indeksa bifurkacije, koji u ovom slučaju iznosi 3,3o.

Realno stanje			Teorijski model		
n	N	log N	n	N	log N
1	1oo	2,oo	1	118,59	2,o7
2	22	1,24	2	35,94	1,56
3	6	0,78	3	1o,89	1,o4
4	3	0,48	4	3,3o	0,52
5	1	0,oo	5	1,oo	0,oo

Promena broja tokova po kategorijama za drenažni sistem Male reke i njegovo teorijsko, ravnotežno stanje, grafički je prikazana dvojako. Slika 38 daje promenu u normalnom koordinatnom sistemu. Za ravnotežno stanje formira se pravilna parabola, dok je za realni sistem ova parabola u izvesnoj meri deformisana.



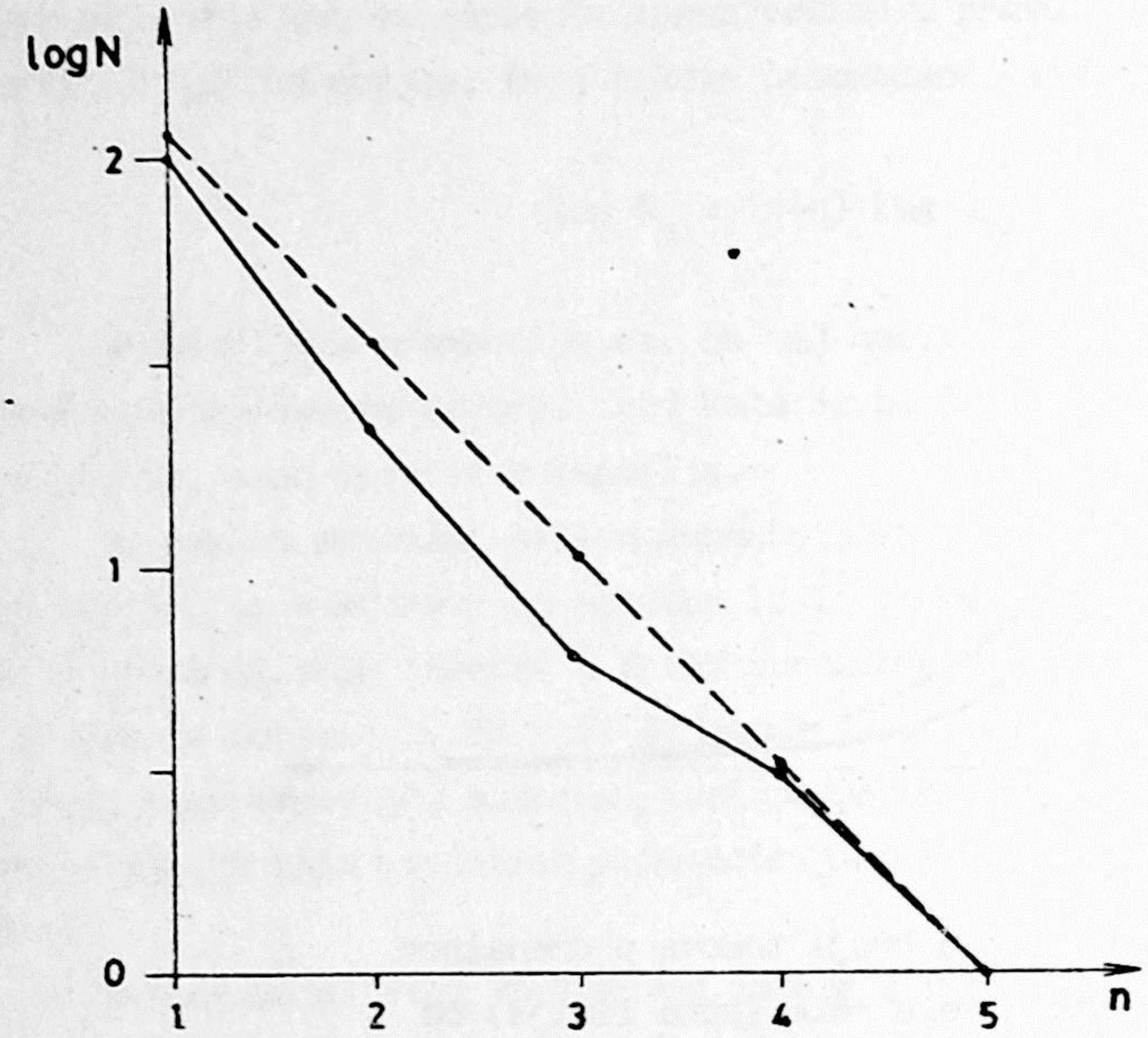
Slika 38. Odstupanje broja tokova u drenažnom sistemu Male reke (puna linija) od geometrijske progresije ravnotežnog stanja (isprekidana linija).

Odstupanja su očiglednija kada se parabola prevede u pravu prostim logaritmovanjem vrednosti broja tokova, izbrojanih, odnosno sračunatih po obrascu 2 (slika 39).

Odstupanje od ravnotežnog stanja menja se sa promenom kategorije drenažnog sistema Male reke. U pitanju je, po svemu sudeći, sistem koji se razvija na neotektonski aktivnom području. Niže kategorije su, statistički posmatrano, razvijene na području koje pokazuje drugačiji znak kretanja od područja razvoja viših kategorija.

Neophodno je, medjutim, podvući da uzeti primer služi samo za ilustraciju postupka. Područje je isuviše malo, a jedan posmatrani sistem nikako ne pruža dovoljno podataka za pouzdanu interpretaciju.

Vodotok najviše kategorije, u datom slučaju pete, mora se isključiti iz interpretacije. Pri konstrukciji dijagrama za ravnotežno stanje, shodno zakonu broja tokova, uvek se uzima da je broj tokova ove najviše kategorije jednak i za realno i za ravnotežno stanje, tj. da je ravan jedinici.



Slika 39. Odstupanje broja tokova drenažnog sistema Male reke (puna linija) od geometrijske progresije ravnotežnog stanja (isprekidana linija) prikazano na semilogaritamskom dijagramu.

(6.5.) Zakon dužina tokova

Dužine tokova različitih kategorija u jednom drenažnom sistemu takodje pokazuju zakonite odnose. Na osnovu njih definiše se drugi Hortonov zakon, ili zakon dužina tokova. On glasi: Prosečne dužine tokova sukcesivnih kategorija u jednom drenažnom sistemu teže da formiraju geometrijsku progresiju koja počinje prosečnom dužinom toka najniže kategorije i raste saglasno indeksu dužina.

Kod teorijskog drenažnog sistema, razvijenog u idealnim uslovima geološki homogene sredine i bez ikakvih tektonskih pokreta, dužine svih tokova iste kategorije bile bi medjusobno jednake. One bi, kao

što je bio slučaj sa brojem tokova, formirale pravilan geometrijski niz (progresiju). Ako bi, na primer, dužina toka prve kategorije iznosila 5oo metara, a indeks dužina bio 3, za sistem sa 5 kategorija geometrijski niz dužina bi iznosio 5oo - 15oo - 45oo - 135oo - 4o5oo metara.

Kriva geometrijske progresije zakona dužina tokova se sračunava po obrascu:

$$L_n = L_1 \, I_L^{n-1} \quad \ldots\ldots\ldots (1.)$$

gde je

L - Prosečna dužina toka odredjene kategorije.

n - Posmatrana kategorija.

L_1 - Prosečna dužina toka najniže kategorije.

I_L - Indeks dužina.

Da bi se kriva geometrijske progresije, koja ima oblik parabole, prevela u pravu vrši se logaritmovanje, pa je:

$$\log L_n = \log (L_1 \, I_L^{n-1})$$

odakle sledi:

$$\log L_n = \log L_1 + (n-1) \log I_L \ldots\ldots (2.)$$

Ovako definisana kriva konstruiše se u semilogaritamskom koordinatnom sistemu, kod koga se po ordinati menja vrednost logaritma prosečne dužine toka, a po apscisi kategorija.

Za realni drenažni sistem geometrijska progresija se sračunava po obrascu 1. Kao indeks dužina uzima se srednja vrednost svih indeksa u posmatranom drenažnom sistemu. Grafičko ispitivanje odstupanja od idealnih uslova obavlja se konstrukcijom dijagrama po obrascu 2.

Realni sistem će pokazivati odstupanja od pravilne geometrijske progresije predstavljene pravom na semilogaritamskom dijagramu. Odstupanja će biti utoliko veća ukoliko je snažnija najmladja endogena aktivnost terena na kome je sistem razvijen. Kako je konstatovano kod indeksa dužina tokova, pri pojačanoj eroziji javlja se skraćenje tokova, te odstupanja imaju negativan znak. Kod pojačane akumulacije javlja se

povećanje dužina i odstupanja od ravnotežnog stanja imaju pozitivne vrednosti.

(6.6.) Analiza dužina tokova

Utvrdjene zakonitosti dužina tokova pružaju mogućnost razrade praktičnog postupka kvantitativne geomorfološke analize. Saglasno drugom Hortonovom zakonu svi tokovi iste kategorije za sistem u ravnotežnom stanju moraju imati jednaku dužinu. Pozitivno ili negativno odstupanje od teorijske vrednosti rezultat je dejstva endogenih pokreta.

Postupak analize obuhvata sistematsko merenje dužina tokova odredjene kategorije. Izmerene vrednosti se porede sa dužinom koju bi tokovi imali u idealnim uslovima tektonskog mirovanja terena. Predstavljanje anomalija izolinijama omogućava lociranje najmladjih tektonski aktivnih struktura i utvrdjivanje znaka i intenziteta pokreta.

Prvi korak u analizi predstavlja kategorizacija tokova. Ona se obavlja po iznetim principima Strahler-ove sheme. Nakon toga sledi izbor kategorije čije će se dužine ispitivati. Izbor zavisi od razmere karte u kojoj se radi i željene tačnosti, odnosno gustine podataka.

Najveći broj podataka, svakako, nudi najniža, prva kategorija tokova. U krupnim razmerama ovi podaci su, medjutim, najmanje pouzdani. Prvu kategoriju tu, po pravilu, predstavljaju proluvijalni oblici. Uticaj endogenih faktora kod njih je najmanje izražen. On je u velikoj meri maskiran egzogenim uticajima.

Odraz endogenih faktora na dužine tokova dolazi do izražaja kod viših kategorija. Broj njihovih tokova je, medjutim, veoma mali. Podaci su retki, interpolacija nepouzdana i dobijene izolinije ne mogu biti reprezentativne za ispitivane karakteristike terena. Rešenje se stoga najčešće traži u okviru druge, eventualno treće kategorije tokova.

Tokovi izabrane kategorije se potenciraju, obično bojom, na pausu postavljenom preko topografske karte. Za svaki tok posebno meri se dužina. S obzirom na njene milimetarske do centimetarske vrednosti u razmeri karte za merenje se ne preporučuje upotreba kurvimetra. Daleko jednostavniji i tačniji postupak je praćenje toka komadom hartije. Hartija se pomera uz mereni tok i na njoj kumulira merena dužina. Ukupna

izmerena dužina vodotoka upisuje se na njegovoj sredini.

Anomalija se izračunava kao odstupanje merene dužine vodotoka od teorijske dužine za tu kategoriju. Teorijska dužina se dobija kao srednja dužina vodotoka ispitivane kategorije:

$$a_l = l - \frac{\Sigma l_n}{N_n}$$

gde je

l - Merena dužina posmatranog vodotoka.

N - Broj tokova odredjene kategorije.

n - Posmatrana kategorija.

Vrednosti anomalija, pozitivne ili negativne, upisuju sa na karti na sredinama vodotoka, bojom različitom od izmerene vrednosti dužine. Dalje sledi formalna interpolacija i izvlačenje izolinija anomalija dužina.

Uticaj geoloških inhomogeniteta terena na kome je razvijena analizirana drenažna mreža eliminiše se izravnavanjem karte izolinija anomalija dužina tokova. Preko karte se postavlja jedinična mreža i po njenim uglovima očitaju sa karte vrednosti anomalija. Trend anomalije se sračunava metodom tekućih srednjih vrednosti. Na bazi dobijenih podataka izvlače se izolinije prvog trenda anomalija dužina tokova.

Interpretacija karte prvog trenda anomalije je jednostavna. Područja najvećih negativnih vrednosti anomalije, dakle područja skraćenja dužina, odgovaraju pojačanoj eroziji. To su lokacije neotektonski aktivnih struktura, ili, u opštem slučaju, područja relativnog izdizanja terena.

Pozitivne vrednosti anomalija odgovaraju pojačanoj akumulaciji. One su locirane u centralnim delovima relativno izdizanih, ili spuštanih blokova. U opštem slučaju maksimumi pozitivne anomalije ukazuju na područja relativnog neotektonskog tonjenja terena.

Postupak analize dužine tokova ima regionalni karakter. Primenljiv je i daje vrlo dobre rezultate na površinama od više stotina, ili hiljada kvadratnih kilometara. Primenjuje se uspešno za preliminarno utvrdjivanje položaja pozitivnih struktura u istraživanju nafte, gde prethodi geofizičkim ispitivanjima. Na malim površinama, kilometarskog

do dekakilometarskog reda veličina, postupak nije pouzdan. Njegova primena u takvim slučajevima može dovesti do krupnih zabluda.

(7) Analiza orijentacije

Razvoj pojedinačnih oblika i reljefa u celini zavisi od dejstva sila, geološke gradje stenske mase na koju sile deluju i vremena u kome se proces razvija. Položaj oblika u prostoru stoga nije slučajan i proizvoljan. On je, kao pravilo, uslovljen geološkom gradjom, prvenstveno sklopom terena. Analiza orijentacije oblika najčešće znači i odredjivanje položaja pojedinih elemenata sklopa ispitivanog terena.

Za analizu orijentacije najpogodniji su linearni oblici kod kojih je dimenzija dužine jako potencirana u odnosu na širinu i visinu, odn. dubinu. Izraziti takav primer je vodotok i drenažna mreža u celini. Pošavši od činjenice da postoji skoro univerzalni tektonski uticaj na najveći deo kontinentalne drenaže (Melton F., 1959.) može se smatrati da utvrdjivanje povlašćenog pravca drenaže znači i utvrdjivanje povlašćenog pravca rupturnih struktura na ispitivanom terenu.

Ništa manje značajna nisu ispitivanja orijentacije površinskih kraških oblika, pre svega vrtača. Uporedna analiza orijentacije ovih oblika i položaja plikativnih i rupturnih elemenata sklopa, klasifikovanih po genezi i kinematici, može otkriti zakonitosti razvoja kraškog procesa i njegovu uslovljenost sklopom. Dobijeni podaci pružaju osnov za prognoziranje položaja podzemnog kraškog reljefa (Petrović B., Marković M., 1981.).

Osnovni zadatak analize orijentacije jeste da utvrdi koji je položaj ispitivanog oblika najčešći. Položaj oblika u ravni definisan je njegovim azimutom. Azimut je horizontalni ugao, meren u smislu kretanja kazaljke na satu, od pravca severa do najduže ose posmatranog oblika. Kako se meri pravac, a ne smer oblika, azimut ima vrednosti od 0^{o} do 180^{o}.

Merenje orijentacije oblika najčešće se izvodi sa tačnošću od 10^{o}. Ispitivani oblici se na taj način grupišu po svom položaju u 18 klasa. U prvu spadaju oni, čiji azimut pravca iznosi 0^{o} - 10^{o}, odnosno

180° - 190°, u drugu oblici sa azimutom 10° - 20° (190° - 200°) i dalje redom, do klase 18, u koju se svrstavaju oblici čiji azimut pravca iznosi 170° - 180° (350° - 0°). Ako mereni azimut ima tačno graničnu vrednost dve klase, podatak se svrstava u višu klasu. Oblik čiji je azimut pravca na primer 10°, svsrtava se u drugu klasu. Tačnost merenja, odnosno raspon klasa, može se povećavati, ili smanjivati, već prema potrebama istraživanja.

Elementarni problem analize orijentacije oblika predstavlja izjednačavanje merenih vrednosti po značaju. Kod analize drenažne mreže jedan podatak se dobija merenjem azimuta glavnog vodotoka, koji ima, na primer šestu kategoriju i dužinu od desetinu kilometara. Sasvim drugu vrednost ima merenje azimuta poslednje pritoke, koja spada u prvu kategoriju i ima hektometarsku dužinu. Ovi podaci se medjusobno ne mogu izjednačiti. Njihova srednja vrednost nikako ne bi bila reprezentativna za orijentaciju analiziranog drenažnog sistema.

Postupak izjednačavanja podataka po vrednosti u matematici je poznat kao ponderisanje. Pri analizi orijentacije drenaže ponderisanje se može izvesti na više načina. Jedna od mogućnosti je da se merenja azimuta obave za svaku kategoriju posebno. Ponder za medjusobno poredjenje podataka različitih kategorija predstavlja prosečna dužina toka odredjene kategorije. Ona se sračunava po obrascu prikazanom kod zakona dužina tokova. Broj merenja po klasama u okviru jedne kategorije množi se prosečnom dužinom toka te kategorije. Ovako medjusobno izjednačeni podaci dalje se mogu zajedno statistički obradjivati. Postupak predpostavlja prethodno obavljenu kategorizaciju tokova i sračunavanje dužina.

Jednostavniju varijantu predstavlja podela svih tokova drenažnog sistema na jedinične dužine. Kao jedinična uzima se dužina najkraćeg toka u sistemu. Taj tok u razmeri karte obično nije kraći od 1 cm. Manje dužine ne dozvoljavaju pouzdano merenje azimuta, te se apstrahuju. Za svaku jediničnu dužinu obavlja se posebno merenje azimuta. Tako se, na primer, na glavnom vodotoku dužine od 5,5 km obavlja 22 merenja azimuta, prema jednom merenju na poslednjoj pritoci dužine 25o m, koja je uzeta kao jedinična. Jedinična dužina u ovom slučaju uspešno obavlja ulogu pondera.

Merenja orijentacije vrtača ponderišu se njihovom elongacijom (izduženjem). Koefeicijent elongacije (e) sračunava se kao količnik najduže (a) i najkraće ose vrtače (b):

$$e = \frac{a}{b}$$

Položaj osa vrtača i njihove dužine mnogo se lakše utvrdjuju na aerosnimcima nego na topografskoj karti. Svako merenje azimuta množi se sa koeficijentom elongacije. Na taj način merenje na uskoj, izduženoj vrtači sa koeficijentom elongacije napr. 26 vredi koliko 18 merenja na na vrtači približno jednake širine i dužine, kod koje je koeficijent elongacije napr. 1,45.

Na identičan način može se meriti i orijentacija najmladjih struktura utvrdjenih položajem izolinija odredjenog morfometrijskog parametra. Za zatvorene izolinije utvrdjuje se koeficijent elongacije i broj merenja umnožava njegovom vrednošću. Ukoliko su izolinije otvorene njihova orijentacija se meri sistemom jediničnih dužina, kao što je bio slučaj kod merenja orijentacije drenaže.

Zbir merenja po pojedinačnim klasama orijentacije, umnožen izabranim ponderom, obično se izražava procentom svih obavljenih, ponderisanih merenja. Utvrdjivanje povlašćenog pravca orijentacije obavlja se grafički, konstrukcijom histograma, poligona frekvence, rozete orijentacije, ili prstenastog dijagrama. Svaki od ovih dijagrama pokazuje učestalost pojave jednog pravca orijentacije u posmatranom području.

Histogram i poligon frekvence se konstruišu u pravouglom koordinatnom sistemu. Po ordinati se menja frekvenca, učestalost pojave izražena procentom od ukupne sume merenja. Po apscisi se menja azimut po izabranim klasama orijentacije.

Rozeta i prstenasti dijagram su konstruisani u polarnom koordinatnom sistemu. Kod rozete se po obodu kruga menja azimut orijentacije, a po poluprečniku frekvenca, odn. procenat od ukupne sume merenja. Na ovakvom dijagramu povlašćeni pravci i njihov planarni položaj postaju očigledni.

Kod prstenastog dijagrama se po obodu kruga menja azimut orijentacije. Frekvenca merenja se daje po prstenu, uz spoljni obod kruga.

Kombinovan sa Šmitovim dijagramom ovakav dijagram daje mogućnost direktnog poredjenja planarnog položaja oblika (orijentacija) sa prostornim položajem sklopa terena (elementi pada). Kod analize orijentacije kraških oblika prstenasti dijagrami su nezamenljivi.

Analiza orijentacije oblika ima izrazito statistički karakter. Kao takva ona daje pouzdane podatke tek kada se operiše sa velikim brojem merenja. Izvedena na maloj površini i sa malim brojem merenja može dovesti do potpuno pogrešnih shvatanja i zaključaka.

4. VERODOSTOJNOST PODATAKA MORFOMETRIJSKIH ISPITIVANJA

Morfometrijska ispitivanja se zasnivaju na sistematskom merenju odredjenog fenomena, statističkoj obradi dobijenih podataka i interpretaciji rezultata. Princip se može uporediti sa geofizičkim istraživanjima. Tu se, takodje, sistematski meri odredjena pojava, najčešće uticaj energetskog polja. Podaci se statistički obradjuju. Rezultati se prikazuju izolinijama i geološki interpretiraju.

Primena različitih postupaka kvantitativne geomorfološke analize omogućuje proveru ispravnosti interpretacije. Višestruko poklapanje dobijenih rezultata isključuje mogućnost slučajnih pojava. Odavde bi trebalo da sledi zaključak da su podaci koje daju morfometrijska ispitivanja verodostojni. Izvedene interpretacije trebalo bi stoga da predstavljaju pouzdane koncepcije o svojstvima istraživanog terena.

Pre iznošenja, a pogotovo pre prihvatanja ovakvog zaključka, treba, medjutim, kritički razmotriti izvesne činjenice od bitnog značaja za primenu kvantitativne geomorfološke analize.

Svi morfometrijski postupci imaju izraziti kabinetski karakter. Parametri ispitivanog svojstva terena biraju se i mere na bazi topografske karte. Ovome bi morala da prethodi detaljna kvalitativna geomorfološka analiza. Ona se izvodi proučavanjem satelitskih snimaka, stereoskopskom analizom aerosnimaka, proučavanjem topografskog materijala i, pre svega, terenskim osmatranjima. Tek dobro poznavanje geomorfoloških odnosa u re-

ljefu ispitivane oblasti i njegove morfološke evolucije obezbedjuje ispravan izbor parametara za kvantitativnu geomorfološku analizu. Morfometrijski postupak sa parametrom koji ne odražava, ili tek u maloj meri odražava ispitivano svojstvo terena, nužno vodi do zabluda, bez obzira koliko je sam postupak bio korektno izveden.

I najbolje izabrani parametar odražava, pored ispitivanog fenomena, i niz drugih specifičnosti proučavanog reljefa. Uticaj takvih faktora kao što su geološka gradja i osobenosti razvoja geomorfoloških procesa, ne mogu se sagledati sa topografske karte. Čak i njihovo dobro poznavanje ne omogućava potpunu eliminaciju njihovog uticaja.

Svi postupci kvantitativne geomorfološke analize imaju naglašeni statistički karakter. Kao takvi, pouzdani su samo kada se izvode na većim površinama, odnosno kada operišu sa velikim brojem podataka. Detalji reljefa i mali broj podataka daju vrednosti koje ne moraju biti, a po pravilu i nisu, reprezentativne za fenomen koji se proučava.

Statistički karakter postupaka zahteva odredjene generalizacije reljefa. I u slučajevima kada se analiza obavlja putem elektronskih računara, a pogotovu kada se vrši prosta, "manuelna" obrada, parametri se uzimaju po odredjenoj mreži tačaka. Podaci izmedju tačaka se interpoluju. Dobijeni rezultati stoga daju dovoljno pouzdanu opštu sliku ispitivane pojave. U detaljima se, medjutim, ova slika može dosta razlikovati od stvarnih odnosa u području koje prikazuje.

Ograničenja se naročito javljaju kod interpretacije podataka dobijenih morfometrijskom analizom. Brojčano izražene vrednosti morfometrijskih parametara nisu jednake iznosima erozije i akumulacije, odnosno iznosima vertikalnih neotektonskih pokreta. Vrednosti parametara su samo, u manjoj ili većoj meri, proporcionalne efektima proučavanih fenomena. Kvantitativno izražene razlike vrednosti odredjenog parametra moraju imati prvenstveno kvalitativni značaj u interpretaciji. One pokazuju razlike u efektima, ali ne i njihove iznose.

Položaj, znak i vrednost izolinija ispitivanog parametra može ukazivati na lokaciju geološke strukture, intenzitet i znak njenog pokreta. Izolinija se, medjutim, nikako ne sme tretirati kao stratoizohipsa, ili granica geološke strukture. Izolinije se dobijaju formalnom interpolacijom. Promenom slobodno izabrane ekvidistance menja se i položaj izolinije.

Interpretacija rezultata kvantitativne geomorfološke analize zasnovana samo na položaju, znaku i vrednostima izolinija odredjenog parametra ima isključivo formalni karakter. Ona često može dovesti do krupnih grešaka, pa i do tumačenja potpuno suprotnih stvarnim odnosima na ispitivanom terenu. Interpretacija se stoga mora izvoditi uz uvažavanje svih specifičnosti proučavanog područja. Najjednostavnije je poredjenje karte morfometrijskih izolinija sa geološkom kartom ispitivanog područja. Stepen geološkog znanja interpretatora tu može imati odlučuju ulogu.

Poznavanje navedenih ograničenja morfometrijskog postupka je neophodno. Formalna interpretacija i mehaničko tumačenje kvantitativnih odnosa mogu stvoriti sasvim pogrešnu sliku i time dovesti pod sumnju i vrednost metoda kvantitativne geomorfološke analize uopšte.

Posmatrana u svetlu svih iznetih činjenica, kvantitativna geomorfološka analiza kao istraživački metod dobija odredjenije konture. Ona predstavlja vanredno pogodan postupak za stvaranje hipoteze. Hipoteza, medjutim, podleže proveri, korekciji i dopuni rezultatima drugih istraživanja.

Pojedini morfometrijski postupci medjusobno se proveravaju i dopunjavaju. Podaci koje pruža kvantitativna geomorfološka analiza mogu biti višeznačni. Oni nisu apsolutno verodostojni i sverešavajući. Ovako shvaćeni oni, medjutim, predstavljaju dragocenu pomoć. Morfometrijski dobijeni rezultati mogu činiti upravo onu bitnu kariku koja nedostaje u lancu istraživanja jednog terena. Kvantitativna geomorfološka analiza na taj način dobija svoje mesto ravnopravnog člana medju metodima geološkog istraživanja.

L I T E R A T U R A

1. Aristarhova L.B., Polkanova L.P., Šubina N.G. (197o.): Karti morfoizogips.
   Sbornik "Primenenie geomorfologičeskih metodov v strukturno-geologičeskih issledovanijah". Izdatelstvo Nedra, Moskva.

2. Chorley R.J., editor (1972.): Spatial Analysis in Geomorphology.
   Methuen & Co., Ltd.London.

3. Cooke R.U., Doornkamp J.C. (1974.): Geomorphology in Environmental Management.
   Clarendon Press, Oxford.

4. Crickmay C.H. (1974.): The work of the river.
   The Macmillan Press, Ltd. London.

5. Doornkamp J.C., King C.A.M. (1971.): Numerical Analysis in Geomorphology.
   E.Arnold Publ., Ltd. London.

6. Gregory K.J., Walling D.E. (1973.): Drainage Basin. Form and Process.
   E. Arnold Publ., Ltd. London.

7. Hagget P., Chorley R.J. (1969.): Network Analysis in Geomorphology.
   E.Arnold Publish., Ltd., London.

8. Horton R.E. (1945.): Erosional developments of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology.
   Bulletin of American Geological Society, v.56.

9. Ivanov P.V. (1951.): Metod količestvennoj harakteristiki formi prodoljnogo profilja reki.
   Izdatelstvo VGO, t.83,vip.6.

lo. King C.A.M. (1966.): Techniques in Geomorphology.
   E.Arnold Publ., Ltd. London.

11. Leopold L.B., Wolman M.G., Miller J.P. (1964): Fluvial Processes in Geomorphology.
   W.H.Freeman & Co. San Francisco.

12. Marković M. (1973.): Geomorfološka evolucija i neotektonika Orjena.
   Doktorska disertacija. Rud.geološki fakultet, Beograd.

13. Marković M., Petrović B., Komarnicki S. (1974): Odnos sklopa i neotektonskih pokreta u širem području planine Čemernik.
   Osmi jugoslovenski geološki kongres, Bled. Knjiga 3, Ljubljana.

14. Melton A.F. (1959.): Aerial photographs and structural geomorphology.
   The journal of geology, v.67(4).

15. Meščerjakov Ju.A. (1965.): Strukturnaja geomorfologija ravninnih stran.
   Izdatelstvo Nauka, Moskva.

16. Petrović B., Marković M. (1981.): Veza prostorne orijentacije kraških oblika i tektonskog sklopa.
Bilten "Naš krš", br. 1o-11.Sarajevo.

17. PotterP.E., Pettijohn F.J. (1963.): Paleocurrents and Basin Analysis.
Academic Press, inc., New York.

18. Scheidegger A.E. (1965.): The algebra of stream- order numbers.
U.S.Geological Survey Professional Paper, 525-B.

19. Scheidegger A.E. (197o.): Theoretical Geomorphology.
Springer-Verlag. New York.

2o. Shreve R.L. (1967.): Infinite topologically random channel networks.
The journal of geology, 75 (2).

21. Setunskaja L.E. (197o.): Karti uklonov gidroseti.
Sbornik "Primenenie geomorfologičeskih metodov v strukturno-geologičeskih issledovanijah". Izdatelstvo Nedra. Moskva.

22. Strahler A.N. (1952.): Hypsometric (area - altitude) analysis of erosional topography.
Bulletin of Geological Society of America, 63.

23. Strahler A.N. (1957.): Quantitative analysis of watershed geomorphology.
American Geophysicsts Union Trans., v.38.

24. Volkov N.G. (197o.): Karti izodef.
Sbornik "Primenenie geomorfologičeskih metodov v strukturno-geologičeskih issledovanijah". Izd. Nedra. Moskva.

25. Wooldridge S.W., Morgan R.S. (1959.): An outline of geomorphology.
Longmans, London.

III DEO

GEOMORFOLOŠKO KARTIRANJE

1. UVOD

Klasična geomorfološka osmatranja i deskripcioni prikaz njihovih rezultata ne zadovoljavaju sve veće potrebe različitih disciplina čija je delatnost vezana za površinu zemlje. Razvoj geoloških istraživanja, kao što su geološko kartiranje terena pokrivenih kvartarnim nanosima, inženjerskogeološka i hidrogeološka ispitivanja, istraživanja ležišta mineralnih sirovina, problemi proučavanja neotektonike i t.d., ističu potrebu sistematskog i kompleksnog proučavanja geomorfoloških odnosa i njihovog grafičkog prikaza. Ovakve potrebe se javljaju i u šumarstvu, pedologiji, gradjevinarstvu, vojnim naukama i slično.

Pokušaji da se geomorfološki odnosi na jednom području prikažu grafički mogu se vezati za najranija geomorfološka istraživanja. Prva geomorfološka karta javila se relativno odavno (Passarge S., 1914.). Od tog vremena do danas dosta je učinjeno u geomorfološkom kartira - nju. Mnogobrojne zemlje imaju uradjene geomorfološke karte za celu nacionalnu teritoriju, ili za njene pojedine delove. Svakodnevno se pojavljuju nove geomorfološke karte. One se, medjutim, po svojoj koncepciji medjusobno znatno razlikuju.

Literatura o geomorfološkom kartiranju je veoma brojna. Izmedju ostalog uradjeno je i publikovano više uputstava i legendi za izradu geomorfoloških karata različitih razmera. Čine se pokušaji da ovakve legende dobiju internacionalni karakter. Jedan od najznačajnijih poduhvata je "Projekt jedinstvenog ključa za detaljnu geomorfološku kartu sveta" (IGU, 1968.).

Pored svih nastojanja, ipak danas još uvek ne postoji opšte prihvaćena definicija geomorfološke karte koja bi precizirala sadržaj i način prikaza pojedinih elemenata. Razumljivo je onda da postoje i krupna razmimoilaženja u pogledu metodike izrade geomorfološke karte.

Postoje višestruki razlozi što geomorfologija u pogledu izrade karata veoma zaostaje za srodnim disciplinama, u prvom redu za geologijom. Osnovni, svakako, treba tražiti u unutrašnjoj složenosti uzročnih

mehanizama geomorfoloških pojava. Pri geomorfološkom kartiranju treba sagledati uslovljenost nastanka, evolucije i izmene geomorfoloških procesa i oblika geološkim procesima i pojavama. Ovo zahteva od istraživača vrlo široku erudiciju iz disciplina nauka o zemlji. Sa druge strane, na geomorfološkoj karti treba predstaviti više medjusobno kauzalno povezanih elemenata nego što je to slučaj na geološkoj karti. Grafički prikaz samo nekih od ovih elemenata, ili jednog jedinog, je jednostavan. Tako se, na primer, posebno mogu prikazati oblici reljefa, geneza, morfometrijski odnosi, apsolutna ili relativna starost oblika, njihova zavisnost od litološkog sastava ili sklopa terena i t.d. Ovakav način predstavlja, medjutim, jednostrano osvetljavanje geomorfoloških odnosa ("posebne geomorfološke karte", Spiridonov A.I., 197o.) i ne može ispuniti zahteve koji se postavljaju pred geomorfološku kartu.

Problem geomorfološkog kartiranja, koje bi u potpunosti utvrdilo i grafički predstavilo geomorfološke odnose na jednom terenu, ima dva aspekta. Jedno od ključnih pitanja čini sadržaj geomorfološke karte. Izbor elemenata koji uslovljavaju i odražavaju reljef jedne oblasti čini suštinu kartiranja.

Drugi, ne manje važan aspekt problema kartiranja jeste način grafičkog predstavljanja utvrdjenih elemenata. Svaka, te i geomorfološka karta nalazi svoj smisao u praktičnoj primeni. Da bi jedna karta imala praktičnu vrednost ona mora biti jednostavna, lako čitljiva, bez upotrebe pomoćnih sredstava i mnogih objašnjenja. Na geomorfološkoj karti javlja se, dakle, problem jednostavnog i jasnog istovremenog predstavljanja više različitih kategorija podataka.

Osnovni problemi geomorfološkog kartiranja rešavani su u različitim sredinama na različite načine. Jedinstveno rešenje, koje bi zadovoljilo sve yeće potrebe za geomorfološkom kartom, još uvek, medjutim, ne postoji.

Intenzivni razvoj geomorfološkog kartiranja u Evropi je vezan za poslednje tri decenije. Vodeću ulogu pri tome je imala Poljska. Medjunarodna uputstva i legende za geomorfološku kartu različitih razmera javljaju se tokom poslednjih dvadesetak godina (IGU, 1968., Demek J., 1972., Demek J., Embleton C., 1976.).

Razvoj geomorfološkog kartiranja u našoj zemlji vezuje se, ta-

kodje, za poslednje dve decenije. Pionirsku ulogu svojim radovima odigrali su Gams I.(1968.a., 1968.b.), Marković M. (1973.b., 1976.a, 1976.b.), Zeremski M. (1976.), Gams I., Natek K. (1981.) i Menković Lj., Košćal M. (1980., 1981., 1982., 1983.).

2. DEFINICIJA GEOMORFOLOŠKE KARTE

Sumirajući iskustva i shvatanja brojnih autora može se predložiti opšta definicija geomorfološke karte: Geomorfološka karta predstavlja grafički prikaz geomorfoloških odnosa na jednom delu zemljine površine. Na topografskoj osnovi utvrdjenim znacima, simbolima, šrafurama i bojama prikazuju se veza reljefa sa geološkom gradjom, oblici reljefa, njihova geneza i evolucija i njihovi veličinski parametri (Marković M., 1973.).

Data definicija se bazira pre svega na predlozima medjunarodnih uputstava i legendi za izradu geomorfoloških karata različitih razmera. Ona precizira i elemente sadržaja i način njihovog grafičkog predstavljanja.

Ovako definisana geomorfološka karta mora da predstavlja sintezu svih znanja o morfološkim odnosima proučavane obalsti. Ona objedinjuje rezultate kompleksne geomorfološke analize, kako kvalitativnih, tako i kvantitativnih ispitivanja terena. Sam postupak geomorfološkog kartiranja postaje na taj način osnovni postupak kompleksne geomorfološke analize.

Definicija odredjuje i koncepciju geomorfološke karte. Karta se radi na genetskom principu. Oblici i pojave se svrstavaju prema procesu u kome su nastali. Shemu klasifikacije utvrdjuje odgovarajuće uputstvo, odnosno legenda za geomorfološku kartu date razmere.

3. SADRŽAJ GEOMORFOLOŠKE KARTE

Sadržaj geomorfološke karte proističe iz predloga definicije. Da bi geomorfološka karta uspešno odrazila svojstva i odnose reljefa jedne oblasti ona mora sadržati pet kategorija podataka. To su podaci o geološkoj gradji terena, zatim morfogenetski, morfografski, morfometrijski i morfohronološki podaci.

Oblici i značaj pojedinih kategorija podataka u sadržaju geomorfološke karte variraju zavisno od razmere u kojoj se karta prikazuje. Kod preglednih karata, razmere 1:2oo.ooo i sitnije, kakve se pretežno izradjuju u SSSR-u, do izražaja dolaze endogeni, morfostrukturni oblici. Na detaljnim kartama krupne razmere, na primer 1:25.ooo do 1:1oo.ooo, endogeni oblici su zbog svojih dimenzija podredjeni egzogenim, morfoskulpturnim procesima i oblicima.

(1) Podaci o geološkoj gradji terena

Geološka gradja terena odredjuje karakteristike materijala u kome se razvija reljef. Odredba geološke gradje obuhvata litološki sastav, prostorne odnose ili sklop i hronološke odnose, odnosno starost stenske mase. Za razvoj reljefa, koji je znatno mladji od stenske mase u kojoj se obrazuje, hronološki odnosi nisu od bitnog značaja. Podaci o geološkoj gradji kod geomorfološkog kartiranja se sužavaju na litološki sastav i sklop..

Geološka gradja terena daje geološki kontekst u kome se reljef razvija. Prostorni položaj oblika i njihovi medjusobni odnosi po pravilu su uslovljeni sklopom. Intenzitet razvoja procesa, te time i formiranje i karakteristike oblika, u znatnoj meri su uslovljeni otpornošću na eroziju, tj. litološkim sastavom stenske mase.

U sadržaj geomorfološke karte unose se samo oni podaci o geološkoj gradji koji su bitni za razvoj reljefa. Da bi se istakli elemen-

ti sastava i sklopa terena koji se direktno odražavaju u reljefu potrebne su značajne modifikacije uobičajenih litoloških i strukturnih podela.

Uputstvo za izradu tematske geološke karte (RSIZ za GI SRS, 1978.) predvidja izradu posebne, geomorfološke karte u razmeri 1:25.ooo do 1:loo.ooo. Prema ovom uputstvu od podataka o geološkoj gradji se prikazuje:

Litološki sastav:

- Sedimentne stene
  - Nevezani sedimenti
  - Vezani sedimenti
    - Fini klastiti
    - Grubi klastiti
    - Karbonati
    - Silikati
- Magmatske stene
  - Ekstruzivne stene
  - Intruzivne kisele i neutralne stene
  - Ultramafiti
- Metamorfne stene
  - Gnajsevi i škriljci
  - Mermeri

Sklop terena

- Rupturni elementi
  - Rupture
  - Rupture sa padom
  - Vertikalni rased
  - Rased sa horizontalnim kretanjem
  - Relativno spušteni blok
  - Rasedna zona
  - Navlaka ili kraljušt
- Plikativni elementi
  - Horizontalni slojevi
  - Vertikalni slojevi
  - Slojevi sa padom
  - Osa sinklinale
  - Osa antiklinale
  - Horizontalna folijacija
  - Vertikalna folijacija
  - Folijacija sa padom

Prema uputstvu za izradu pregledne geomorfološke karte SFRJ 1:5oo.ooo (Gams I. i drugi, 1981.) izdvajaju se sledeći podaci o geološkoj gradji:

Litološki sastav:

- Sedimentne stene
  - Nevezani sedimenti
    - Prašina (les)
    - Blato i mulj
    - Pesak i šljunak
    - Grubi detritus
  - Vezani sedimenti
    - Fini klastiti (glinci i slično)
    - Grubi klastiti (peščari, konglomerati)
    - Rastvorljivi sedimenti (karbonati i sl.)
- Magmatiti
- Metamorfiti

Sklop
- Od elemenata sklopa prikazuju se samo oni koji se neposredno odražavaju u morfologiji terena. Ovi elementi se prikazuju u okviru kategorije oblika, odn. geneze reljefa kao endogeni, tektonski oblici.

Iz iznetih primera može se sagledati generalna ideja unošenja podataka o geološkoj gradji na geomorfološku kartu. Date podele ne bi trebalo kruto shvatiti. Litološka i strukturna raščlanjavanja mogu biti i detaljnija i opštija, već prema specifičnostima kartiranog terena. Osnovni kriterijum za unošenje jednog podatka mora da ostane činjenica da li on ima bitan uticaj na razvoj reljefa, ili ne.

(2) Morfogenetski podaci

Geneza pojedinih oblika i reljefa u celini definiše se prema procesu u kome je oblik, odn. reljef nastao. Unošenje morfogenetskih podataka na geomorfološku kartu praktično znači izdvajanje tipova reljefa prema procesima nastanka. U okviru jednog genetskog tipa dalje izdvajanje se obavlja prema mehanizmu nastanka oblika (erozioni, akumulacioni i složeni oblici).

Izdvajanje genetskih tipova reljefa tesno je vezano za utvrdjivanje sheme klasifikacije. Kako je moguće postavljanje više različitih shema, to se i legende geomorfoloških karata u pogledu klasifikacije morfogenetskih podataka mogu medjusobno znatno razlikovati. Uputstva i

legende za pojedine geomorfološke karte najčešće predstavljaju kompromisna rešenja različitih shvatanja. Razumljivo da ovakva rešenja ne moraju biti, a najčešće i nisu najbolja.

Nacrt uputstva za izradu tematske geološke karte (RSIZ za GI SRS, 1978.) predvidja za geomorfološku kartu razmere 1:25.ooo do 1:1oo.ooo sledeće kategorije morfogenetskih podataka:

- Endogeni reljef
  - Tektonogeni reljef
  - Vulkanogeni reljef
- Egzogeni reljef
  - Padinski reljef
    - Deluvijalni reljef
    - Proluvijalni reljef
    - Deluvijalno-proluvijalni reljef
    - Koluvijalni reljef
    - Koluvijalno-deluvijalni reljef
  - Fluvijalni reljef
  - Kraški reljef
    - Oblici genetski vezani za rastvaranje
    - Oblici genetski vezani za fluvijalni proces na rastvorljivim stenama
  - Glacijalni reljef
    - Glacijalni i nivacioni reljef
    - Glaciofluvijalni i glaciolimnički reljef
  - Marinsko-limnički reljef
  - Eolski reljef
  - Organogeni i antropogeni reljef
    - Organogeni reljef
    - Antropogeni reljef

Do sada uradjena geomorfološka karta dela SR Srbije u razmeri 1:1oo.ooo (Menković Lj., Košćal M., 198o., 1981., 1982., 1983.) zasnovana je uglavnom na ovom uputstvu. Praksa je, naročito u terenima pokrivenim kvartarnim tvorevinama, pokazala potrebu za uvodjenjem još jedne kategorije egzogenog reljefa. To je jezersko-barski reljef.

Podela koju daje uputstvo za tematsku geološku kartu, uz navedenu dopunu, pokazala se kao veoma praktična. Ona zadovoljava zahteve terena pokrivenih kvartarnim tvorevinama, ali i terena sa tkzv. "tvrdom geologijom". Morfogenetski aspekt na ovakvoj geomorfološkoj karti dat je jednostavno i pregledno. Zamerka se može staviti na naglašeno

uprošćavanje. Ovakva legenda stoga ne bi mogla da zadovolji zahteve geomorfološkog kartiranja u krupnoj razmeri, napr. 1:1o.ooo i krupnije. Isto tako, ovako izdvojeni morfogenetski podaci ispunjavaju zahteve opšte namene geomorfološke karte. Oni prikazuju vrste i razvića pojedinih geoloških i geomorfoloških procesa na terenu. Geomorfološka karta, koja bi trebalo da posluži kao osnov za izradu karata sa posebnom praktičnom namenom (kakve su napr. inženjerskogeološke karte, pedološke karte i slično), morala bi imati detaljniju morfogenetsku podelu.

Uputstvo za preglednu geomorfološku kartu SFRJ razmere 1:5oo.ooo (Gams I., i drugi, 1981.) predvidja izdvajanje sledećih genetskih tipova:

- Endogeni tip reljefa
  - Tektonski oblici
    - Oblici nabornih procesa
    - Oblici rasednih procesa
  - Neotektonski oblici
    - Oblici nabornih procesa
    - Oblici rasednih procesa
  - Vulkanski oblici
  - Pseudovulkanski oblici
  - Oblici nastali zemljotresima
- Egzogeni tip reljefa
  - Oblici stvoreni poligenetskim egzogenim procesima
  - Oblici kretanja masa
    - Erozioni oblici kretanja masa
    - Akumulativni oblici kretanja masa
  - Fluvijalni erozioni oblici
  - Fluvijalni akumulacioni oblici
  - Oblici rečne erozije i denudacije
  - Fluviokraški oblici
  - Kraški oblici
  - Glacijalni oblici
    - Oblici glacijalne erozije
    - Oblici glacijalne akumulacije
  - Nivacioni oblici
    - Erozioni nivacioni oblici
    - Akumulacioni nivacioni oblici

- Eolski oblici
    - Erozioni eolski oblici
    - Akumulacioni eolski oblici
- Oblici u lesu i lesu sličnim sedimentima
- Abrazioni oblici
    - Erozioni abrazioni oblici
    - Akumulacioni abrazioni oblici
- Antropogeni oblici

Ne ulazeći u specifičnosti sheme klasifikacije koja uslovljava i definisanje genetskih tipova reljefa, neophodno je naglasiti odredjene manjkavosti i nedoslednosti koje se javljaju kod predloga koji daje navedeno uputstvo.

U okviru endogenog reljefa izdvojeno je pet genetskih tipova. Jedan od njih, pseudovulkanski oblici, obuhvata erozione forme u ekstruzivnim stenama. Ovakvi oblici su po nastanku egzogeni i nikako se ne mogu svrstati u endogeni reljef, pogotovo ne u poseban genetski tip.

Tri posebno izdvojene kategorije endogenog reljefa mogu se svrstati u jednu. To su tektonski, neotektonski i zemljotresni oblici. Već je istaknuto pravilo da se od geoloških struktura na geomorfološkoj karti izdvajaju samo one koje imaju neposredni odraz u reljefu. Da bi struktura imala neposredni odraz u reljefu ona mora biti aktivna i u najmladjoj geološkoj istoriji. Tektonska aktivnost od vremena formiranja morfostrukture, tj. u vremenu evolucije reljefa, naziva se neotektonika. Zemljotresni oblici, nastali kao rezultat savremenih tektonskih pokreta, takodje se mogu podvesti pod ovu kategoriju. Endogeni tip reljefa može se, na taj način, svesti samo na dve kategorije oblika. Jednu čine tektonogeni, a drugu vulkanogeni oblici.

Nedoslednosti su, medjutim, još izraženije kod podele egzogenih tipova reljefa. Za većinu procesa definisan je, kako je uobičajeno, genetski tip (glacijalni, nivacioni, eolski i t.d.). U okviru genetskog tipa oblici su izdvojeni po mehanizmu nastanka (erozioni, odn. akumulacioni oblici). Kod fluvijalnog procesa odstupljeno je od ovog pravila. Fluvijalni erozioni i fluvijalni akumulacioni oblici izdvojeni su kao dva posebna genetska tipa.

Kao posebne genetske kategorije izdvojeni su oblici kretanja masa i oblici u lesu i lesu sličnim sedimentima. Prvi tip, iako terminološki neadekvatno definisan, može se generalno izjednačiti sa oblicima

koji nastaju padinskim procesima. Drugi tip definiše samo sredinu u kojoj se procesi, po genezi veoma različiti, razvijaju. On se ne može izdvojiti kao genetski tip reljefa.

U predlogu koje daje uputstvo za preglednu geomorfološku kartu SFRJ javljaju se i terminološke zabune. Tako se, na primer, izdvajaju "erozioni abrazioni oblici" i "akumulacioni abrazioni oblici". Ako se ima u vidu da je abrazija naziv za eroziju mora, odn. stajaćih voda uopšte, neadekvatnost termina je očigledna.

Odredjene greške se javljaju i u klasifikaciji oblika unutar pojedinih genetskih tipova. Rečne terase su tako svrstane u akumulacione fluvijalne oblike, iako su to po mehanizmu nastanka čisto erozioni oblici, bez obzira da li se usecanje obavlja u matičnu stenu, ili akumulacioni materijal. Drumlinsko polje je svrstano u oblike glacijalne erozije. Ovaj tipični akumulacioni oblik inlandajsa u našim terenima teško bi se, inače, i mogao naći.

Nedoslednosti i manjkavosti u predlogu uputstva za izradu pregledne geomorfološke karte SFRJ u razmeri 1:5oo.ooo ima dosta. One su razumljive s obzirom na pionirski karakter ovakvog materijala. Svako uputstvo, pa i ovo za geomorfološku kartu, proverava se i usaglašava kroz izradu karte. Izrada pregledne geomorfološke karte u nas je tek u začetku. Do završetka njene prve verzije uputstvo će svakako znatno biti modifikovano i poboljšano. Osnovni, genetski princip podele pri tome se, svakako, neće menjati.

Pregledna geomorfološka karta SFRJ težište svog morfogenetskog aspekta stavlja na egzogene procese. S obzirom na sitnu razmeru karte, 1:5oo.ooo, bilo bi logičnije da na ovakvoj karti do izražaja dodju učinci endogenih procesa i njihovi oblici - morfostrukture. Opredelenje za egzogene procese i oblike je jasno kada se ima u vidu da pregledna geomorfološka karta u nas prethodi detaljnoj, umesto da bude obrnuto.

Izabrano morfogenetsko opredelenje uslovljava i čitav niz teškoća, posebno kod prikaza reprezentativnih pojava i oblika za posmatrani genetski tip. Ovi problemi će biti detaljnije razmatrani u odgovarajućim poglavljima.

(3) Morfografski podaci

Rezultat dejstva geomorfoloških procesa su oblici reljefa. Na geomorfološkoj karti treba da budu prikazani razviće, položaj, veličina i medjusobni odnosi pojedinih oblika. Morfografija, ili opis oblika, podrazumeva i identifikaciju pripadnosti posmatranog oblika odredjenom genetskom tipu. Na taj način morfografski podaci se tesno povezuju sa prethodnom, morfogenetskom kategorijom.

Za odredjivanje pripadnosti oblika reljefa odredjenom genetskom tipu osnovu čini postavljena shema klasifikacije. Bez obzira na izabranu shemu, kod svakog geomorfološkog proučavanja, javiće se i oblici u čijem je formiranju učestvovalo istovremeno, ili se medjusobno smenjivalo, više različitih procesa. Ovi oblici se izdvajaju kao poligenetski.

Veličina i broj oblika koji se označavaju na geomorfološkoj karti uslovljeni su prvenstveno razmerom karte. Veoma važne činioce predstavljaju, takodje, značaj oblika za reljef ispitivane oblasti, kao i namena geomorfološke karte.

U principu, na geomorfološkoj karti treba izdvojiti i prikazati svaki oblik koji se u datoj razmeri može predstaviti. Postoji, medjutim, veliki broj oblika čije dimenzije ne dozvoljavaju grafičko predstavljanje. Sa druge strane, česti su slučajevi da se krupni oblici razvijaju jedan na drugom, ili uopšte na neki način preklapaju.

Samo prepoznavanje oblika i utvrdjivanje njegovih svojstava i odnosa sa okolnim reljefom, u većini slučajeva predsťavlja rutinski posao. Znatno veću teškoću čini njihovo prikazivanje.

Uputstva za izradu geomorfoloških karata koja su u nas u upotrebi (RSIZ za GI SRS, 1978., Gams I., i drugi, 1981.) predvidjaju izdvajanje većeg broja oblika unutar pojedinih genetskih tipova. Tu se mestimično javljaju i oblici koji se u našim terenima ne sreću. Ovo se naročito odnosi na uputstvo za preglednu geomorfološku kartu SFRJ, 1:5oo.ooo. Ma koliko, medjutim, jedan genetski tip u uputstvu bio detaljno raščlanjen, ne mogu se predvideti svi oblici koji se unutar njega mogu javiti. Pred autora karte stavlja se, dakle, zahtev da izvrši

selekciju najbitnijih oblika za reljef proučavane oblasti i dopuni legendu prema potrebama svoga istraživanja. Šablonsko pridržavanje uputstva, tj. pokušaj da se na geomorfološkoj karti izdvoje svi oblici koje predvidja dato uputstvo, odnosno izdvajanje samo oblika koje predvidja jedno uputstvo, nužno vodi ka smanjenju kvaliteta geomorfološke karte.

(4) Morfometrijski podaci

Morfometrijski podaci daju veličinske parametre reljefa, odnosno procesa u kome je reljef nastao. Pored osnovnih podataka koje pruža topografska osnova geomorfološke karte (širina, dužina, visina, odn. dubina pojedinih oblika) ovde spadaju svi parametri koji kvantitativno iskazuju neko geomorfološko svojstvo, kao i rezultati matematičko-statističke obrade i interpretacije ovakvih parametara. Morfometrijski podaci, u najširem smislu, obuhvataju rezultate kvantitativne geomorfološke analize.

Broj parametara koji definišu neko svojstvo procesa i oblika reljefa veoma je veliki. Još veći je broj mogućnosti njihove obrade i interpretacije. Izbor parametara i morfometrijskih postupaka koji će biti obuhvaćeni geomorfološkim kartiranjem zavisi prvenstveno od specifičnosti terena. Morfološka istorija ispitivanog područja i potreba povezivanja evolucije reljefa sa najmladjom tektonskom aktivnošću terena imaju, takodje, veoma značajnu ulogu u izboru kvantitativnog postupka.

Od morfometrijskih podataka, kao bitni parametar reljefa, u geomorfološku kartu se obavezno unosi nagib padina. Ova obaveza je naglašena za detaljne geomorfološke karte, razmere 1:loo.ooo i krupnije. Ostali parametri su ostavljeni izboru istraživača koji obavlja kartiranje.

Prilikom analize nagiba padina kartirani reljef se klasira po područjima različitog nagiba. Osnov za razvrstavanje klasa daje projekt jedinstvenog ključa za detaljnu geomorfološku kartu sveta (IGU, 1968.). Po ovom predlogu izdvajaju se sledeće klase:

Klasa	Nagib	Karakteristika
1	0^{o}- 2^{o}	Nema vidljivih tragova kretanja masa. Površinsko spiranje svedeno na minimum.
2	3^{o}- 5^{o}	Vidljive pojave kretanja. Izraženo spiranje, tečenje i kliženje tla.
3	6^{o}-15^{o}	Snažna erozija. Intenzivno spiranje i pokreti masa.
4	16^{o}-35^{o}	Veoma snažna erozija. Pojačano spiranje i odnošenje materijala.
5	36^{o}-55^{o}	Pokreti masa toliko izraženi da se akumulacioni materijal tek mestimično zadržava. Javljaju se pretežno ogoljene stenovite površine.
6	$>55^{o}$	Strmi odseci. Dominiraju kolapsiona, gravitaciona kretanja masa.

Ovakva podela, razumljivo, može imati tek orijentacioni karakter. Izdvajanje klasa nagiba i veličina njihovog raspona odredjuje se prema karakteristikama kartirane oblasti. U ravničarskim terenima raspon klasa se smanjuje (na primer: 0^{o} - 2^{o} - 5^{o} - 10^{o} - 15^{o} $>15^{o}$), a u brdovitim povećava.

Uputstvo za tematsku geološku kartu (RSIZ za GI SRS, 1978.), pored obavezne analize nagiba padina, za geomorfološko kartiranje daje izbor standardnih postupaka kvantitativne geomorfološke analize:

- Rekonstrukcija reljefa ranijih faza morfološke evolucije.
- Analiza orijentacije pojedinih elemenata reljefa i njihovo korelisanje sa položajem elemenata sklopa.
- Analiza intenziteta razvoja procesa (gustina drenaže, analiza energije reljefa i t.d.).
- Analiza neotektonske aktivnosti terena:
    - Analiza parcijalnih hidrauličkih gradijenata.
    - Analiza odstupanja uzdužnih profila vodotoka od njihovih teorijskih analogona.
    - Analiza erozionog integrala.
    - Analiza razlika teorijskog modela razvoja reljefa u vremenu i realnog stanja.

Slične postupke citira i dopunsko uputstvo za izradu osnovne geološke karte u terenima pokrivenim kvartarnim tvorevinama (SGZ, 1976.).

U okviru eksperimentalnog geomorfološkog kartiranja Gams I. i Natek K. (1981.) su izvršili detaljnu analizu nagiba padina, zatim analizu gustine grebena i analizu gustine drenaže. Ovo eksperimentalno

kartiranje je izvedeno u području Litijske kotline u SR Sloveniji.

Uputstvo za izradu pregledne geomorfološke karte SFRJ u razmeri 1:5oo.ooo (Gams I., i drugi, 1981.) od morfometrijskih postupaka predvidja odredbu vertikalne raščlanjenosti reljefa. Vertikalna raščlanjenost se odredjuje kao visinska razlika najviše i najniže kote na dužini od 5 km, odn. visinska razlika u jediničnom polju dimenzija 5 x 5 km.

Uputstvo propisuje klasiranje reljefa po raščlanjenosti u šest klasa:

Klasa	Visinska razlika u m.	Karakteristike reljefa
1	0 - 5	Ravnica
2	5 - 30	Slabo raščlanjena ravnica
3	30 - 100	Slabo raščlanjen reljef
4	100 - 300	Umereno raščlanjen reljef
5	300 - 800	Izrazito raščlanjeni reljef
6	>800	Veoma izrazito raščlanjeni reljef

S obzirom na konstantno horizontalno rastojanje na kome se meri visinska razlika, odn. vertikalna raščlanjenost reljefa, ovaj parametar je proporcionalan nagibu. Kod sitne razmere u kojoj se prikazuje pregledna geomorfološka karta SFRJ (1:5oo.ooo), analiza vertikalne raščlanjenosti može uspešno zameniti analizu nagiba padina.

(5) Morfohronološki podaci

Morfohronološki podaci pokazuju vremenske odnose pojedinih oblika, odnosno medjusobne vremenske odnose pojedinih genetskih tipova reljefa i procesa u kojima su oni nastali. Ovi podaci treba da omoguće prikaz evolucije reljefa na geomorfološkoj karti.

Rekonstrukcija morfološke evolucije reljefa jedne oblasti je veoma složen, a često i vrlo spekulativan posao. Odredbe relativnih starosti, tj. vremenski odnosi pojedinih procesa, tipova reljefa i njihovih oblika, uglavnom su dosta pouzdane. Problemi nastaju kod odredbe apsolutne starosti. Formiranje reljefa se obavlja u dugom kontinuitetu

vremena. Pri tome postoji beskonačan niz postepenih smenjivanja procesa i modifikacija jednog reljefa u drugi. Grafički prikaz smene procesa, odnosno tipova reljefa u vremenu na jedinstvenoj geomorfološkoj karti predstavlja praktično nerešiv problem.

Od morfohronoloških podataka na geomorfološku kartu se unose uglavnom oznake za relativnu starost, utvrdjenu na osnovu superpozicije oblika. Takve su, na primer, oznake za različite nivoe rečnih terasa i slično. Apsolutna starost se utvrdjuje i unosi na kartu u slučajevima gde je takva odredba dovoljno pouzdana, kao što je napr. slučaj kod razvoja glacijacija, vulkanskog reljefa, starih morskih i jezerskih obala i t.d.

4. PRIKAZ PODATAKA NA KARTI

U sadržaju geomorfološke karte javlja se pet različitih kategorija podataka. Svaka od njih obuhvata veliki broj elemenata. Samim tim grafičko predstavljanje svojstava savremenog reljefa je veoma složen posao. Višestruko smenjivanje procesa, odnosno oblika, na istom prostoru u morfološkoj istoriji jedne oblasti znatno povećava ionako veliki broj podataka koje treba prikazati na geomorfološkoj karti.

Jedan od bitnih uslova koje geomorfološka karta mora da ispuni jeste da bude lako čitljiva. Da bi se ovaj uslov zadovoljio broj podataka koji se unosi na kartu mora biti ograničen. Neophodna je, dakle, selekcija i usvajanje samo podataka od suštinske važnosti za reljef ispitivane oblasti. Time problem grafičkog prikaza postaje još složeniji.

Za grafičko predstavljanje usvojenih pet kategorija podataka na geomorfološkoj karti na raspolaganju stoji ograničen broj mogućnosti. To su boje, šrafure, uslovni znaci i slovno-brojčani simboli. Čitljivost karte zahteva striktno poštovanje principa po kome jedna vrsta oznake može da označava samo jednu kategoriju podataka (Joly F., 1962.).

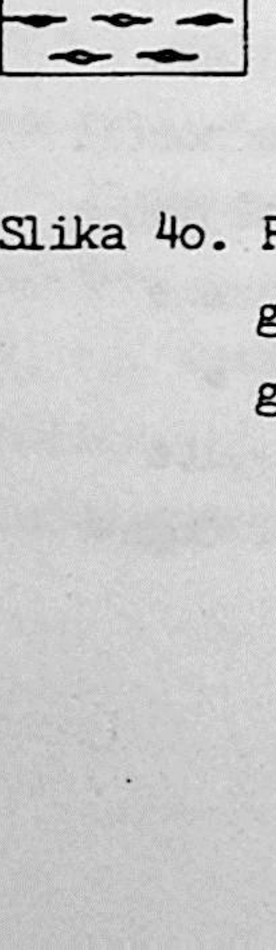
Pojedini autori i predložena uputstva i legende na različite načine rešavaju problem prikaza podataka na geomorfološkoj karti. Suge-

rirana rešenja, izneta u ovom priručniku, rezultat su do sada stečenih iskustava u geomorfološkom kartiranju.

(1) Prikaz geološke gradje

Litološke razlike od bitnog značaja za razvoj geomorfoloških procesa i oblika prikazuju se šrafurama sive boje. Šrafura mora biti dovoljno retka i prozirna, tako da ne maskira ni topografsku osnovu, ni ostale upotrebljene znake, boje i simbole.

Vrstu šrafure, raspored i debljinu pojedinih oznaka precizira odgovarajuće uputstvo, ili legenda koju izradjuje autor karte. Primer litoloških oznaka prikazuje slika 4o.



fini klastiti (glinci)

grubi klastiti (peščari)

rastvorljive stene (karbonati)

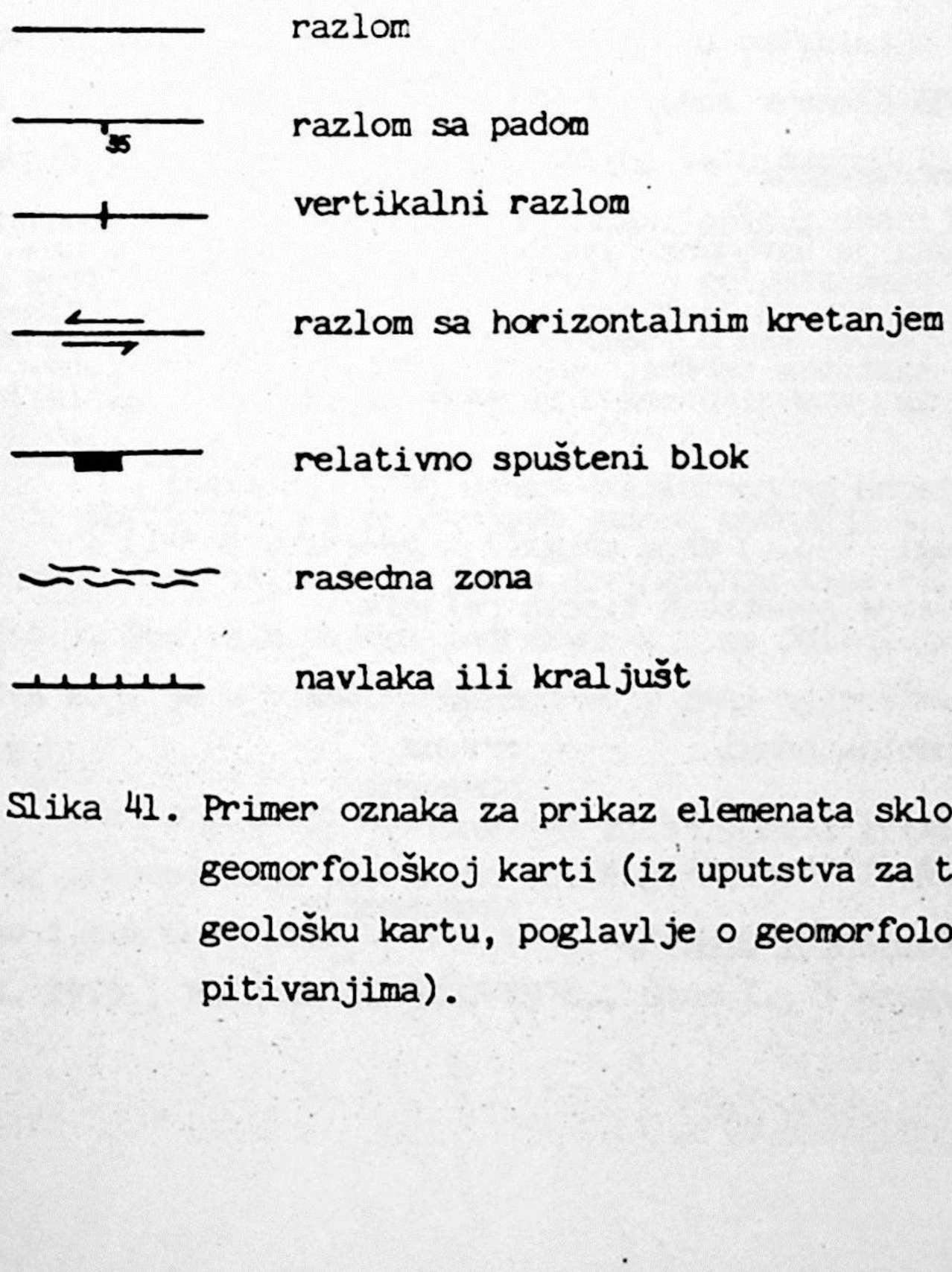
magmatiti

metamorfiti

Slika 4o. Primer oznaka za prikaz litološkog sastava terena na geomorfološkoj karti (iz uputstva za izradu pregledne geomorfološke karte SFRJ u razmeri 1:5oo.ooo).

Medjunarodna legenda za detaljnu geomorfološku kartu sveta (IGU, 1968.) predlaže i drugačiji prikaz litološke podloge. Po ovom predlogu morfografski znak koji prikazuje odredjeni oblik reljefa menja se zavisno od litološkog sastava materijala u kome je oblik formiran. Prednost predloženog načina svakako predstavlja izvesno grafičko rastereće-nje karte. Nedostaci su, medjutim, veoma značajni. Litološki sastav je prikazan tek mestimično, od oblika do oblika. Broj uslovnih morfografskih znakova za pojedine oblike, i inače veoma veliki, modifikacijama prema sastavu podloge višestruko je povećan. Čitljivost geomorfološke karte na taj način je veoma otežana. Konačno, predlog koji daje medjunarodna legenda znači i svojevrsno odstupanje od principa da jedna oznaka prikazuje samo jednu kategoriju podataka.

Elementi sklopa terena koji imaju odraz u reljefu, odnosno neposredni značaj za njegov razvoj, označavaju se kao i na geološkoj karti utvrdjenim znacima crvene boje. Slika 41 daje primer prikaza pojedinih elemenata sklopa.



Slika 41. Primer oznaka za prikaz elemenata sklopa ne geomorfološkoj karti (iz uputstva za tematsku geološku kartu, poglavlje o geomorfološkim ispitivanjima).

(2) Prikaz morfogeneze

Morfogeneza reljefa, odnosno pripadnost odredjenom genetskom tipu, prikazuje se bojom. Boja genetskog tipa daje se arealno. Ona na karti treba da pokrije celu površinu na kojoj su razvijeni oblici posmatranog procesa. U okviru jednog genetskog tipa oblici različiti po mehanizmu nastanka (erozioni i akumulacioni oblici) označavaju se nijansama boje datog genetskog tipa. Erozioni oblici su svetliji, a akumulacioni tamniji.

Prema uputstvu za tematsku geološku kartu (RSIZ za GI SRS, 1978.) genetski tipovi reljefa na geomorfološkoj karti se označavaju na sledeći način:

Genetski tip	Boja
- tektonogeni	crvena
- vulkanogeni	narandžasta
- padinski	smedja
- fluvijalni	plava
- kraški	siva
- glacijalni	zelena
- marinsko-limnički	ljubičasta
- eolski	žuta
- organogeno-antropogeni	bez boje

Kod kraškog procesa je usvojena siva boja, u kojoj se inače daje litološka šrafura. S obzirom da je razvoj kraškog tipa reljefa striktno uslovljen litološkim sastavom terena, ovakvo isticanje je svrsishodno.

Uputstvo za preglednu geomorfološku kartu SFRJ u razmeri 1:5oo.ooo (Gams I., i drugi, 1981.) daje drugačiju genetsku podelu i drugačije boje za označavanje genetskih tipova reljefa:

Tip reljefa	Boja
- tektonski i neotektonski	crvena
- vulkanski	purpurna
- pseudovulkanski i zemljotresni	karmin
- poligenetski i oblici kretanja masa	tamnosmedja
- fluvijalni erozioni i fluvio-denudacioni	smedja

- fluvijalni akumulacioni	zelena
- fluviokraški	zagasito ljubičasta
- kraški	ljubičasta
- glacijalni i nivacioni	plava
- eolski	žuta
- oblici u lesu	narandžasta
- abrazioni	modra
- antropogeni	crna

Nedoslednosti morfogenetskog izdvajanja u ovom uputstvu, razmatrane već u poglavlju o sadržaju geomorfološke karte, prenete su, razumljivo, i u način prikaza. Oblici nastali u istom geomorfološkom procesu, na primer u fluvijalnom, dakle identičnog genetskog tipa, a različiti samo po mehanizmu nastanka, označavaju se različitim bojama. Po predlogu ovog uputstva površina sa fluvijalnim erozionim oblicima biće obojena smedje, a sa akumulacionim oblicima zeleno. U okviru ostalih procesa nema, medjutim, posebnog genetskog označavanja i razdvajanja erozionih i akumulacionih oblika ni različitim bojama, ni promenom intenziteta boje istog genetskog tipa. Ovakve nedoslednosti samo umanjuju kvalitet i preglednost geomorfološke karte.

Kod geomorfološkog kartiranja i grafičke izrade karte jedno od osnovnih pitanja morfogeneze predstavlja definicija tipa reljefa. U većini slučajeva na istom prostoru se tokom vremena smenjuju različiti geomorfološki procesi. Njihovi oblici se u manjoj ili većoj meri mogu prepoznati i rekonstruisati. Napušteni oblici starijih, smenjenih procesa mestimično mogu biti izrazitiji u reljefu nego aktivni oblici savremenih procesa. Takav je, na primer, u nas slučaj sa pleistocenskim glacijalnim reljefom, na kome su tokom holocena razvijani fluvijalni ili kraški oblici.

Morfogenetska pripadnost jednog područja složene morfološke evolucije može se definisati putem dominantnog tipa reljefa (Marković M., 1973 b.). Pod ovim pojmom podrazumevaju se oblici genetski vezani za proces koji je u posmatranom području imao najsnažniji morfoskulpturni efekt.

Kao pogodniji način uzima se morfogenetska definicija putem aktivnog procesa koji savremeno oblikuje reljef. Ovakvo rešenje predvidjaju i sva postojeća uputstva za izradu geomorfoloških karata u nas (SGZ, 1976., RSIZ za GI SRS, 1978., Gams I., i drugi, 1981.). Oblici

starijih procesa, čije su karakteristike jasno uočljive u reljefu, mogu se označiti šrafurom svoje genetske boje (napr. uspravne pruge) preko osnovne genetske boje savremenog, aktivnog reljefa. Promena debljina pruga u šrafuri, ili promena njihove orijentacije, dozvoljava prikaz više genetskih tipova različitih starosti, superponovanih jedan preko drugog.

Definicija genetskog tipa reljefa savremenim procesom njegovog oblikovanja predstavlja, svakako, bolje rešenje od uvodjenja dominantnog tipa. Dominantni tip reljefa daje geomorfološkoj karti morfografski karakter. Sama odredba šta je dominantno u reljefu je veoma subjektivna i dozvoljava različite interpretacije. Sa druge strane, izdvajanje aktivnih od napuštenih oblika reljefa daje karti i veoma značajnu morfohronološku dimenziju.

(3) Prikaz morfografskih podataka

Morfografski podaci se prikazuju uslovnim znacima. Ovi znaci se konstruišu tako da svojim izgledom simbolišu oblik koji predstavljaju. Veličina i orijentacija znaka treba pri tome da odraze dimenzije i položaj oblika.

Prema uputstvu za tematsku geološku kartu morfografski znaci na geomorfološkoj karti daju se u crno-beloj tehnici. Izuzetno, za endogeni tektonogeni reljef morfografski znaci se predstavljaju u crvenoj boji.

Uputstvo za preglednu geomorfološku kartu SFRJ zahteva da se morfografski podaci prikazuju u boji genetskog tipa kome pripadaju. Ovakav način prikaza ima nesumnjive prednosti u odnosu na prethodni.

U okviru generalnog razvića jednog genetskog tipa mogu se javiti pojedinačni oblici čije je poreklo vezano za druge procese. Predstavljanje znakova u boji genetskog tipa naglašava ovakve pojave i čini ih jasno uočljivim na karti. U području razvoja fluvijalnog procesa javljaju se, na primer, usamljene eolske dine. Površina koju one zauzimaju je isuviše mala da bi se stavila arealna eolska genetska boja. Stoga će ceo prostor biti obojen bojom fluvijalnog genetskog tipa. Ako se morfo-

grafski znaci daju kao crno-beli dine će medju fluvijalnim oblicima biti teško uočljive.

Prihvatajući predlog da se morfografski znaci daju u bojama odgovarajućih genetskih tipova, fluvijalni oblici u datom primeru bi bili prikazani u jednoj, a eolski u drugoj boji, već prema usvojenoj legendi. Nijansa boje oblika mora biti tamnija od arealne boje. Na taj način se fluvijalni oblici jasno uočavaju na podlozi boje svog genetskog tipa. Usamljeni eolski oblici su istaknuti drugom bojom, te je njihovo zapažanje i izdvajanje na geomorfološkoj karti znatno olakšano.

Nedostatak prikaza morfografskih znakova u boji genetskog tipa kome pripada posmatrani oblik je tehničke prirode. Superponovanjem znaka u jednoj boji preko osnove u drugoj, boja se menja i postaje teško prepoznatljiva. Poredjenje sa legendom, gde je znak prikazan u boji na beloj osnovi, ne olakšava čitanje karte.

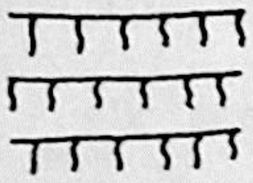
Kod oblika čije dimenzije ne dozvoljavaju prikaz u razmeri karte koristi se znak koji predstavlja grupu oblika, definisanu prema broju, odn. prema gustini, ili znak koji simboliše pojavu. Takvi su, na primer, znaci za škrapare, rdjave zemlje, i t.d.

Primer uslovnih znakova za grafičko predstavljanje morfografskih podataka daje slika 42.

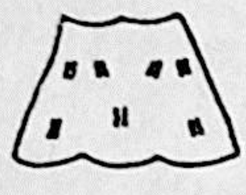
U prirodi se na malom prostoru, po pravilu, smenjuje veći broj oblika savremenih procesa. Svi oni se najčešće ne mogu prikazati na geomorfološkoj karti. Stoga se biraju i grafički predstavljaju reprezentativni oblici. Odlučujuću ulogu pri ovom izboru treba da ima značaj posmatranog oblika za prikaz karakteristika procesa i geomorfoloških odnosa na ispitivanom terenu.

Na istom prostoru se tokom vremena smenjuju različiti procesi. I pored svih modifikacija oblici starijih, smenjenih procesa najčešće ostaju prisutni u savremenom reljefu. Morfografski prikaz zahteva grafičko predstavljanje aktivnih, ali i napuštenih, starijih oblika, koji se morfološki mogu jasno prepoznati. Ovakvo predstavljanje ima puni morfohronološki smisao. Ono ukazuje na tok morfološke evolucije proučavanog terena.

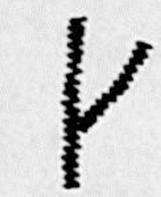
Reljef Lovćena i Orjena, na primer, ima danas izrazito kraško obeležje. U njemu su, medjutim, jasno vidljivi oblici pleistocenskog



padina na kojoj je razvijeno difuzno spiranje



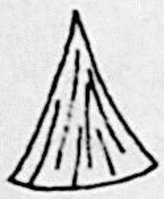
deluvijalni zastor



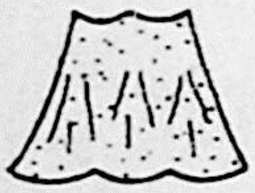
pojave jaružanja



rdjave zemije (bad lands)



plavinska lepeza



deluvijalno-proluvijalni zastor

Slika 42. Prikaz morfografskih podataka na geomorfološkoj karti. Isečak iz uputstva za tematsku geološku kartu, poglavlje o geomorfološkim istraživanjima.

glacijalnog procesa. Prikaz morfografskih znakova u boji genetskih tipova kojima oblici pripadaju, kako predvidja uputstvo za preglednu geomorfološku kartu SFRJ, osvetljava donekle ove morfohronološke odnose. Kraški oblici savremenog reljefa bili bi prikazani ljubičastom bojom, a glacijalni oblici u njihovoj podlozi plavom bojom.

Prema uputstvu za tematsku geološku kartu svi morfografski znaci na geomorfološkoj karti se daju kao crno-beli. Da bi se napušteni oblici razlikovali od aktivnih koriste se isprekidane linije. U datom primeru kraški oblici bi bili izvučeni punim linijama, a glacijalni isprekidanim.

Mogućnosti koje ostavlja uputstvo za tematsku geološku kartu ima značajna tehnička ograničenja. Morfografski znaci se u principu tako konstruišu da se erozioni oblici prikazuju linijskim, a akumulacioni tačkastim znacima. Kod tačkastog znaka isprekidano se može dati samo obodna granica, što najčešće nije dovoljno za razlikovanje da li se radi o aktivnom ili napuštenom obliku.

Izneta razmatranja pokazuju složenost prikaza morfometrijskih podataka na geomorfološkoj karti. Sa jedne strane postoji enorman broj oblika različitog porekla i različitih dimenzija. Ovi oblici se smenjuju u prostoru i u vremenu, sa beskrajnim nizom modifikacija i postepenih prelazaka jednih oblika u druge. Sa druge strane na raspolaganju su oskudne grafičke mogućnosti, ograničen broj uslovnih znakova, crno-belih ili u boji, kojima treba predstaviti oblike i njihove medjusobne odnose. Pri tome se mora poštovati i zahtev da karta bude jednostavna i lako čitljiva.

Ni jedno uputstvo, niti legenda za geomorfološku kartu ne može predvideti sve mogućnosti koje će se javiti u prirodi i dati najbolje rešenje njihovog grafičkog prikaza. Uputstva i legende predstavljaju generalni vodič. Na istraživaču, autoru geomorfološke karte ostaje odgovorni zadatak da utvrdi karakteristike pojedinih oblika i njihovih medjusobnih odnosa u svakom pojedinom slučaju, da izabere podatke od suštinskog značaja za reljef istraživane oblasti i te bitne odnose grafički prikaže.

(4) Prikaz morfometrijskih podataka

Osnovni morfometrijski podaci su delom prikazani kotama i izohipsama topografske karte koja služi kao podloga za geomorfološku kartu. Razmera morfografskih znakova takodje ukazuje na elementarne morfometrijske odnose. Prema potrebi se neposredno na morfografski znak može upisati brojčana vrednost koja iskazuje neko morfometrijsko svojstvo. Tako, na primer, broj upisan na znaku za odsek rečne terase pokazuje njenu relativnu visinu.

Rezultati kvantitativnih ispitivanja reljefa prikazuju se posebnim kartama izolinija. Ove karte predstavljaju priloge uz geomorfološku kartu.

Kao kvantitativni parametar od posebnog značaja za reljef i njegov prikaz na geomorfološkoj karti istaknut je nagib padina. Predlog jedinstvenog ključa za detaljnu geomorfološku kartu sveta (IGU, 1968.) predvidja da se vrednosti nagiba iskazuju intenzitetom boje genetskog tipa reljefa razvijenog na posmatranom delu terena. Intenzitet arealne boje se povećava po usvojenim klasama nagiba, idući od manjeg nagiba ka većem. Ovaj način prikaza nagiba je korišćen i na eksperimentalnoj geomorfološkoj karti okoline Litije razmere 1:loo.ooo (Gams I., Natek K., 1981.).

Identični princip prikaza zadržava i uputstvo za preglednu geomorfološku kartu SFRJ u razmeri 1:5oo.ooo (Gams I., i drugi, 1981.). Umesto nagiba ovde se nijansama boje genetskog tipa označavaju klase različite vertikalne raščlanjenosti reljefa. Intenzitet boje povećava se sa vertikalnom raščlanjenošću. Ravnice imaju najsvetlije, a najizraziti-je raščlanjeni reljef najtamnije nijanse boje zastupljenog genetskog tipa.

Prikaź nagiba, odn. raščlanjenosti reljefa intenzitetom arealne boje genetskog tipa može biti podesan na preglednim geomorfološkim kartama sitne razmere. Analogno senčenju, odnosno toniranju na preglednim geografskim kartama, predloženi prikaz daje plastiku reljefa i olakšava generalno sagledavanje karakteristika njegovog nagiba.

Na detaljnim geomorfološkim kartama, razmere 1:loo.ooo i krupnije, ovakav način prikaza nagiba ima mnogo nedostataka. Jedan od osnovnih principa konstrukcije geomorfološke karte da jedan znak označava samo jednu kategoriju podataka (Joly F., 1962.) drastično je narušen. Boja, upotrebljena za oznaku morfogenetske pripadnosti, koristi se i za prikaz morfometrijskih karakteristika reljefa. Ovo, razumljivo, smanjuje ilustrativnost oznake i za jednu i za drugu kategoriju podataka, te time i čitljivost, odn. upotrebljivost cele geomorfološke karte.

Označavanjem nagiba intenzitetom genetske boje izgubljena je mogućnost da se na takav način prikažu oblici različiti po mehanizmu svog nastanka, što je logički vezano sa morfogenetskim svojstvima reljefa. Sem toga, ovakav način prikaza nagiba onemogućava dalju kvanti-

tativnu analizu (napr. sračunavanje trenda nagiba) i neotektonske interpretacije, što čini nadgradnju geomorfološkog kartiranja.

Dosadašnja iskustva sa primenom geomorfološkog kartiranja u nas pokazuju da je rezultate analize nagiba pogodnije prikazati izolinijama. Izolinije se mogu dati na samoj geomorfološkoj karti. Radi rasterećenja i povećanja čitljivosti izolinije nagiba reljefa mogu se dati i na posebnoj karti, kao prilog uz geomorfološku kartu. U ovom drugom slučaju karta nagiba padina obavezno se mora dati u istoj razmeri u kojoj je uradjena i geomorfološka karta.

Prikaz nagiba reljefa posebnom kartom izolinija u prilogu geomorfološke karte korišćen je kod manuskriptne geomorfološke karte Orjena razmere 1:5o.ooo (Marković M., 1973., 1976 b.). Prilikom geomorfološkog kartiranja dela SR Srbije u razmeri 1:loo.ooo, pojedini morfometrijski parametri, medju kojima i nagib padina, statistički su obradjeni na elektronskom računaru. Svi morfometrijski podaci su prikazani u vidu posebnih karata izolinija, ili karata polja identičnih vrednosti (Menković Lj., Košćal M., 198o., 1981., 1982.,1983.).

(5) Prikaz morfohronologije

Morfohronološki podaci se prikazuju slovno-brojčanim simbolima. U nedoststku odgovarajuće geomorfološke koristi se postojeća geološka skala. Slovo označava geološki vremenski period, a broj kao indeks slova, deo tog perioda:

Q - kvartar
- Q_4 - holocen
- Q_3 - gornji pleistocen
- Q_2 - srednji pleistocen
- Q_1 - donji pleistocen

Slovo može označavati i oblik. Tada se, po pravilu, koriste mala slova. Broj kao indeks slova označava relativni položaj oblika u odnosu na druge odgovarajuće oblike:

- t_2 - viša terasa
- t_1 - niža terasa

Slovno-brojčani simboli mogu biti crni (uputstvo za preglednu geomorfološku kartu SFRJ), ili se mogu prikazati u boji genetskog tipa reljefa na koji se odnose (uputstvo za tematsku geološku kartu).

Slovno-brojčani simboli mogu da prikažu tek najosnovnije morfohronološke odnose reljefa. Da bi se istakla najčešće složena geomorfološka evolucija na geomorfološkoj karti se koriste i morfogenetske i morfografske oznake. Kako je već naglašeno, prikaz starijeg, smenjenog procesa šrafurom preko osnovne genetske boje danas aktivnog, savremenog procesa, ilustrovaće i geomorfološku istoriju kartirane oblasti. Istu ulogu odigraće i različiti morfografski prikaz aktivnih i napuštenih oblika.

Višestruko smenjivanje tokom vremena različitih procesa i njihovih oblika na istom prostoru ne može se, medjutim, zadovoljavajuće prikazati ni kombinacijom slovno-brojčanih simbola, morfogenetskih i morfografskih oznaka. Stoga je neophodno da se uz geomorfološku kartu, kao posebni prilozi izradjuju karte rekonstruisanog reljefa po pojedinim periodima morfološke evolucije. Takve paleomorfogenetske, odn. paleomorfografske karte su, na primer, karte starih drenažnih sistema, karte maksimalnog razvića lednika, karte rekonstruisanih jezerskih ili marinskih površi i t.d. Vrsta i broj karata koje se prilažu uz geomorfološku kartu u cilju ilustracije morfohronoloških odnosa, zavisiće od specifičnosti i složenosti geomorfološke istorije ispitivanog terena.

Utvrdjivanje geomorfološke evolucije i njeno objašnjenje predstavlja, svakako, najdelikatniji deo geomorfološkog kartiranja. Još veći problem predstavlja grafički prikaz utvrdjene geomorfološke istorije. Stoga morfohronološki podaci na geomorfološkim kartama najčešće potpuno izostaju (Gams I., Natek K., 1981.), ili su svedeni na simbolični minimum (Marković M., 1973., Menković Lj., Košćal M., 1980., 1981., 1982., 1983.).

5. LEGENDA I TUMAČ

Karta nikada ne može u potpunosti obuhvatiti sva svojstva pojave koju prikazuje. Po pravilu su za svaku, pa i za geomorfološku kartu neophodna objašnjenja i dopune. Ova prateća objašnjenja i dopune moraju biti utoliko obimnija ukoliko je složenija suština pojave koju karta prikazuje. Objašnjenja i dopune karte daju njena legenda i tumač.

(1) Legenda geomorfološke karte

Legenda objašnjava znakove upotrebljene na karti. Ona se daje na istom listu sa kartom, najčešće sa njene desne strane. U slučaju kada je ova legenda obimna daje se kao poseban list. Legenda geomorfološke karte mora sadržati svih pet kategorija podataka iz njenog sadržaja.

U legendi se prvo daju znaci upotrebljeni za prikaz geološke gradje. Posebno se izdvajaju oznake za litološki sastav, posebno oznake za sklop terena. Morfogenetski i morfografski znaci u legendi se prikazuju zajedno. Legenda se slaže po tipovima reljefa. Za svaki tip reljefa se daje njegova genetska boja. U okviru svakog genetskog tipa prikazuju se znaci za pojedinačne oblike, ili simboli za masovne pojave oblika. Oblici jednog genetskog tipa se svrstavaju po mehanizmu nastanka.

Pravilo je da se prvo izdvoji endogeni tip reljefa, odn. endogeni oblici. Zatim sledi razvrstavanje pojedinih egzogenih genetskih tipova reljefa i njihovih oblika. Kod egzogenog reljefa na prvo mesto se stavljaju poligenetski oblici.

Prilikom slaganja morfogenetsko-morfografskog dela legende treba nastojati da i tipovi reljefa i oblici unutar njih budu svrstani po morfohronološkom redosledu. Pri tome se sledi analogija sa legendom geo-

loške karte. Najniže mesto u legendi zauzimaju najstariji, a najviše najmladji oblici, odnosno tipovi reljefa.

Treći deo legende čine morfometrijski, a četvrti morfohronološki podaci. U legendu geomorfološke karte obavezno se unose svi znaci upotrebljeni na karti: izolinije, ili promene intenziteta boje i slovno-brojčani simboli. Ukoliko su morfometrijski podaci dati na posebnoj karti to treba da bude naglašeno i u legendi geomorfološke karte, i to na mestu gde bi ova kategorija podataka inače bila prikazana.

Za oznake pojedinih kategorija i pojedinačnih podataka unutar njih, koristi se numeričko označavanje. Na primer:

1. Podaci o geološkoj gradji
   1.1. Litološki sastav
      1.1.1. Sedimentne stene
         (1.) Grubi klastiti
                  i t.d.

Na taj način lako se utvrdjuje pripadnost svakog pojedinog člana legende odredjenoj kategoriji, a podaci se medjusobno mogu izjednačavati po vrednosti, odn. po značaju.

Legenda upotrebljenih znakova na geomorfološkoj karti može se, prema potrebi, dopuniti još jednom kategorijom. U okviru ove, poslednje kategorije prikazuju se standardne oznake upotrebljene na topografskoj podlozi geomorfološke karte. Ukoliko se daju ovi podaci posebno se izdvajaju prirodni, a posebno veštački objekti.

List na kome je prikazana geomorfološka karta sadrži, dakle, samu kartu ("okvirni sadržaj") i njenu legendu. Takozvani "vanokvirni sadržaj", sem legende, obuhvata naziv karte i topografskog lista, razmeru karte, ime, odnosno imena autora karte, naziv organizacije koja je obavila kartiranje i godinu izrade karte.

Naziv karte i topografskog lista daje se na sredini, iznad okvira karte. Razmera u grafičkom i numeričkom vidu stavlja se na sredinu, ispod okvira karte. Naziv organizacije koja je obavila kartiranje ispisuje se u levom uglu, a ime, ili imena autora karte u desnom uglu, sve iznad okvira karte. Legenda se, kako je naglašeno, stavlja desno od okvira karte.

(2) Tumač

Tumač predstavlja tekstualne i grafičke dopune i neophodna objašnjenja geomorfološke karte. On obuhvata podatke koji se po svojoj prirodi ne mogu grafički predstaviti, ili bi njihov grafički prikaz preopteretio sadržaj karte i učinio je nečitljivom.

Tumač geomorfološke karte obuhvata tekstualni prikaz koji se daje po sledećim poglavljima:

- UVOD obuhvata ime lista i podatke o izvodjaču geomorfološkog kartiranja. Pored naziva organizacije i spiska autora karte pojedinačno se navodi ko je obradjivao koji problem, daje spisak konsultanata i precizira vremenski period u kome su istraživanja obavljena.

  U uvodnom poglavlju se u najkraćim crtama prikazuje metodika rada i daju specifičnosti izvodjenja geomorfološkog kartiranja na istraživanom prostoru. U uvodu se, takodje, daju elementarni podaci o raspoloživim podlogama za izradu geomorfološke karte (topografske karte, satelitski snimci, aerosnimci i t.d.).

- PRIKAZ GEOGRAFSKIH KARAKTERISTIKA definiše područje istraživanja. Ovde se navode koordinate granica kartiranog terena, daje njegova ukupna površina i prikazuju elementarne orografsko-hidrografske karakteristike.

  Da bi se istakao položaj istraživanog područja u regionalnoj morfologiji SFRJ ovo poglavlje se ilustruje preglednom geografskom skicom sitne razmere, pet do deset puta manjoj od razmere geomorfološke karte. Na skici se naglašavaju granice kartiranog područja.

- PREGLED KLIMATSKIH KARAKTERISTIKA treba da razjasni uslove razvoja agensa pojedinih egzogenih procesa na ispitivanom području. Poglavlje se dokumentuje tabelarnim pregledom promena temperature po mesecima, količina padavina po mesecima, odn. godinama i drugim podacima koje daju hidrometeorološke organizacije.

- PREGLED RANIJIH ISTRAŽIVANJA predstavlja hronološki prikaz literaturnih podataka o kartiranom području. Ovo poglavlje treba da istakne

postojeće koncepcije i otvorena pitanja u poznavanju geomorfologije kartirane oblasti.

- PRIKAZ GEOLOŠKE GRADJE TERENA daje u najkraćim crtama litostratigrafske odnose i tektoniku terena. Posebno se ističu one specifičnosti geološke gradje koje se neposredno odražavaju u razvoju reljefa.

Poglavlje o geološkoj gradji se ilustruje preglednom geološkom kartom - skicom u crno-beloj tehnici. Razmera ove skice je obično dva do pet puta manja od razmere geomorfološke karte.

- PRIKAZ GEOMORFOLOŠKIH ODNOSA treba da istakne uslovljenost razvoja morfoloških procesa geološkom gradjom terena. Posebno se naglašavaju razvoj pojedinih morfogenetskih tipova i njihovi kauzalni, prostorni i vremenski odnosi. Ovo poglavlje daje rezime kompleksne geomorfološke analize, te na taj način predstavlja i suštinu geomorfološke karte.

Prikaz geomorfoloških odnosa može da bude ilustrovan skicom morfostrukturne rejonizacije, skicom rasporeda pojedinih genetskih tipova reljefa i slično. Sve skice se daju u dva do pet puta manjoj razmeri od razmere geomorfološke karte. Skice se, po pravilu, izradjuju u crnó-beloj tehnici.

- GENETSKI TIPOVI RELJEFA daju pregled morfogenetskih i morfografskih karakteristika kartiranog terena. U okviru svakog izdvojenog genetskog tipa prikazuje se razvoj najznačajnijih oblika. U ovom poglavlju treba da budu razjašnjeni medjusobni odnosi pojedinih genetskih tipova, kao i odnosi pojeđinih oblika u okviru jednog tipa.

Poglavlje o genetskim tipovima reljefa se može dokumentovati profilima, terenskim fotografijama, rezultatima laboratorijskih ispitivanja i slično.

- PRIKAZ MORFOMETRIJSKIH ODNOSA obuhvata pregled svih postupaka i rezultata kvantitativne geomorfološke analize, primenjenih prema potrebama i specifičnostima istraživanog terena. Poglavlje se ilustruje kartama izolinija različitih parametara u razmeri dva do pet puta manjoj od razmere geomorfološke karte. Ukoliko se nagibi padina ne prikazuju direktno na geomorfološkoj karti, karta izolinija nagiba se da-

je kao poseban prilog u razmeri geomorfološke karte.

U poglavlju koje prikazuje morfometrijske odnose daju se i dijagrami statističke analize, uzdužni profili vodotoka i t.d.

- GEOMORFOLOŠKA ISTORIJA TERENA treba da prikaže hronološki redosled morfoloških procesa i endogenih pokreta i da osvetli njihove kauzalne veze. Geomorfološka evolucija kartiranog terena treba da bude dokumentovana kartama - skicama rekonstrukcije reljefa po ranijim etapama njegove morfološke istorije, paleomorfogenetskim skicama, kartama sa neotektonskom interpretacijom i slično.

  Kao i u prethodnim poglavljima razmera pratećih karata, ili skica se umanjuje dva do pet puta u odnosu na razmeru geomorfološke karte.

- SPISAK LITERATURE obuhvata sve radove relevantne za geomorfološko kartiranje projektne oblasti, odn. za metodologiju istraživanja. Radovi se svrstavaju po uobičajenom abecednom redosledu autora, uz naznaku godine, publikacije u kojoj je rad objavljen i izdavača rada.

Prikazani pregled poglavlja tumača i njihovog sadržaja predstavlja generalnu koncepciju tekstualnih i grafičkih dopuna i objašnjenja geomorfološke karte. Poglavlja se mogu sažimati, ili raščlanjavati, već prema specifičnostima same geomorfološke karte. Standardni izgled tumača, naslove poglavlja, njihov redosled i njihov sadržaj, predvidja svako uputstvo za izradu geomorfološke karte odredjene razmere, posebno.

6. METODOLOGIJA GEOMORFOLOŠKOG KARTIRANJA

(1) Metodološki pristup

Geomorfološko kartiranje predstavlja samo jedno u nizu brojnih izučavanja površine zemlje kojima se sa raznih aspekata bavi veći broj grana nauke i privrede. Svakom istraživanju terena mogu se postaviti dva suštinski različita metodološka pristupa. Prvi se definiše kao shema

"teren - kabinet - teren". Drugi pristup čini model "kabinet - teren - kabinet".

Prvi, tradicionalni način istraživanja podrazumeva prikupljanje osnovnih podataka o proučavanoj pojavi na terenu. Sintezom dobijenih podataka stvara se manje ili više pouzdana koncepcija. Na terenu se prikupljaju i uzorci za kabinetska, odnosno laboratorijska ispitivanja i njihovim rezultatima potvrdjuje, ili dovodi pod sumnju stvorena koncepcija. Konačno shvatanje o pojavi obrazuje se novim ispitivanjima na terenu.

Po klasičnoj metodološkoj shemi "teren - kabinet - teren" istraživanje se izvodi u tri faze. Prvu fazu čini terensko rekognosciranje. Njemu prethodi pripremni period prikupljanja dokumentacije, topografskih podloga i slično. Druga faza rada obuhvata kabinetsko sredjivanje terenskih podataka, laboratorijska ispitivanja i formiranje koncepcije o istraživanom terenu. Treću fazu čini nov obilazak terena, reambulacija. Tada se obavljaju ispravke i dopune stvorene koncepcije. Ovom trećem, završnom periodu sledi tehnička obrada rezultata istraživanja - izrada karata, profila, završnog izveštaja i njegovih grafičkih priloga.

Model "kabinet - teren - kabinet" čini drugi, savremeniji metodološki pristup istraživanju. Suštinsku novinu u odnosu na klasičnu metodologiju predstavlja kabinetsko stvaranje radne koncepcije, hipoteze o istraživanom području pre izlaska na teren. Ovakva koncepcija se proverava, koriguje i dopunjava podacima prikupljenim terenskim osmatranjima i rezultatima laboratorijskih ispitivanja uzoraka prikupljenih na terenu. Konačna koncepcija se formira kabinetski, sintezom rezultata i kabinetskih i terenskih istraživanja.

Nezamenljivu ulogu u ovakvom metodološkom pristupu ima primena metoda daljinske detekcije. Analizom satelitskih snimaka, a naročito stereoskopskom analizom aerosnimaka formira se preliminarna koncepcija o istraživanoj pojavi.

U tradicionalnoj metodologiji istraživanja podaci prikupljeni terenskim osmatranjima mukotrpno se uklapaju u mozaik koncepcije o istraživanom terenu. Kod savremenog pristupa terenska osmatranja imaju zadatak da provere, isprave i dopune već stvorenu, celovitu sliku istraživane pojave. Ona se usmeravaju na ključna mesta i podatke koji se kabinetski ne mogu prikupiti. Dobijeni rezultati na taj način postaju objektivniji, a samo istraživanje daleko efikasnije i ekonomičnije ne-

go kod primene klasične metodološke sheme.

Završna reambulacija terena izvedena detaljnom stereoskopskom analizom aerosnimaka u svetlu prikupljenih rezultata i kabinetskih i terenskih istraživanja, omogućava stvaranje pouzdane konačne koncepcije o istraživanom terenu. Ona je, po pravilu, verodostojnija i objektivnija od terenske reambulacije i sinteze rezultata isključivo terenskih istraživanja, koja se izvodi po klasičnoj metodološkoj shemi.

Brzina, ekonomičnost rada i visoka verodostojanost dobijenih rezultata uslovljavaju da metodološki model "kabinet - teren - kabinet" postaje sve više primenjivan u različitim aspektima proučavanja zemljine površine. U geološkom kartiranju, koje je po svojoj suštini najbliže kompleksnoj geomorfološkoj analizi i geomorfološkom kartiranju, ovakav pristup je kroz praksu višestruko dokazao svoju opravdanost. Postojećim standardima i uputstvima predvidjen je kao obaveza izvodjača istraživanja. Iskustva stečena pri geomorfološkom kartiranju u nas takodje naglašavaju prednosti savremene nad tradicionalnom metodologijom (Marković M., 1973., Marković M., 1976., Menković Lj., Košćal M., Marković M., 1981.).

Geomorfološko kartiranje se izvodi po fazama. Faze istraživanja čine period pripremnih radova, period terenskih istraživanja i završni period. Sadržaj ovih faza zavisi od primenjene metodologije. Opredelenjem za savremeni metodološki pristup, pripremni i završni period definišu se kao kabinetski.

(2) Period pripremnih radova

Pripremni radovi čine prvu, kabinetsku fazu istraživanja u metodološkoj shemi "kabinet - teren - kabinet". Oni obuhvataju prikupljanje podloga za rad i raspoložive dokumentacije, analizu i sintezu rezultata ranijih istraživanja i kompleksnu kabinetsku geomorfološku analizu terena.

Zadatak pripremnih radova je:

- Upoznavanje osnovnih ranijih koncepcija o geomorfološkim odnosima u ispitivanoj oblasti.
- Uočavanje ključnih problema koji su ostali nerešeni.
- Stvaranje radne hipoteze o razviću i medjusobnim odnosima pojedinih oblika i tipova reljefa.
- Stvaranje radne hipoteze o geomorfološkoj evoluciji i njenoj vezi sa geološkim procesima, posebno sa najmladjom tektonskom aktivnošću terena.
- Izrada preliminarne geomorfološke karte.
- Izrada detaljnog plana terenskih radova.

Kao podloge za kabinetsku geomorfološku analizu koriste se topografske karte, satelitski snimci i aerosnimci. Izbor razmere topografskih karata zavisi od planirane razmere geomorfološke karte. Pravilo je da se kao podloga za analizu uzimaju karte 4 do 5 puta krupnije razmere od razmere finalne geomorfološke karte. Za izradu detaljne geomorfološke karte razmere 1:loo.ooo, kakva se predvidja u nas, potrebno je pribaviti pored topografske karte razmere 1:loo.ooo i karte razmere 1:25.ooo. Za izradu pregledne geomorfološke karte SFRJ u razmeri 1:5oo.ooo, pored topografske karte iste razmere, za analizu se pribavljaju i karte razmere 1:loo.ooo.

Fotogrametrijske topografske karte su detaljnije i veće tačnosti od klasičnih karata, sniml̃jenih geodetski, na terenu. Takozvane "slepe" osnove, na kojima su naznačene samo izohipse i hidrografija, pogodnije su za analizu od potpunih topografskih karata. Prilikom prikupljanja podloga za geomorfološko kartiranje o ovim činjenicama treba povesti računa.

Najdostupniji satelitski snimci su iz serije Landsat. Oni se komercijalno javljaju u razmeri 1:1.ooo.ooo, 1:5oo.ooo i 1:25o.ooo. Za potrebe opšteg uvida u raspored i medjusobne odnose najkrupnijih geoloških i morfoloških jedinica, odnosno morfostruktura, ovakve razmere su sasvim odgovarajuće. Najbolje rezultate daje uporedna analiza istog snimka načinjenog u različitim spektralnim područjima. Sateliti serije Landsat 1, 2 i 3 daju istovremeno snimak u 4 spektralna područja (zeleno, crveno i dva infracrvena). Najpovoljnija je nabavka sva 4 snimka istog terena u razmerama 1:1.ooo.ooo i 1:25o.ooo. U slučaju da se

mora načitniti izbor samo jednog od 4 spektralna područja preporučuje se dalji infracrveni deo spektra, tj. snimak u kanalu 7. Infracrveni snimci daju kontraste, ističu detalje reljefa, a posebno potenciraju površinske vode, te su za kvalitativna geomorfološka ispitivanja najpogodniji.

Aerosnimci predstavljaju neophodnu podlogu za kvalitativnu geomorfološku analizu i kabinetsku izradu geomorfološke karte. Nabavljaju se kao stereoparovi za celo istraživano područje. Standardna razmera od 1:3o.ooo do 1:4o.ooo je veoma pogodna, kako za detaljno, tako i za pregledno geomorfološko kartiranje. Izuzetno se, za izradu geomorfološke karte u vrlo krupnim razmerama, mogu nabaviti i aerosnimci veće razmere, odnosno povećanja standardnih aerosnimaka (fotoskice). Razmere ovih snimaka, odn. fotoskica su najčešće od 1:5.ooo do 1:1o.ooo. Isto tako, za specijalne namene mogu se nabaviti i koristiti kao podloge i terestrički fotosnimci, načinjeni fototeodolitom. Oni se upotrebljavaju kod kartiranja u krupnim razmerama i obično se kombinuju sa instrumentalnim kartiranjem.

Dokumentacija o terenu za koji će se raditi geomorfološka karta obuhvata sve prethodne istraživačke radove iz oblasti geologije i geomorfologije. Ovde spadaju publikovani radovi, stručni izveštaji, objavljene i fondovske, manuskriptne karte, profili, stubovi i t.d. Podaci o klimatskim prilikama prikupljaju se iz hidrometeoroloških izveštaja.

Prikupljanjem podloga za rad i raspoložive dokumentacije završava se prva faza pripremnih radova. Drugu fazu čini analiza i sinteza rezultata ranijih istraživanja. Proučavanjem raspoložive dokumentacije stvara se generalna slika geoloških i geomorfoloških odnosa u ispitivanoj oblasti. Istovremeno se ističu i pitanja koja su ranijim istraživanjima ostala nerešena.

Podaci dobijeni proučavanjem dokumentacije se sintetizuju i grafički prikazuju u vidu kompilacionih karata. Na osnovu podataka geoloških istraživanja izradjuju se kompilaciona geološka karta, karta sklopa, litološka karta prema otpornosti pojedinih članova na eroziju i t.d. Na osnovu podataka o prethodnom geomorfološkom istraživanju izradjuju se kompilacione karte razvoja pojedinih genetskih tipova reljefa (mor-

fogenetske karte), karte razvoja pojedinih oblika (morfografske karte), karte rekonstruisanih ranijih površi, karte ranije drenaže i slično.

Razmera kompilacionih karata koje se izradjuju kao rezultat sinteze podataka prethodnih istraživanja, zavisi od razmere planirane geomorfološke karte i od verodostojnosti izvornog materijala. U principu, ona bi trebalo da bude ista kao i razmera planirane geomorfološke karte. Što je manje podataka prethodnih istraživanja, odnosno što je njihova verodostojnost manja, razmera kompilacionih karata biće sitnija.

Sadržaj kompilacionih karata zavisi, razumljivo, od stepena istraženosti terena, odn. od bogatstva dokumentacije o istraživanom području. Kao pravilo, u nas se sreće daleko obimnija geološka nego geomorfološka dokumentacija.

Treću fazu pripremnih radova čini kabinetska kompleksna geomorfološka analiza. Kvantitativni postupci obuhvataju obradu parametara dobijenih sa topografskih karata. Izbor postupaka zavisi od specifičnosti terena. U pripremnom periodu izradjuje se karta nagiba padina, a prema potrebi karte rekonstruisanog reljefa ranijih faza morfološke evolucije i karte izolinija drugih kvantitativnih parametara reljefa.

Kvalitativna kabinetska geomorfološka analiza izvodi se metodima daljinske detekcije. Analizom satelitskih snimaka izradjuje se karta regionalne morfostrukturne rejonizacije i rupturnog sklopa. Ova karta se radi kao pregledna, u dva do pet puta sitnijoj razmeri od planirane geomorfološke karte. Ona treba da obuhvati nekoliko puta veći prostor od područja za koje se izradjuje geomorfološka karta.

Detaljni podaci o morfogenetskim, morfografskim, morfohronološkim, a prema potrebi i morfometrijskim odnosima na kartiranom području dobijaju se stereoskopskom analizom aerosnimaka. Ovi snimci pružaju, takodje, i podatke o geološkoj gradji, te se može proučavati i veza reljefa sa geologijom terena. Na taj način analiza aerosnimaka postaje osnovni postupak u metodologiji izrade geomorfološke karte.

U klasičnim metodološkim koncepcijama kao preduslov za izradu geomorfološke karte postavlja se terenski rad. Jedan od priznatih autoriteta na polju geomorfološkog kartiranja, Tricart J. (1965.), na primer, navodi: "...detaljna geomorfološka karta se može snimiti samo na terenu, svakako uz eventualnu pomoć aerosnimaka, koje ne treba zaboraviti ni na koji način.... . Samo minuciozne terenske studije dozvolja-

vaju korektnu identifikaciju oblika sa dinamičkog gledišta, bitnu kod ove razmere, i njihovo datiranje sa preciznošću koju ta razmera traži". I dalje: "... u nedovoljno razvijenim zemljama, gde je istraživanje u embrionalnom stadijumu, prevelika se važnost pridaje aerosnimcima (zbog komoditeta), a zanemaruju terenske studije procesa. Zloupotreba je terminologije što se takve karte prikazuju kao geomorfološke. One se od njih fundamentalno razlikuju."

Dilema analiza aerosnimaka ili terensko kartiranje, odnosno kabinetsko ili terensko istraživanje, ne postoji, niti se takvo pitanje može postaviti. Kabinetskim i terenskim istraživanjima se prikupljaju različite kategorije podataka. Ova dva vida istraživanja čine sastavne delove jedinstvenog procesa kartiranja. Oni se medjusobno dopunjavaju, a nikako se ne isključuju.

Nesporazum, medjutim, može nastati po pitanju učešća, odn. značaja analize aerosnimaka pri geomorfološkom kartiranju. Aerosnimci omogućavaju dobijanje egzaktnog trodimenzijalnog modela terena. Na ovom modelu svojstva reljefa su u detalje dostupna neposrednom osmatranju i izučavanju. Podaci prikupljeni analizom aerosnimaka su pouzdani, a njihovo dobijanje je ekonomično. Terenska osmatranja se ovim ne isključuju, ali se znatno redukuju i usmeravaju na područja i pojave od bitnog značaja za izradu geomorfološke karte. Na taj način proces geomorfološkog kartiranja postaje i objektivniji i racionalniji.

Na osnovu podataka dobijenih kvalitativnim geomorfološkim ispitivanjem aerosnimaka izradjuje se preliminarna geomorfološka karta. Njena razmera treba da bude krupnija, ili bar jednaka razmeri finalne geomorfološke karte. Aerosnimci obezbedjuju sve kategorije podataka koje predvidja sadržaj geomorfološke karte. Na preliminarnoj karti podaci se prikazuju na isti način kao i na finalnoj geomorfološkoj karti.

U preliminarnu geomorfološku kartu unose se i podaci sa kompilacionih karata, dobijeni proučavanjem rezultata ranijih istraživanja. Ovakva, upotpunjena geomorfološka karta koristi se za interpretaciju morfometrijskih karata, uradjenih na osnovu kabinetske kvantitativne geomorfološke analize topografskog materijala.

Izradom preliminarne geomorfološke karte i interpretacijom morfometrijskih karata stvorena je solidna osnova za formiranje radne hipoteze o geomorfološkim odnosima, zavisnosti reljefa od geološke gradje

i vezi evolucije reljefa i najmladje tektonske aktivnosti terena. Dosadašnja iskustva pokazuju da terenske provere u najvećem broju slučajeva potvrdjuju podatke dobijene kabinetskim istraživanjima. Broj ispravki, pa i dopuna, bio je, po pravilu, veoma mali (Menković Lj., Košćal M., Marković M., 1981.).

Period pripremnih radova se završava izradom plana terenskih osmatranja. Prilikom izrade preliminarne geomorfološke karte i stvaranja radne hipoteze o geomorfologiji ispitivane oblasti ističu se predpostavke koje zahtevaju proveru i dopunu na terenu. Na preliminarnoj karti se označavaju mesta gde će se ovakve predpostavke najpotpunije proveriti. Isto tako, još tokom izrade preliminarne karte označavaju se lokalnosti u kojima je interpretacija bila problematična. Posebno se lociraju najpogodnija mesta za uzimanje uzoraka za laboratorijske analize.

Pravci terenskih maršruta i raspored tačaka osmatranja planiraju se, takodje, prema podacima preliminarne geomorfološke karte. Stereoskopskom analizom aerosnimaka utvrdjuju se najinstruktivnije maršrute po najprohodnijim pravcima. Na maršrutama se, analizom snimaka, odredjuju i tačke osmatranja. One se lociraju na mestima gde je kabinetska interpretacija bila nesigurna, odnosno na mestima gde je moguće prikupiti najviše podataka.

Maršrute, tačke osmatranja i tačke uzimanja uzoraka ucrtavaju se na topografsku osnovu koja će se koristiti pri terenskim osmatranjima. U klasičnom slučaju takvu osnovu predstavlja topografska karta. Daleko pogodniju osnovu čine sami aerosnimci, odnosno, za krupne razmere njihovo povećanje (fotoskice). Pri upotrebi aerosnimaka i fotoskica podaci se lociraju na providnu foliju postavljenu preko snimka, kako bi podloga ostala čista i čitka za dalji rad.

Gustina maršruta i broj tačaka osmatranja, odn. tačaka na kojima se uzimaju uzorci, zavisi od geomorfološke složenosti terena, stepena prethodne istraženosti i od razmere i namene geomorfološke karte. Postojeća uputstva i standardi najčešće regulišu obim terenskih istraživanja, nezavisno od metodologije geomorfološkog kartiranja. I u takvim slučajevima uradjena preliminarna geomorfološka karta i stereoskopska analiza aerosnimaka obezbedjuju izbor najpogodnijih maršruta i tačaka osmatranja.

Uzimajući u obzir obim predvidjenih radova, a posebno rezulta-

te koji se dobijaju, može se zaključiti da pripremni radovi čine najduži, pa i najznačajniji period u procesu geomorfološkog kartiranja. U ovom periodu se formira hipoteza o geomorfologiji istraživanog područja i izradjuje preliminarna geomorfološka karta. Dosadašnja iskustva pokazuju da radna hipoteza i preliminarna geomorfološka karta tokom terenskih i završnih radova pretrpe tek manje izmene i dopune. Može se stoga opravdano postaviti pitanje da li je termin "period pripremnih radova" sasvim adekvatan svom sadržaju.

Dužina perioda pripremnih radova zavisi od više faktora. Ona je, pre svega, uslovljena veličinom kartiranog terena, razmerom predvidjene geomorfološke karte, složenošću geomorfoloških odnosa na ispitivanom području i stepenom geološke i geomorfološke istraženosti terena. Obično se računa da pripremni radovi traju onoliko koliko traju period terenskih istraživanja i period završnih radova zajedno.

(3) Terenska istraživanja

U fazi terenskih istraživanja neposrednim osmatranjem se proverava, ispravlja i dopunjava koncepcija o geomorfološkim odnosima u ispitivanoj oblasti i kabinetski uradjena preliminarna geomorfološka karta.

Zadatak terenskih istraživanja je:

- Neposredno osmatranje procesa, pojava i oblika, utvrdjivanje njihovih svojstava i njihovih medjusobnih prostornih i hronoloških odnosa.
- Utvrdjivanje specifičnosti i zavisnosti razvoja procesa, odnosno pojedinih oblika od geološke gradje terena.
- Utvrdjivanje metričkih odnosa procesa, oblika, ili pojedinih njihovih elemenata, ukoliko se takva merenja nisu mogla dovoljno pouzdano obaviti kabinetski.
- Prikupljanje uzoraka za laboratorijska ispitivanja.

Osnovni postupak kod terenskih istraživanja predstavlja osmatranje po maršruti. Pravci maršruta i raspored tačaka osmatranja planiraju se, kako je već rečeno, još u fazi kabinetskih pripremnih radova.

Osmatranje po maršruti izvodi se i dokumentuje po analogiji sa geološkim kartiranjem. Tačke osmatranja se lociraju na topografskoj osnovi (topografska karta, aerosnimak, ili fotoskica). Pod brojem tačke u dnevnik se sistematski unose sva opažanja na odgovarajućoj tački. Opažanja se ilustruju skicama i profilima. Načinjene fotografije se označavaju brojem tačke.

Dnevnik terenskih osmatranja, bilo da su osmatranja na terenu unošena u svesku ili diktirana neposredno u magnetofon, u bazi se svakodnevno, nakon završenog terenskog rada, prekucava pisaćom mašinom. Ukoliko kartiranje obavlja više istraživača svako od njih vodi sopstveni dnevnik i svako od njih označva tačke osmatranja sopstvenim brojevima. Kao i u geološkom kartiranju, šef ekipe označava svoje tačke osmatranja brojevima od 1 do 1ooo, drugi član ekipe brojevima od 1ool do 2ooo, treći od 2ool do 3ooo i t.d.

U bazi se vodi i dokumentaciona karta na koju se svakodnevno ucrtavaju predjene maršrute i položaj tačaka osmatranja na njima. Dokumentaciona karta se izradjuje na topografskoj karti iste razmere kao i finalna geomorfološka karta. Tačke osmatranja svakog člana ekipe se označavaju odgovarajućim brojevima i povezuju linijama u bojama. U legendi karte se naznačuje koja boja odgovara kome članu ekipe. Na taj način maršrute i terenski rad svakog člana ekipe postaju pregledne i očigledne.

Uzorci uzeti za laboratorijska ispitivanja označavaju se posebnim brojevima. U bazi se vodi knjiga uzoraka. U nju se upisuje broj uzorka, broj tačke na kojoj je uzorak uzet, koordinate tačke, opis sredine iz koje je uzorak uzet i konačno, vrsta analize koja se predvidja, odnosno zadatak koji ta analiza treba da reši. Tekst za svaki uzorak piše se u duplikatu. Original ostaje u knjizi uzoraka, a duplikat se prilaže uz uzorak i dostavlja stručnjacima koji će obavljati laboratorijska ispitivanja.

Uzorci moraju biti tako obezbedjeni i spakovani da se ni pod kojim uslovima ne dovede u pitanje mešanje njihovog sadržaja ili jasnoća njihovih oznaka. U geologiji je uobičajeno da se na komade čvrste stene stavlja nalepnica (leukoplast) na kojoj se markerom ispisuje broj uzorka i tačke na kojoj je uzorak uzet. Trošne stene se pakuju u posebne kese sa istim oznakama. Prateća dokumentacija (duplikat iz knjige

uzoraka) posebno se dostavlja laboratoriji.

Položaj tačaka na kojima su uzeti uzorci posebno se označava na dokumentacionoj karti. Najčešće se oko upisane tačke osmatranja, na kojoj je uzet uzorak, ucrtava kružić, napr. prečnika od 3 mm, a pored broja tačke upiše se i broj uzorka. Kružić i broj uzorka se upisuju posebnom bojom, rezervisanom isključivo za uzorke.

Uzorci za laboratorijska ispitivanja šalju se na obradu tokom terenskih radova. Njihovi rezultati trebalo bi da budu na raspolaganju već na završetku terenskih i početku završnih, kabinetskih radova.

Rezultati terenskih osmatranja svakodnevno se unose u preliminarnu geomorfološku kartu. Na taj način obezbedjuje se kontinuitet njenih provera, korekcija i dopuna.

Tokom terenskih radova aerosnimci se koriste za orijentaciju i kao podloga za lociranje osmatranih podataka. Aerosnimci, medjutim, i pri terenskim radovima ostaju nezamenljivi izvor informacija o geomorfološkim odnosima na ispitivanom terenu. Na samoj tački osmatranja uz pomoć džepnog stereoskopa istraživač će dobiti celovitiju i preglednu sliku reljefa. Mogućnost neposredne provere učiniće ova osmatranja apsolutno verodostojnim. Stereoskopska analiza aerosnimaka u bazi, nakon završene maršrute terenskih osmatranja, omogućava objektivno povezivanje osmatranaih podataka, olakšava i povećava tačnost unošenja neophodnih izmena i dopuna u preliminarnu geomorfološku kartu.

Sistematskim svakodnevnim proverama, ispravkama i dopunama preliminarna, kabinetski uradjena geomorfološka karta postepeno menja svoj karakter i postaje objektivni grafički prikaz geomorfoloških odnosa u ispitivanoj oblasti.

Prilikom geomorfološkog kartiranja u krupnim razmerama, na primer 1:5.ooo i krupnije, posebno kod oblika i pojava koje imaju veći praktični značaj, može se koristiti metod praćenja geomorfološke granice, ili metod snimanja geomorfološkog profila. Primena ovakve metodologije obično zahteva instrumentalno kartiranje. Kod rutinskog geomorfološkog kartiranja u sitnijim razmerama ona se, po pravilu, ne primenjuje.

Kod ispitivanja aktivnog procesa mogu se izvoditi i stacionarna osmatranja. Ovaj metod zahteva, medjutim, duži vremenski period, najčešće od više godina. Stoga se pri geomorfološkom kartiranju obično koriste rezultati eventualno ranije izvedenih stacionarnih istraživanja.

Oni se uključuju u geomorfološku kartu još tokom pripremnih, kabinetskih radova.

Primena posebnih terenskih metoda geomorfološkog istraživanja, kao što su praćenje granice, snimanje profila i stacionarna osmatranja, zahteva i posebnu dokumentaciju. Kod instrumentalnog snimanja vode se geodetski zapisnici. Za stacionarno osmatranje priprema se posebna knjiga u koju se po rubrikama sistematski unose datum i vreme osmatranja, spoljni uslovi (napr. temperatura, vlažnost, pritisak i sl.) i karakteristike pojave koja se osmatra. Rubrike knjige formiraju se prema karakteristikama pojave koja se osmatra.

Primena posebne metodologije terenskog geomorfološkog kartiranja naglašava se u tumaču geomorfološke karte. Područja na kojima je ova metodologija primenjena posebno se ističu na skici datoj u tumaču.

Obim i trajanje terenskih istraživanja kod geomorfološkog kartiranja zavisi od brojnih faktora. Najvažniji od njih su veličina kartiranog područja, stepen ranije istraženosti terena, stepen složenosti geomorfoloških odnosa, odn. pouzdanost preliminarne, kabinetske geomorfološke karte, razmera, namena geomorfološke karte i zahtevi koji se stavljaju pred nju. Terenski rad na geomorfološkom kartiranju nije normiran. Dosadašnja iskustva u nas pokazuju da tokom jedne terenske sezone ekipa od dva do tri istraživača može obaviti terenska osmatranja za više listova geomorfološke karte razmere 1:1oo.ooo (Menković Lj., Košćal M., 198o., 1981., 1982., 1983.).

(4) Period završnih radova

Završni radovi u geomorfološkom kartiranju se izvode kabinetski. Oni obuhvataju reambulaciju celog istraživanog područja, izradu finalne geomorfološke karte i njenih priloga i pisanje tumača.

Zadatak završnih radova je:

- Stvaranje finalne koncepcije o morfografskim, morfometrijskim, morfohronološkim i morfogenetskim odnosima na kartiranom terenu.
- Objašnjenje geomorfološke evolucije ispitivane oblasti i

utvrdjivanje veze egzogenih procesa sa endogenim pokretima.
- Grafička obrada materijala - izrada finalne verzije geomorfološke karte i odgovarajućih priloga.
- Pisanje tumača.

Reambulacija terena se obavlja stereoskopskom analizom aerosnimaka. Ovim pregledom obuhvata se celo kartirano područje. Prilikom reambulacije izradjuje se finalna verzija geomorfološke karte. Njena izrada se zasniva na rezultatima prethodne, kabinetski obavljene kompleksne geomorfološke analize, rezultatima terenskih osmatranja i rezultatima laboratorijskih ispitivanja uzoraka prikupljenih na terenu.

U završnom periodu mogu biti izvedene i dopunske kvantitativne, morfometrijske analize. Na osnovu finalne verzije geomorfološke karte može se javiti potreba za kvantitativnom analizom i dokazivanjem odredjenih stadijuma geomorfološke evolucije, odn. njihovih oblika. Tako se, na primer, može obaviti rekonstrukcija starih jezersko-marinskih površi na čije postojanje ukazuje geomorfološka karta, može se obaviti njihova hipsometrijska, odnosno altimetrijska analiza i t.d.

Završena kompleksna geomorfološka analiza terena i grafička prezentacija njenih rezultata u vidu geomorfološke karte omogućava formiranje konačne koncepcije o geomorfološkim odnosima u istraživanoj oblasti. Najvažniji, ali i najspekulativniji deo u ovoj koncepciji je objašnjenje geomorfološke evolucije. Ono zahteva veoma dobro poznavanje geologije terena, posebno najmladjih tektonskih pokreta u geološkoj istoriji kartirane oblasti.

Izradom manuskriptne finalne geomorfološke karte i stvaranjem koncepcije o geomorfologiji kartirane oblasti, formulisane u konceptu tumača karte završava se proces geomorfološkog kartiranja. Preostaje tehnički deo posla. Geomorfološka karta i uz nju predvidjeni prilozi iscrtavaju se u finalnom obliku, prekucava se tumač, unose prateći prilozi, fotografije i t.d.

Vreme trajanja završnih radova najvećim delom zavisi od broja tehničkog osoblja angažovanog na njihovoj realizaciji. Sama reambulacija terena i eventualne dodatne kvantitativne analize traju razmerno kratko. Kod korektno obavljenih pripremnih radova, uz savesna terenska osmatranja, izmene koje se unose u koncepciju geomorfološke karte u završnom periodu su, po pravilu, veoma male.

L I T E R A T U R A

1. Bašenina N.V., Leontjev O.K., Zorin L.V., Piotrovskij M.V., Simonov Ju.G. (1959.): Metodičeskie ukazanija po geomorfologičeskomu kartirovaniju i proizvodstvu geomorfologičeskoj sjemki v masštabe 1:5o.ooo - 1:25.ooo.
   Izd. MGU, Moskva.

2. Bašenina N.V., Leontjev O.K., Simonov Ju.G., Viskrebenceva V.S., Zaruckaja I.P. (196o.): Legenda geomorfologičeskoj karti Sovjetskogo Sojuza masštaba 1:5o.ooo - 1:25.ooo.
   Moskva.

3. Demek J., editor, (1972.): Manual of Detailed Geomorphological Mapping.
   IGU, Commission for Geomorphological Survey and Mapping. Praha.

4. Demek J., Embleton C. (1976.): Guide to Medium-scale Geomorphological Mapping.
   IGU, Brno.

5. Fairbridge R.W. (1968.): The Encyclopedia of Geomorphology.
   Reinhold Book Co., New York.

6. Gams I. (1968. a): Geomorfološko kartiranje na primeru Rakitne in Glinic.
   Geografski vestnik, 4o. Ljubljana.

7. Gams I. (1968. b): Koncepti geomorfološke karte v velikem merilu in predlog za geomorfološko karto Jugoslavije 1:5oo.ooo.
   Zbornik na VIII Kongres na geografite od SFRJ vo Makedonija. Skopje.

8. Gams I., Natek K. (1981.): Geomorfološka karta 1:1oo.ooo in razvoj reliefa v Litijski kotlini.
   Geografski Zbornik XXI, 1981. Ljubljana.

9. Gams I., Zeremski M., Marković M., Lisenko S., Bognar A. (1981.): Uputstvo za izradu pregledne geomorfološke karte SFRJ u razmeru 1:5oo.ooo.
   Radna grupa Naučnog veća medjurepubličko-pokrajinskog projekta za geomorfološko kartiranje. Beograd.

'1o. IGU, Commission on aplied geomorphology, subcommission on geomorphological mapping (1968.): The unified key to the detailed geomorpological map of the world 1:25.ooo - 1:5o.ooo.
   Folia geografica, series geographica-physica, vol.II.Kraków.

11. Joly F. (1962.): Principes pour une mèthode de cartographie gèomorphologique.
   Bull. de l'Asoc. de Gèogr. Franc., 3o9-31o. Paris.

12. Klimaszewski M., Tricart J. (1963.): Resolution adopted at the conference of the Subcommission on geomorphological mapping.
   Inst. of geogr., Pol.Acad. of Sci., Geogr. Studies, 45.Warszava.

13. Marković M. (1973. a): Geomorfološka evolucija i neotektonika Orjena. Doktorska disertacija. Rud.-geol.fak., Beograd.

14. Marković M. (1973. b): Shvatanje o geomorfološkoj karti i predlog modela geomorfološke karte u nas. Geol. anali Balk. poluostrva, 38. Beograd.

15. Marković M. (1976. a): Detaljna geomorfološka karta SFRJ. Zbornik I Jug. simpozijuma o geomorf. kartiranju. Geogr. inst. 27, Beograd.

16. Marković M. (1976. b): Geomorfološka karta Orjena. Zbornik I Jug. simpozijuma o geomorf. kartiranju. Geogr. inst. 27, Beograd.

17. Menković Lj., Košćal M. (198o.): Tumač za geomorfološku kartu terena pokrivenih kvartarnim tvorevinama u SR Srbiji, 1:1oo.ooo. Listovi: Šabac, Pančevo, Obrenovac, Smederevo, Lapovo, Bijeljina, Beograd, Bela Crkva, Požarevac i Kragujevac. Fond stručnih dokumenata. RSIZ za geološka istraživanja SR Srbije, Beograd.

18. Menković Lj., Košćal M. (1981.): Tumač za geomorfološku kartu SR Srbije, 1:1oo.ooo. Listovi: Zvornik, Vladimirci, Ljubovija, Valjevo i G.Milanovac. Fond stručnih dokumenata. RSIZ za GI SR Srbije, Beograd.

19. Menković Lj., Košćal M. (1982.): Tumač za geomorfološku kartu SR Srbije, 1:1oo.ooo. Listovi: Višegrad, T.Užice, Čačak, Kraljevo i Paraćin. Fond stručnih dokumenata. RSIZ za GI SR Srbije. Beograd.

2o. Menković Lj., Košćal M. (1983.): Tumač za geomorfološku kartu SR Srbije, 1:1oo.ooo. Listovi: V.Gradište, Kučevo, D.Milanovac, Turnu Severin, Bor i Negotin. Fond stručnih dokumenata. RSIZ za GI SR Srbije. Beograd.

21. Menković Lj., Košćal M., Marković M.(1981.): Geomorfološka karta terena pokrivenih kvartarnim tvorevinama u SR Srbiji. Zbornik radova sa simpozijuma "2o godina LMGK", Bilten LMGK,3. RGF, Beograd.

22. Panizza M. (1972.): Schema di legenda per carte geomorfologiche di dettaglio. Bol. Soc. Geol.Ital., 91.

23. Passarge S. (1914.): Morphologischer Atlas. Erlauterungen zur lieferung I. Morphologie des Messtischblattes Stadtremda. Hamburg.

24. RSIZ za GI SR Srbije (1978.): Nacrt uputstva za izradu tematske geološke karte. Geomorfološka ispitivanja. Beograd.

25. SGZ (1976.): Dopuna uputstva za izradu osnovne geološke karte SFRJ u terenima pokrivenim kvartarnim tvorevinama. Beograd.

26. Spiridonov A.I. (197o.): Osnovi obščej metodiki polevih geomorfologičeskih issledovanij i geomorfologičeskogo kartirovanija.
Visšaja škola. Moskva.

27. Verstappen H.Th., van Zuidam R.A. (1975.): ITC system of geomorphological survey.
ITC textbook of photointerpretation, 7. ITC, Enschede.

28. Zeremski M. (1976.): Osvrt na dosadašnje rezultate o geomorfološkom kartiranju u Jugoslaviji.
Prvi Jugoslovenski simpozijum o geomorfološkom kartiranju. Zbornik radova, Geograf. institut, knj. 27. Beograd.

GEOMORFOLOŠKA KARTA

Po Lj. Menkoviću i M. Košćalu (1982.)



I.

1 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5

II.

1 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5

1.6 1.7 t_1 1.8 t_2 1.9 1.10

2 2.1 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6

2.7

3

LITOLOGIJA

1 2 3 4 5 6 7

8 9

MORFOHRONOLOGIJA

Q_1

Q_2

Pl

M