

Način izrade i primjena faktorskih karata u analizi strukturnih odnosa

Zoran PEH

Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, p.p. 283, YU-41000 Zagreb

Ključne riječi: faktorski bodovi, faktorske karte, faktorski profil, interval povjerenja, faktorski indikatori, aktivne strukture, aktivni rasjedi

Key words: Factor scores, factor maps, factor profile, confidence interval, factor indicators, active structures, active faults

Opisuje se metodologija izrade faktorskih karata i njihova primjena u proučavanju strukturnih odnosa u području između Maceljske gore, Strahinšćice i Ravne gore. Ove karte prikazuju utjecaj geomorfoloških procesa u arealu istraživanja. Njihova analiza omogućuje definiranje faktorskih pokazatelja koji ukazuju na područja izdizanja, spuštanja i rasjedanja. Faktorski indikatori predstavljaju osnovu za izdvajanje aktivnih struktura i aktivnih rasjeda u reljefu.

Methodology in elaboration of factor maps and their application in the study of tectonic relations in the area amidst Maceljska Gora, Strahinščica and Ravna Gora are described. These maps show influence of geomorphic processes in the area investigated. Factor indicators of the uplift and subsidence areas as well as the zones of faulting can be derived from their further treatment. Factor indicators frame the basis for demarcation of active structures and active faults in landscape.

Uvod

Kartografsko prikazivanje rezultata dobivenih matematskim modeliranjem geoloških procesa, posebno metodom faktorske analize, snažno je sredstvo u rješavanju aktualne geološke problematike. U strukturno-geomorfološkim istraživanjima faktorsko-analitički pristup opravdan je činjenicom da se proučavanjem kvantitativnih odnosa između različitih oblika reljefa mogu otkriti uzročno-posljedične i genetske veze među njima i na taj način upoznati procesi koji sudjeluju u njihovom stvaranju. Pri tom treba naglasiti da istraživanje kvantitativnih odnosa između morfometrijskih parametara ili varijabli predstavlja srž R-načina ili modaliteta faktorske analize. U njenoj praktičnoj primjeni vrlo često se kao krajnji cilj postavlja definiranje faktora koji tumače stanovite prirodne procese pa faktorska matrica zadovoljava zahtjeve analize. Međutim u geologiji, a naročito u strukturno-geomorfološkim istraživanjima, faktorski model je moguće prikazati u obliku odgovarajućih karata. Na taj se način iskazuju odnosi među uzorcima ili, bolje rečeno, razlike koje pojedini prirodni procesi, izraženi faktorima, izazivaju među uzorcima. Pri tome se erozijske površine ili drenažni bazeni smatraju osnovnim geomorfološkim jedinicama (Chorley, 1969) i kao takvi oni predstavljaju samostalne geološke objekte, odnosno uzorke. Poznavanjem položaja uzoraka s pripadnim »sadržajem« faktora na topografskoj podlozi, stječe se uvid u prostorni raspored (u dvodimenzionalnoj projekciji) pojedinih faktora, odnosno u područje dominacije ili odsutnosti stanovitih geoloških procesa. U strukturno-geomorfološkim istraživanjima to je od posebne važnosti, jer se čimbenici koji sudjeluju u oblikovanju suvremenog reljefa mogu prikazati izolirano ili na neki drugi prikladan način.

Osnovni cilj ovog rada je da ukaže na mogućnost primjene faktorskog modela u proučavanju strukturnih odnosa, odnosno na koji način faktorske karte mogu poslužiti u otkrivanju aktivnih rasjeda i struktura u suvremenom reljefu. Faktorska analiza erozijskih površina četvrtog reda u području između Maceljske gore, Strahinšćice i Ravne gore (Peh, 1989) rezultirala je matematskim modelom na osnovi kojeg su definirani pokazatelji izdizanja, spuštanja i aktivnih rasjeda te prikazani na odgovarajućim faktorskim kartama. Pri njihovoj interpretaciji korišteni su brojni podaci iz objavljenih radova u kojima su opisani strukturni i geomorfološki odnosi te neotektonska aktivnost u području istraživanja i šire (primjerice Hećimović, 1984; Kranjec, Prelogović i dr., 1969; Kranjec i Prelogović, 1974; Prelogović i Hernitz, 1968; Prelogović, 1975; Prelogović, Velić i dr., 1985; Premru, 1976, An. Šimunić i Al. Šimunić, 1987 i drugi). Glavni radovi iz kojih su crpljeni podaci navedeni su u popisu literature, a pojedini autori citirani su u tekstu.

Od faktorskih karata se očekuje da posluže kao dopunsko sredstvo u strukturno-geomorfološkoj analizi raščlanjenog reljefa, naročito u područjima koja su pokrivena neogenskim i kvartarnim naslagama.

Faktorski bodovi

Faktori se u R-načinu faktorske analize mogu smatrati funkcijom izvornih varijabli. Oni u stvarnosti predstavljaju neku vrstu »novih« varijabli koje su nastale faktorizacijom izvornih podataka (Jöreskog, Klován i Reyment, 1976). Nakon postavljanja faktorskog modela i interpretacije faktora moguće je odrediti u kojoj mjeri je takva nova varijabla prisutna u svakom uzorku. »Sadržaj« ili

»količina« faktora u uzorku izražena je faktorskim bodovima.

Faktorski bodovi izračunavaju se iz poznatog faktorskog modela. Pri tome treba voditi računa da u faktorskoj analizi nije moguće izračunati direktne faktorske bodove (komponentne bodove) kao u analizi glavnih komponenti (PCA), jer je broj faktora (»novih« varijabli) k uvijek manji od broja izvornih varijabli p ($k < p$). S obzirom da je u faktorskoj analizi na R-način u obzir uzet samo dio ukupne varijance varijabli (onaj koji je sadržan u zajedničkim faktorima), faktorski bodovi ne predstavljaju direktne vrijednosti, već procjene faktora, a izračunavaju se metodom regresije na osnovi najmanjih kvadrata. To je danas vjerojatno najčešće korištena metoda procjene faktorskih bodova u faktorskoj analizi zajedničkih faktora (Fulgosi, 1984).

Proračun faktorskih bodova u faktorskoj analizi zajedničkih faktora može se prikazati slijedećim matematičkim izrazom (Jöreskog, Klován i Reyment, 1976):

$$[F]_{Nk} = [Z]_{Np} [R]_{pp}^{-1} [A]_{pk}$$

gdje su:

$[F]_{Nk}$ – matrica faktorskih bodova

$[Z]_{Np}$ – matrica standardiziranih izvornih podataka

$[R]_{pp}$ – simetrična korelaciona matrica

$[A]_{pk}$ – faktorska matrica

N – broj uzoraka

p – broj varijabli

k – broj faktora

Matrica faktorskih bodova $[F]$ sastoji se od N redova koji predstavljaju uzorke i k stupaca koji predstavljaju faktore. Budući da matrica $[Z]$ sadrži izvorne podatke u standardiziranom obliku sa $z=0$ i $\sigma_z=1$, u istom obliku prikazani su i faktorski bodovi. To znači da je »sadržaj« faktora u uzorku izražen kao odstupanje od srednje vrijednosti u jedinicama standardne devijacije. Stvarna srednja vrijednost i standardne devijacije ostaju nepoznati pa se vrijednosti faktorskih bodova mogu koristiti samo u relativnom smislu. Zato se može reći da elementi matrice $[F]$ predstavljaju procjene faktorskih bodova izražene u jedinicama standardne devijacije.

Faktorskom analizom u području između Maceljske gore, Strahinščice i Ravne gore generiran je faktorski model s pet ortogonalnih faktora koji su definirani kao *horizontalna raščlanjenost F1, intenzitet erozije F2, erozijski nivoi F3, nagib reljefa F4 i parcijalna horizontalna raščlanjenost F5* (Peh, 1989). Daljnjom obradom faktorskog modela izračunata je rotirana matrica faktorskih bodova (Tablica 1) koja pokazuje »količinu« ili »sadržaj« svakog faktora u 126 uzoraka u području istraživanja.

Interpretacija matrice faktorskih bodova $[F]$ je vrlo jednostavna. Visoke pozitivne ili negativne vrijednosti faktorskih bodova znače naglašenu prisutnost faktora u uzorku (pozitivnim ili negativnim polom), dok vrijednosti bliske nuli pokazuju da je utjecaj faktora slabo izražen.

Na primjer, faktorski bod trećeg faktora $F3$ u uzorku 90 ima vrlo visoku vrijednost koja iznosi

Tablica 1 – Table 1

Rotirana matrica faktorskih bodova / Varimax factor score matrix

	F1	F2	F3	F4	F5
1	2.2735	2.8311	-2.3899	1.1857	0.0145
2	0.8467	2.0156	0.4237	1.4951	0.6985
3	-0.4245	3.0848	-0.5929	1.5026	2.0170
4	2.0009	0.7171	2.1959	0.7654	-0.4877
.					
.					
.					
.					
.					
65	0.1321	-0.9581	0.0228	-0.0368	0.2696
66	-1.4226	-0.4482	0.1673	-0.6144	-0.3337
67	-0.3452	-0.1453	0.0131	-0.3442	-1.2975
.					
.					
.					
.					
89	0.8980	1.0248	-0.6401	-0.8350	0.1059
90	0.8815	1.5635	3.7237	0.9492	-0.4557
91	-0.3340	-0.1285	-0.5014	-1.5437	0.3675
.					
.					
.					
.					
123	0.0344	-0.5762	-0.7546	0.6069	0.9433
124	0.6695	-0.7452	1.4500	1.4373	0.8278
125	0.6143	-0.5660	0.3217	0.8388	1.2396
126	-0.7252	0.6129	-3.0458	1.4520	0.6480

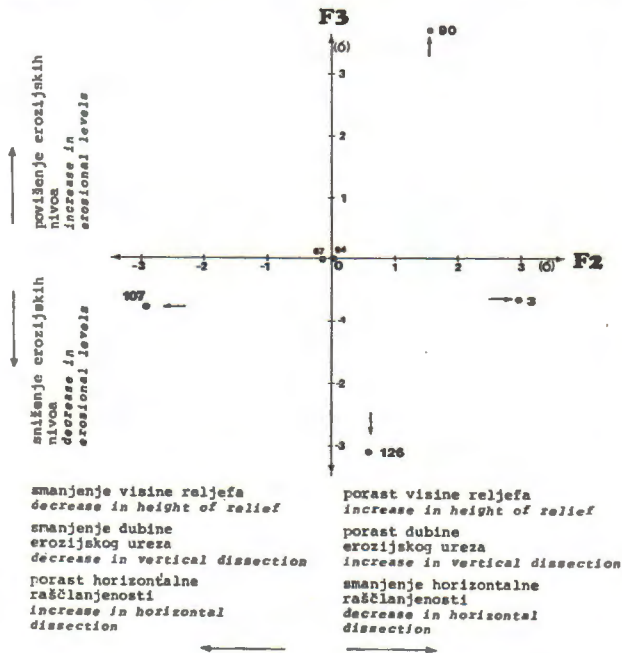
+3.7237 (σ). Kako je $F3$ faktor erozijskih nivoa, to znači da su oni u uzorku 90 na izuzetno velikoj nadmorskoj visini. Nasuprot tome sadržaj $F3$ izražen vrijednošću -3.0458 (σ) u uzorku 126 upućuje na izuzetno niske nivoe erozije. Erozijski nivoi uzorka 67, s faktorskim bodom $+0.0131$ nisu niti niski niti visoki pa prema tome ne mogu biti pokazatelj nikakvih anomalija u reljefu i erozijskoj mreži.

Na sličan način mogu se tumačiti faktorski bodovi svih preostalih monopolarnih faktora, dakle onih koji vežu varijable s visokim faktorskim opterećenjima samo na jednom polu faktora. Takav je slučaj s faktorima horizontalne raščlanjenosti, nagiba reljefa i parcijalne horizontalne raščlanjenosti (faktor dolina trećeg reda). Budući da su sve skupine varijabli koje tumače spomenute faktore grupirane na njihovom pozitivnom polu, to znači da pozitivne vrijednosti faktorskih bodova ukazuju na povećanu horizontalnu raščlanjenost, povećani nagib reljefa i povećanu parcijalnu horizontalnu raščlanjenost, a negativne na suprotno.

Nešto je složenija situacija u slučaju kad je faktor bipolaran, kao što je to faktor intenziteta erozije $F2$. Na pozitivnom polu grupirane su varijable koje reprezentiraju vertikalnu raščlanjenost reljefa – UR, RR i HO (ukupni reljef, relativni reljef i maksimalna visina razvodnice), a na negativnom polu varijable koje održavaju intenzitet raščlanjenosti erozijske mreže – DG i FD (gustoća erozijske mreže i frekvencija dolina). Pozitivne vrijednosti faktorskih bodova

u tom slučaju odražavaju normalan polaritet faktora, što znači da indiciraju sve erozijske površine koje se odlikuju visokim reljefom i velikom dubinom erozijskog ureza, ali i slabom raščlanjenošću erozijske mreže. Obratno, negativne vrijednosti faktorskih bodova odraz su inverznog polariteta faktora, što znači da se uzorci karakteriziraju niskim reljefom i malom dubinom erozijskog ureza, ali i velikom horizontalnom raščlanjenošću.

Karakteristike faktorskog polariteta prikazane su na slici 1.



Sl. 1. Projekcije rotiranih faktorskih bodova na ravninu druge i treće faktorske osi

Fig. 1. Varimax factor score plots in the plane of second and third factor axes

Na dijagramu su dani samo uzorci s karakterističnim vrijednostima faktorskih bodova (visokim pozitivnim, visokim negativnim te vrijednostima bliskim nuli) drugog i trećeg faktora.

Vrlo važna osobina matrice faktorskih bodova izvedene iz ortogonalnog faktorskog modela (na primjer faktorske matrice rotirane varimax metodom) je međusobna nezavisnost faktora. To znači da se faktorski bodovi bez ograničenja mogu upotrijebiti u daljnjoj statističkoj obradi. Treba napomenuti da su faktorski bodovi zajedničkih faktora distribuirani u obliku normalne krivulje što omogućuje korištenje intervala povjerenja i drugih statističkih kriterija kao pokazatelja dominacije ili ograničenja u razvoju, na primjer, nekih geoloških pojava ili procesa.

Faktorske karte

Varijabilnost faktora može se prikazati na odgovarajućim kartama. Izrada tih karata osniva se na principu interpolacije između točaka koje označavaju uzorke s pripadnim vrijednostima faktorskih bodova.

Zgušnjavanja i nagla povijanja izolinija posljedica su većih promjena varijabilnosti faktora, što može

ukazivati na pružanje rasjeda i rasjednih zona. Zone maksimuma (maksimalnih pozitivnih vrijednosti faktorskih bodova) i minimuma (maksimalnih negativnih vrijednosti faktorskih bodova) zaokružuju područja anomalnih vrijednosti faktorskih bodova, otkrivajući na taj način položaj aktivnih struktura.

Niz od nekoliko takvih karata za isto područje pruža elemente za stanovitu rekonstrukciju strukturalnih odnosa. S obzirom da faktori sintetiziraju morfometrijske parametre, takve karte imaju u osnovi karakter morfometrijskih karata. Od običnih morfometrijskih karata razlikuju se po tome što su izvedene iz faktorskog modela, što znači da svaka od njih prikazuje ponašanje skupine genetski povezanih morfometrijskih varijabli u arealu istraživanja. Stoga se mogu smatrati faktorski induciranim morfometrijskim kartama. Također, s obzirom da pokazuju varijabilnost faktora od kojih svaki ima određeno geološko značenje, mogu se nazvati i kartama značenja faktora ili kartama varijabilnosti faktora. U literaturi se ponekad zovu faktorske ili izofaktorske karte (David, Campiglio i Darling, 1974). U skladu s interpretiranim faktorskim modelom izrađeno je pet karata koje prikazuju varijabilnost pojedinih faktora na osnovi »sadržaja« faktorskih bodova u uzorcima. To su karta horizontalne raščlanjenosti, karta intenziteta erozije, karta erozijskih nivoa, karta nagiba reljefa i karta dolina trećeg reda.

Pri interpretaciji karata treba uzeti u obzir da su analizom obuhvaćene erozijske površine četvrtog reda. To znači da će se na kartama zapažati strukturalni odnosi koji su već postojali ili su se tek počeli razvijati u vrijeme kad je započeo razvoj dolina četvrtog reda u reljefu. Jači regionalni tektonski pokreti mogli su proći i bez bitnijeg odraza u manjim tektonskim blokovima ili lokalnim morfostrukturama. Sasvim suprotno događa se kod mladih površina erozije koje su ograničene užim, lokalnim okvirima. Na primjer, ako doline trećeg reda nisu integrirane u erozijske površine četvrtog reda, nego se izravno uključuju u one starije (petog i viših redova), također neće imati odraza na kartama.

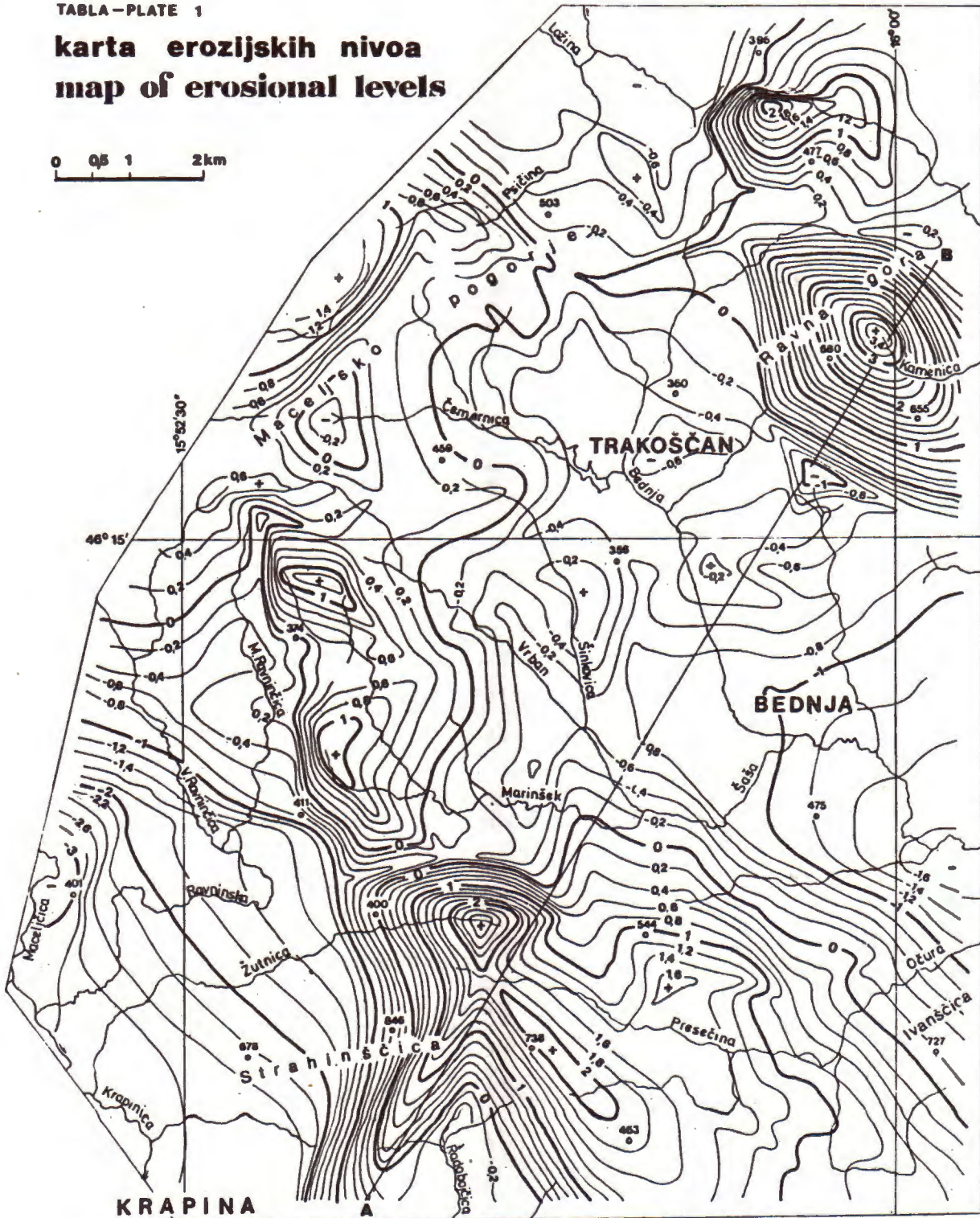
Iz faktorskog modela lako je zaključiti da se faktor erozijskih nivoa odlikuje sasvim jednostavnom strukturom, čime se ističe u prvi plan kao direktan pokazatelj vertikalnih neotektonskih pokreta. Erozijski nivoi dolina ovise prvenstveno o rastu strukturalna na kojima se razvijaju pripadne erozijske površine pa faktorski bodovi indiciraju izdignute i spuštene tektonske blokove. Tumačenje karte erozijskih nivoa stoga je jednostavnije nego interpretacija ostalih karata značenja faktora, gdje u strukturalni pojedinih faktora osim neotektonike sudjeluju litologija, klima i ostali dinamički i statički čimbenici u formiranju reljefa. Zato se pri interpretaciji faktorskih karata u nastavku posebna pažnja posvećuje karti erozijskih nivoa koja je prikazana na Tabli 1.

Karta erozijskih nivoa

Karta erozijskih nivoa na vrlo jednostavan način prikazuje raspored erozijskih nivoa dolina četvrtog reda. S obzirom da izolinije povezuju mjesta jednakih nivoa erozije, ona je u stvarnosti analogna klasičnoj morfometrijskoj karti izobaza. Maksimumi se

TABLA-PLATE 1

karta erozijskih nivoa
map of erosional levels



LEGENDA
KEY



izolinije erozijskih nivoa - isolines of erosional levels



lokalne maksimalne i minimalne vrijednosti faktorskih bodova trećeg faktora
local maximal and minimal factor score values of third factor



faktorski profil - factor profile

odnose na područja visokih erozijskih nivoa dolina, održavajući izdignute strukture u reljefu. Nasuprot tome, minimumi upućuju na spuštene tektonske blokove. Najizraženiji maksimum se nalazi na Ravnoj gori i predstavlja dolinu četvrtog reda s visinskim rasponom između 397 m (H2) i 488 m (H1). Maksimumi su također u vezi s visokim erozijskim nivoima dolina četvrtog reda u središnjem dijelu Strahinšćice (gornji dijelovi potoka Žutinica i Presečina). Pružanje maksimuma u nizu, paralelno dolini Male Ravninčice, ukazuju na liniju duž koje se odvijaju diferencijalni tektonski pokreti većih blokova. Istočno od tog pravca izdignuto je područje oko Lužana i područje između gornjeg dijela toka Male Ravninčice i potoka Vrban, iako faktorski bodovi ne ukazuju na velike amplitude izdizanja. Južno od Gornjeg Jesenja, vjerojatno duž istog pravca, izdignuta je jezgra Strahinšćice u odnosu na Gorjak. Zapadno od tog područja, prema dolini Krapinice, teren je relativno spušten. Na to ukazuju i tokovi Ravninske i Žutnice koji su usmjereni okomito na izolinije.

Teren koji je najviše spušten u odnosu na okolicu obuhvaća predjel oko Đurmanca, gdje se lokalne baze erozije (H2) dolina četvrtog reda nalaze na nadmorskoj visini ispod 200 m. U središnjem dijelu Strahinšćice izolinije se razmiču oko toka Presečine koji odvaja blok Sekolje–Strahinšćica od bloka Žutnica–Gornje Jesenje.

Središnji dio istraživanog područja ističe se na karti kao relativno spušten, jednoličan teren smješten između Ravne gore na istoku, Strahinšćice na jugu i Maceljske gore na zapadu. Njegova površina lagano je nagnuta prema jugoistoku (dolina rijeke Bednje nizvodno od istoimenog mjesta). Pružanje izolinija na jugozapadnim padinama Ravne gore i pojava minimuma kod Prebukovja u gornjem dijelu potoka Čret indicira rasjed pravca sjeverozapad-jugoistok duž kojeg je izdignuta struktura Ravne gore. Pružanje tog rasjeda nastavlja se dalje na sjeverozapad prema Jamnom.

Faktorski profil

Varijabilnost geomorfoloških faktora u istraživanom području na zoran se način može prikazati pomoću odabranih presjeka kroz faktorske karte ili faktorskih profila. Fluktuacije linija faktorskog profila, a posebno prijelaz u zonu suprotnog predznaka posljedica su promjena u ponašanju faktora i ukazuju na stanovite diskontinuitete u reljefu istraživanog područja. Diskontinuiteti mogu biti posljedica tektonskih pokreta, ali i različitog litološkog sastava, a dobro se mogu uočiti ako se faktorskom profilu pridoda zbog usporedbe topografski ili geomorfološki profil koji je položen istim pravcem.

Na Tabli 2 prikazan je faktorski profil AB koji presijeca istraživano područje kroz njegove, u strukturnom smislu, najvažnije dijelove – horst Strahinšćice, Bednjansko-maceljsku grabu-sinklinorij i horst Ravne gore (Prelogović, Velić i dr., 1985). Pravac profila je jugozapad-sjeveroistok, a uz njega se nalazi i kombinacija topografskog i geomorfološkog profila kako bi se upotpunila slika o geološkoj

građi. Faktorski profil se sastoji od pet profilnih linija koje su prenesene sa svih pet faktorskih karata, uključujući i kartu erozijskih nivoa, a označene su odgovarajućim simbolima. Profil karte horizontalne raščlanjenosti označen je simbolom F1, intenziteta erozije F2, erozijskih nivoa F3, nagiba reljefa F4, a profil karte dolina trećeg reda nosi oznaku F5.

Analiza faktorskog profila i usporedba s topografsko-geomorfološkim profilom pokazuje neke bitne značajke.

Kao prvo, na profilima se ističe odvojenost tri velika tektonska bloka – Strahinšćice i Ravne gore na rubovima te doline Bednje u središnjem dijelu. Sve profilne linije karakteriziraju se diskontinuitetima koji su locirani približno na petom i jedanaestom kilometru profila. Izraženi su naglim promjenama vrijednosti faktorskih bodova te pojavama infleksije i izbočenja. Treba ih povezati s aktivnošću geomorfoloških čimbenika, prvenstveno vertikalnih neotektonskih pokreta koji uvjetuju diferencijalno gibanje različitih tektonskih blokova. Područja oko petog te između desetog i dvanaestog kilometra mogu se smatrati zonama aktivnih rajeda duž kojih se horstovi Strahinšćice (uključujući i područje gornjeg toka Žutnice) i Ravne gore izdižu u odnosu na Bednjansko-maceljsku grabu-sinklinorij. Infleksije profilnih linija indiciraju vjerojatnu rasjednu aktivnost na trećem kilometru (dolina Presečine), sedmom kilometru (sjeverne padine brda Verbančak) te između devetog i desetog kilometra (dolina potoka Ribnjak).

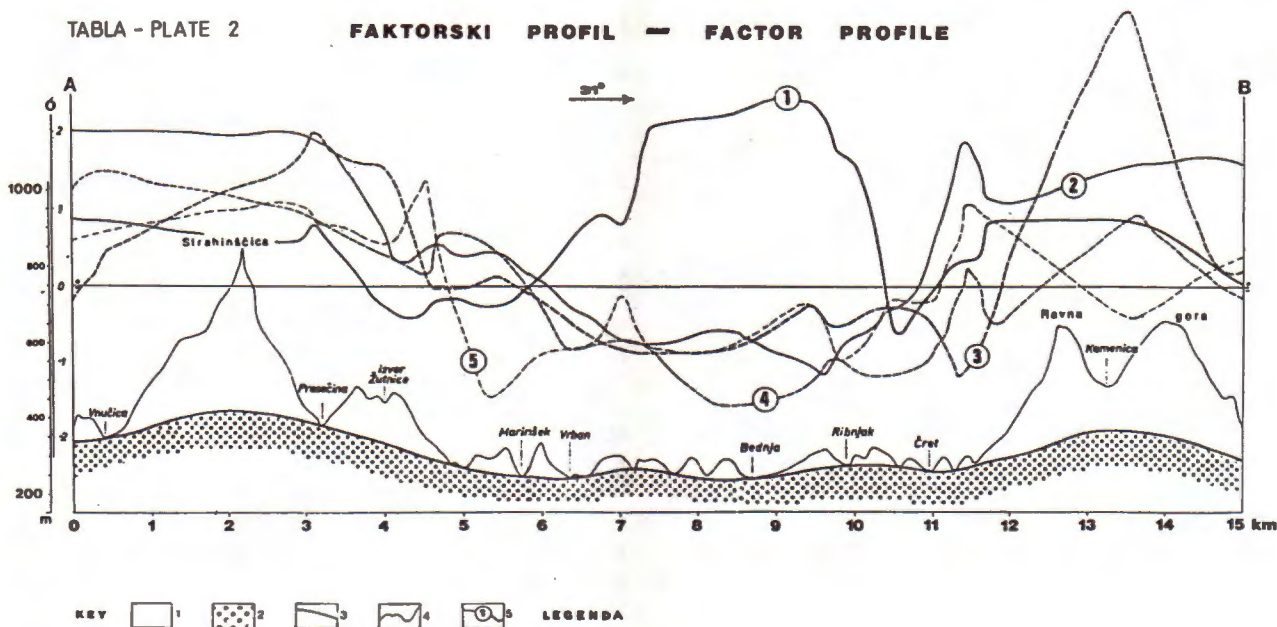
Druga važna karakteristika faktorskog profila u području istraživanja je njegov generalni paralelizam, što znači da profilne linije u grubim crtama imaju isti trend, naročito u slučaju spomenutih velikih morfostrukture. Pri tome se može primijetiti da se izdignute strukture u reljefu (Strahinšćica i Ravna gora) ističu pozitivnim vrijednostima faktorskih bodova svih faktora, a spuštene strukture (dolina Bednje) negativnim vrijednostima, osim faktora horizontalne raščlanjenosti. Drugačije ponašanje prvog faktora F1 može se objasniti istovremenim utjecajem litološkog sastava i neotektonskih pokreta u području iste strukturne jedinice. Središnji dio Bednjansko-maceljske depresije izgrađen je od glina i laporovitih glina donjeg miocena koje zbog niskog infiltracijskog kapaciteta predisponiraju razvoj guste erozijske mreže. Osim toga, izuzetno visoke pozitivne vrijednosti bodova faktora horizontalne raščlanjenosti u području između Šinkovice i Bednje (Purga Bednjanska) ukazuju na intenzivno raščlanjivanje tog dijela depresije, što može biti posljedica oživljavanja tektonskih pokreta i jačeg izdizanja tijekom najmlađe, pliocensko-kvartarne neotektonske etape (Prelogović, Velić i dr., 1985).

Pokazatelji najnovijih tektonskih pokreta i struktura na faktorskim kartama

Tretirajući maksimume i minimume na kartama značenja faktora kao anomalije, postavlja se pitanje koliko one moraju biti velike da bi se s određenom dozom sigurnosti mogle upotrijebiti kao indikator najnovijih tektonskih pokreta, uz pretpostavku da

TABLA - PLATE 2

FAKTORSKI PROFIL — FACTOR PROFILE



Legenda:

- 1 - dio izdignutog bloka koji je zahvaćen procesima denudacije;
- 2 - dio izdignutog bloka koji nije zahvaćen procesima denudacije;
- 3 - linija koja označava dubinu erozijske raščlanjenosti;
- 4 - topografski profil;
- 5 - profili faktorskih karata svih pet faktora.

Key:

- 1 - part of uplifted block undergoing denudation;
- 2 - part of uplifted block not undergoing denudation;
- 3 - line denoting depth of erosional effects;
- 4 - topographic profile;
- 5 - profiles of factor maps showing all five factors.

litološki sastav i ostali čimbenici, koji pasivno sudjeluju u formiranju reljefa, tvore opći fon karte. Ako se litološka građa u nekom relativno kratkom vremenskom razdoblju (na primjer od početka formiranja dolina četvrtog reda do danas) shvati kao konstanta, njen utjecaj na kartama značenja faktora bio bi ograničen intervalom fonskih vrijednosti. U tom slučaju vrlo visoke (pozitivne ili negativne) vrijednosti faktorskih bodova odnosile bi se na promjene uvjetovane čimbenicima aktivnim u vremenu, a to znači u prvom redu neotektonskim pokretima. S druge strane, fon karte izražen je onim vrijednostima faktorskih bodova (bilo pozitivnim, bilo negativnim), koje ne odstupaju znatno od nule.

Budući da se faktorski bodovi pokoravaju zakonu normalne distribucije, kao kriterij za odvajanje anomalnih i fonskih vrijednosti može poslužiti interval povjerenja standardizirane normalne razdiobe (Dix i Massey, 1969). Faktorski bodovi prikazani su u jedinicama standardne devijacije i direktno mogu poslužiti toj svrsi.

Ako se kao interval povjerenja prihvati raspon od dvije standardne devijacije ($-1\sigma < F < 1\sigma$), unutar njega bit će smješteno 68% svih podataka. Vjerojatnost da neki podatak nije obuhvaćen danim opsegom standardnih devijacija iznosi 16% na obje strane intervala. Sve vrijednosti faktorskih bodova koje leže u tom intervalu mogu se smatrati fonskim vrijednostima. Na kartama značenja faktora ove su vrijednosti označene izolinijama +1, odnosno -1. Nulta izolinija povezuje mjesta gdje nema odstupanja od srednje vrijednosti, pa je prema tome varijabilnost faktora na tim mjestima jednaka nuli.

Dopuštajući mogućnost znatnijeg utjecaja litološkog sastava (čiji stvarni udio u faktorskom modelu nije poznat) u danom opsegu fonskih vrijednosti, proširen je interval povjerenja tako da obuhvaća raspon od tri standardne devijacije ($-1,5\sigma < F < 1,5\sigma$). Na taj način su striktnije ograničena područja s anomalnim vrijednostima. Svi faktorski bodovi u novom intervalu (87% podataka) imaju karakter fonskih vrijednosti, a svi oni koji nisu obuhvaćeni tim intervalom (6,5% za svaku stranu krivulje standardizirane normalne razdiobe) mogu se smatrati anomalnim vrijednostima. Anomalije su na faktorskim kartama zaokružene izolinijama $\pm 1,5 (\sigma)$.

U skladu s faktorskim modelom na izdignute strukture u reljefu ukazuju maksimumi na karti horizontalne raščlanjenosti F1, intenziteta erozije F2, erozijskih nivoa F3 i nagiba reljefa F4. Istovremeno su pokazatelji relativno spuštenih struktura označeni minimumima. Faktor dolina trećeg reda F5 izostavljen je, jer zbog svojih specifičnosti ne ukazuje jednoznačno na predznak neotektonskih pokreta u istraživanom području. Puno je vjerojatnije da je poseban status dolina trećeg reda u erozijskoj mreži posljedica oscilacija u tektonskom režimu kroz promatrani period (Peh, 1989).

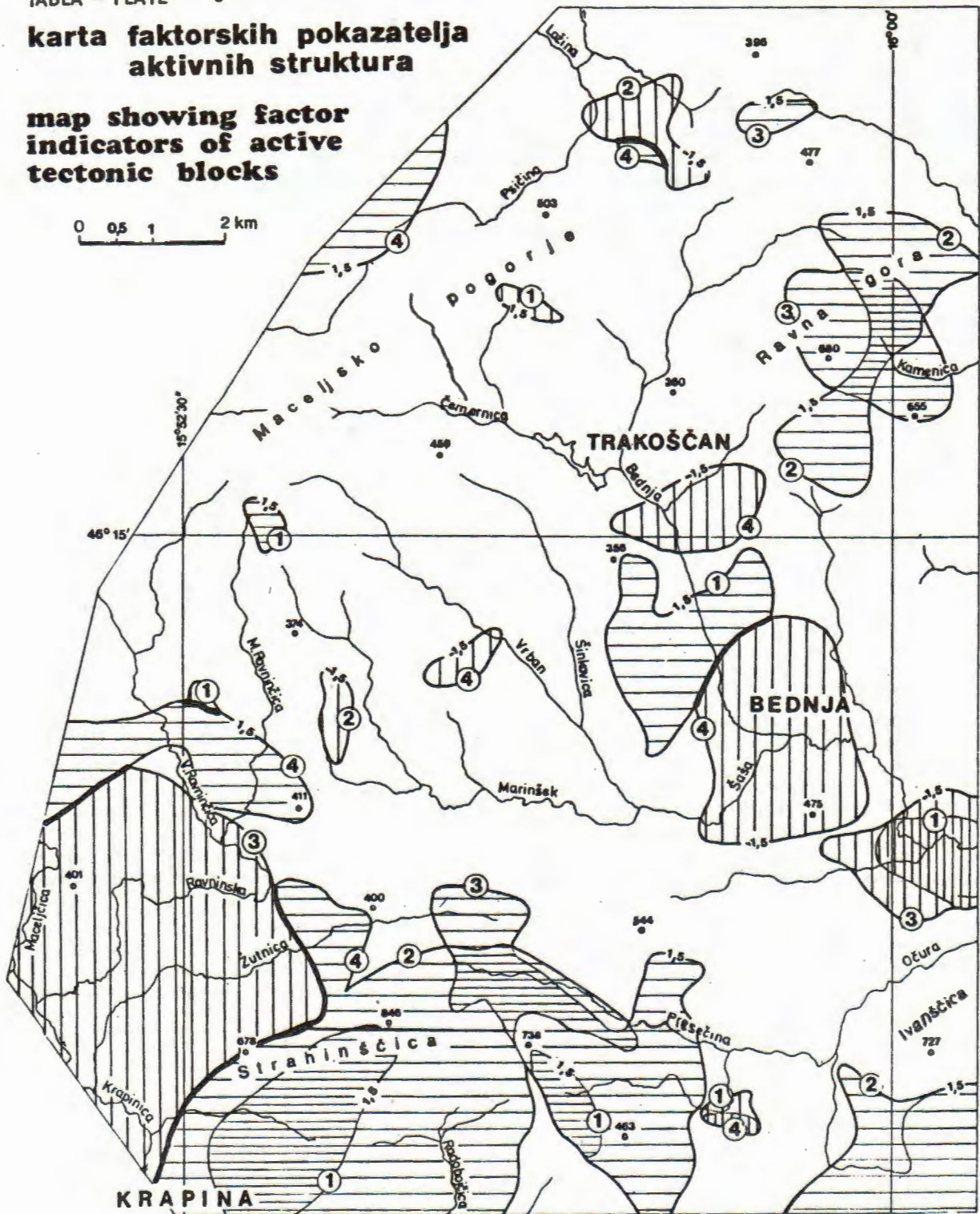
Korištenjem podataka faktorskih karata i faktorskog profila izrađena je karta faktorskih pokazatelja aktivnih struktura (Tabla 3). Područja izdignutih i spuštenih struktura ograničena su izolinijama +1,5 (σ), odnosno -1,5 (σ).

Također je izrađena i karta aktivnih rasjeda čiji se je položaj mogao pretpostaviti na osnovi sadržaja faktorskih karata i faktorskog profila (Tabla 4).

TABLA - PLATE 3

**karta faktorskih pokazatelja
aktivnih struktura**

**map showing factor
indicators of active
tectonic blocks**



LEGENDA



područja izdizanja prema pokazateljima odgovarajućih faktora
uplift areas according to respective factor indicators

KEY



područja spuštavanja prema pokazateljima odgovarajućih faktora
subsidence areas according to respective factor indicators

Karta faktorskih pokazatelja aktivnih struktura

Na Tabli 3 zamijećuje se da se najveći broj faktorskih pokazatelja aktivnih struktura, sasvim očekivano, javlja u području morfološki istaknutih dije-
lova velikih strukturalnih jedinica.

Faktorski pokazatelji područja izdizanja koncentrirani su na Strahinščici i na Ravnoj gori, a faktorski pokazatelji područja spuštavanja u njihovom međuprostoru – Bednjansko-maceljskoj depresiji. Strahinščicu karakterizira najveći broj faktorskih pokazatelja koji su usredotočeni na zonu između Strahinja i Temnjaka. Najveću rasprostranjenost ima F2 koji zahvaća područje od Strahinja na zapadu do Sekolja na istočnim padinama Strahinščice. F1 se pojavljuje sa dva maksimuma – većim u području između Dedeka (Radoboj) i Gorjaka, a manjim kod Sekolja. Pokazatelj F3 prekriva izduženu zonu od Gornjeg Jesenja do Temnjaka na jugoistočnom dijelu Strahinščice. Na Ravnoj gori na područja izdizanja ukazuju maksimumi F2 na sjevernim i jugozapadnim padinama te F3 u središnjem dijelu strukture (dolina potoka Kamenice).

Dijelovi Bednjansko-maceljske grabe-sinklinorija također pokazuju da se nalaze u fazi neotektonskog izdizanja. U tom smislu posebno se ističe središnji dio doline Bednje koji je obilježen vrlo istaknutim pokazateljem F1. Na zapadnoj strani depresije, u prijelaznoj zoni između Strahinščice i Maceljske gore, na dva se mjesta javljaju pokazatelji izdignutih struktura F4 koji u oštrom luku okružuju doline Ravninske i Žutnice.

U ostalim dijelovima istraživanog područja pokazatelji izdignutih struktura se javljaju sporadično, ukazujući na jače izdignute tektonske blokove Maceljskog pogorja. Ističu se zone oko izvora Male Ravninčice (F1) i izvora Psičine (F4) te zona sjeverno od Cvetlina koja okružuje dolinu Ložine.

Faktorski pokazatelji predjela spuštavanja u vezi su s većim dolinskim sistemima i zonama spajanja većeg broja dolina. Najveća takva zona je dolina Ravninske i područje donjeg dijela toka Žutnice i drugih potoka koji gravitiraju Maceljčici, odnosno Krapinici (F3).

Druga takva zona je dolina rijeke Bednje koju karakterizira nekoliko faktorskih pokazatelja. To su područja između Trakoščana i Pleša (F4), između Purge Bednjanske i Bednje (F1 i F3). Pokazatelji spuštenih struktura prisutni su i na drugim dijelovima istraživanog terena. Na Strahinščici je to predjel u trokutu Peće (Sv. Jakob)–Temnjak–Hum (F1 i F4). U ostalim dijelovima terena ističe se dio toka Velike Ravninčice između Stožera i Donjeg Jesenja (F1) te područje oko Lužana Zagorskih (F2) i Vrbna (F4). Pokazatelji spuštavanja s vrlo naglašenom anomalijom javljaju se u zoni većih dolina koje gravitiraju rječici Ložini.

Karta faktorskih pokazatelja aktivnih rasjeda

Na karti faktorskih pokazatelja aktivnih rasjeda (Tabla 4) zapaža se nekoliko glavnih pravaca pružanja rasjeda i rasjednih zona. Pretežno su to rasjedi pružanja ZSZ–IJI od kojih se ističu rasjedi jugoza-

padnog ruba Ravne gore, rasjedi istočnog ruba Strahinščice (zona između Sekolja i Temnjaka) i sistem rasjeda sjeverno od Cvetlina.

Vrlo su istaknuti rasjedi koji brazde pravcem Z–I. To su sjeverni rubni rasjedi Strahinščice i Ravne gore (na primjer rasjed Donje Jesenje–Gornje Jesenje–Sušakovec) rasjed Presečine, zatim rasjed južnih padina potoka Marinšek te paralelni rasjedi koji se pružaju pravcem Gornja Višnjica–Cvetlin–Sv. Augustin (Gora). Istaknuti su rasjedi pravca SSI–JJZ. Pretežno se protežu istočnim rubom Maceljske gore, a ima ih i na Strahinščici (odvajaju Strahinščicu i Gorjak).

Najviše se ističu rasjedi pravca SSZ–JJI. Najjače je izražen rasjed doline Šinkovice, rasjed koji se proteže pravcem Mala Ravninčica–Donje Jesenje i rasjed koji se pruža dolinom potoka Čret i donjim dijelom toka Bednje istočno od Želimora.

Prikaz postignutih rezultata

Faktorskom analizom morfometrijskih parametara generirani su odgovarajući faktorski pokazatelji koji pružaju mogućnost boljeg upoznavanja strukturalnog sklopa istraživanog područja. Faktorski pokazatelji izdizanja, spuštavanja i rasjedanja omogućuju izdvajanje aktivnih struktura i rasjeda pa tako predstavljaju korisnu nadopunu geološkom kartiranju, naročito u područjima koja su većim dijelom ili u potpunosti prekrivena najmlađim – neogenskim i kvartarnim naslagama. Spomenuti pokazatelji čine samu srž faktorskih karata, jer se odnose na one dijelove područja istraživanja koja se karakteriziraju anomalnim vrijednostima faktorskih bodova, odnosno na one erozijske površine u kojima je visokim »sadržajem« faktora izražen utjecaj dominantnog čimbenika u procesima oblikovanja reljefa – neotektonskih pokreta.

Faktorskim modelom prikazana je evolucija erozijskih površina četvrtog reda. To znači da spomenuti faktorski pokazatelji otkrivaju aktivnost relativno mladih tektonskih pokreta koji su se odrazili u reljefu od vremena postanka dolina četvrtog reda do danas. Pri tome se može uočiti da mnoge strukture i rasjedi imaju nasljedni karakter, odnosno da nastavljaju svoju aktivnost iz nekog ranijeg perioda razvoja reljefa. Tako, na primjer, veći broj maksimuma na Strahinščici i Ravnoj gori ukazuje na rast struktura i daljnju diferencijaciju (razbijanje) velikih tektonskih blokova. S druge strane, neke strukture su započele svoj razvoj u vrijeme formiranja dolina četvrtog reda, a neke vjerojatno i kasnije. U tom slučaju, iako se mogu dobro isticati u reljefu, one neće imati odraza u faktorskim pokazateljima (na primjer, Lipni vrh kod Trakoščana i Želimor kod Bednje). Proučavanjem karte faktorskih pokazatelja rasjeda može se zaključiti da su u promatranom vremenskom rasponu najaktivniji bili rasjedi pružanja SSZ–JJI.

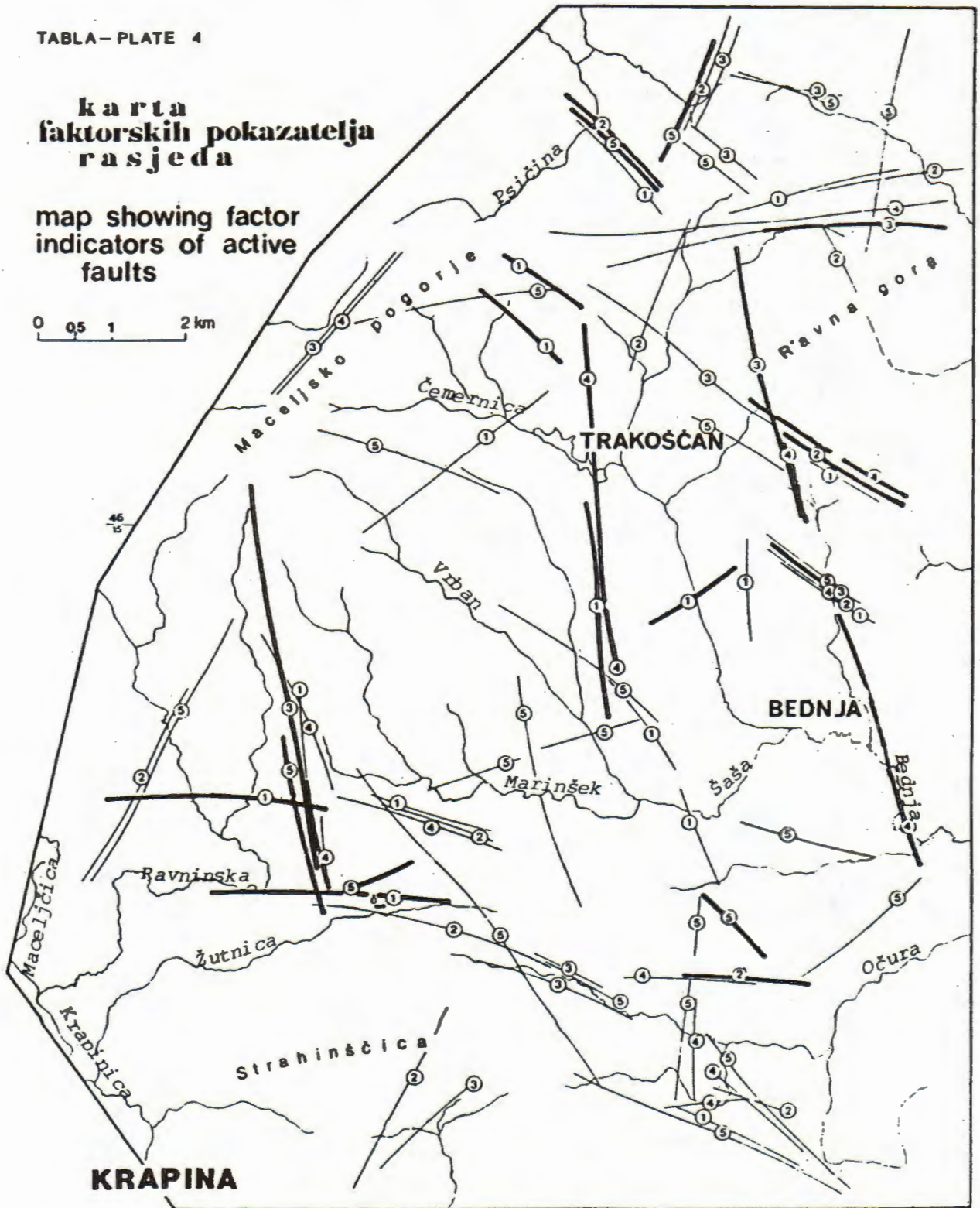
Uspoređujući postignute rezultate s geološkom kartom, uočava se podudarnost u makrostrukturnom sklopu. Naime, faktorski pokazatelji predjela izdizanja i spuštavanja poklapaju se s većim izdignutim i spuštenim strukturama, utvrđenim geološkim kartira-

TABLA-PLATE 4

**karta
faktorskih pokazatelja
rasjeda**

map showing factor
indicators of active
faults

0 0.5 1 2 km



LEGENDA
KEY



pružanje rasjeda na osnovi pokazatelja
odgovarajućih faktora

fault striking according to respective
factor indicators

njem (Strahinščica, Ravna gora, dolina Bednje). Međutim, potrebno je istaknuti da faktorski pokazatelji otkrivaju i prisutnost aktivnih struktura i rasjeda i u onom dijelu terena, gdje je geološkim kartiranjem dobiveno malo podataka. U tom se pogledu posebno ističe Bednjansko-maceljska graba-sinklinorij, koja obuhvaća područje između Strahinščice, Ravne gore i Maceljske gore. Karakteristika ove velike depresije je raščlanjeni, brežuljkasti reljef umjesto očekivanog blagog, manje-više zaravnjenog reljefa, tipičnog za predjele stagnirajućih tektonskih pokreta ili predjele koji se nalaze u fazi spuštavanja. To svjedoči o oživljavanju tektonskih pokreta i jačem izdizanju tijekom najmlađe, pliocensko-kvartarne neotektonske etape (Prelogović, Velić i dr., 1985). Faktorski pokazatelji izdizanja, spuštavanja i rasjedanja pokazuju da je Bednjansko-maceljska graba-sinklinorij razbijena na stanoviti broj manjih tektonskih blokova od kojih se najjače ističe blok između Šinkovice Šaške i Purge Bednjanske.

Značajke depresije očuvale su se jedino u donjem dijelu toka Bednje i mjestimično u predjelu koji se prostire od Donjeg Jesenja prema zapadu.

Primljeno: 4. XII. 1989.

Prihvaćeno: 7. V. 1990.

LITERATURA

- Aničić, B. i Juriša, M. (1984): Osnovna geološka karta SFRJ, list Rogatec, 1:100.000. Savezni geološki zavod, Beograd.
- Aničić, B. i Juriša, M. (1985): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000. Tumač za list Rogatec.
- Chorley, R. J. (1962): Geomorphology and general systems theory. U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 500-B B1-B10.
- Chorley, R. J. (1969): Water, earth and man. Methuen, London.
- David, M., Campiglio, C. & Darling, R. (1974): Progress in R- and Q-mode analysis: correspondence analysis and its application to the study of geological processes. Can. J. Earth Sci., 11, 131-146.
- Dixon, W. J. & Massey, F. J. (1969): Introduction to statistical analysis. McGraw-Hill, 638 p., New York.
- Doornkamp, J. C. & King, C. A. M. (1971): Numerical analysis in geomorphology: an introduction. Edward Arnold, 368 p., London.
- Fulgosi, A. (1984): Faktorska analiza. Školska knjiga, 368 str., Zagreb.
- Hećimović, I. (1984): Strukturno-geomorfološka istraživanja između Medvednice, Ivanščice i Kalnika. Geol. vjesnik, 37, 33-40, Zagreb.
- Jöreskog, K. G., Klovan, J. E. & Reyment, R. A. (1976): Methods in mathematics 1. Geological factor analysis. Elsevier, 178 p., Amsterdam-Oxford-New York.
- Kostenko, N. P. (1972): Razvitie skladčatih i razravnih deformacij v orogennom reljefe. Nedra, 320. str., Moskva.
- Kranjec, V. Prelogović, E. Hernitz, Z. i Blašković, I. (1969): Primjena morfometrijskih i dubinsko geoloških podataka u geološkom kartiranju pokrivenih područja. Geol. vjesnik, 22, 549-553, Zagreb.
- Kranjec, V. i Prelogović, E. (1974): O paleogeografskim i neotektonskim odnosima u tercijaru i kvartaru na teritoriju SR Hrvatske. Geol. vjesnik, 27, 95-111, Zagreb.
- Kranjec, V., Prelogović, E., Šimon, J., Hernitz, Z. i Blašković, I. (1974): K boljem poznavanju geološke građe područja Dinarida i Panonskog bazena na osnovu nekih tipova morfometrijskih, strukturalnih i litofacijalnih karata. III simpozij Dinarske asocijacije, knjiga II, 21-38, Zagreb.
- Melton, M. A. (1957): An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology. New York, Columbia University, Dept. Geol., Office of Naval Res. Project NR 389-402, Tech. Report No 11, 102 p.
- Olujčić, M. (1975): Tektonska analiza graničnog područja SR Hrvatske i SR Slovenije na snimcima napravljenim iz satelita ERTS 1. Geol. vjesnik, 28, 87-96, Zagreb.
- Peh, Z. (1989): Primjena faktorske analize u proučavanju strukturalnih odnosa područja između Maceljske gore, Strahinščice i Ravne gore. Magistarski rad, 78 str., Zagreb.
- Prelogović, E. i Hernitz, Z. (1968): O morfometrijskim kartama porječja rijeke Krapine. Geol. vjesnik, 21, 345-354, Zagreb.
- Prelogović, E., Hernitz, Z. i Blašković, I. (1969): Primjena morfometrijskih metoda u rješavanju strukturalno-tektonskih odnosa na području Bilogore (sjeverna Hrvatska). Geol. vjesnik, 22, 525-530, Zagreb.
- Prelogović, E. (1974): Značenje klasifikacije neotektonskih struktura u paleotektonskoj rekonstrukciji. Nafta, 10, 518-525, Zagreb.
- Prelogović, E. (1975): Neotektonska karta SR Hrvatske. Geol. vjesnik, 28, 97-108, Zagreb.
- Prelogović, E. i Cvijanović, d. (1976): Vertikalni neotektonski pokreti i pojave jačih potresa na području SR Hrvatske. Geol. vjesnik, 29, 151-156, Zagreb.
- Prelogović, E. Velić, J. i dr. (1985): Seizmotektonska istraživanja na lokacijama spomenika kulture (općine Novi Marof, Ivanec i Pregrada). Fond struč. dok. RGN fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, OOUR Institut za geologiju i mineralne sirovine, Zagreb.
- Premeru, U. (1976): Neotektonika vzhodne Slovenije, Geologija; razprave in poročila, 19, 211-249, Ljubljana.
- Raffaelli, P. (1978): Matematička geologija i njena uloga u daljnjem razvoju geologije u SR Hrvatskoj. Geol. vjesnik, 30/2, 757-760, Zagreb.
- Ritter, D. F. (1978): Process geomorphology. W. C. Brown Publishers, 579 p., Dubuque, Iowa.
- Ritter, D. F. (1988): Landscape analysis and the search for geomorphic unity. Geol. Soc. Am. Bull., Vol. 100, No. 2.
- Schumm, S. A. (1963): The disparity between present rates of denudation and orogeny. U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 454-H, H1-H13.
- Šimunić, An. i Šimunić, Al. (1980): Geološka građa Ivanščice i Ravne gore. Geol. vjesnik, 31, 243-252, Zagreb.
- Šimunić, A., Pikija, M. i Hećimović, I. (1982): Osnovna geološka karta SFRJ, list Varaždin, 1:100.000. Savezni geološki zavod, Beograd.
- Šimunić, An., Pikija, M. i Hećimović, I. (1981): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000. Tumač za list Varaždin.
- Šimunić, An. i Šimunić, Al. (1987): Rekonstrukcija neotektonskih zbivanja u sjeverozapadnoj Hrvatskoj na temelju analize pontskih sedimenata. Rad JAZU, Razred za prirodne znanosti, Knj. 122, 155-177, Zagreb.
- Tricart, J. (1965a): Principes et methodes de la geomorphologie. Masson, Paris.

Elaboration and application of the factor maps in the analysis of tectonic relations

Z. Peh

A few distinctive factor indicators are generated by factorizing the morphometric parameters, allowing tectonic setting in the area of investigation to be better studied and understood. Factor indicators of uprising, subsidence and faulting make it possible to mark out active structures and active faults in landscape, thus representing a useful supplement to geological mapping, particularly where the surface exploration yields only the scarcity of data. They constitute the very core of the factor maps, being related to the corners of investigated area which are distinguished by anomalous values of factor scores. In other words they refer to drainage basins where neotectonic activity, being the dominant agent in landscape evolution, shows up in the high »amount« of respective factor.

The factor model expresses the evolution of fourth-order drainage basins. It means that the factor indicators reveal the activity of comparatively young neotectonic movements, being reflected in landscape since the birth of fourth-order valleys up to the present. Here it could be noted a number of structures and faults to show hereditary features, that is, to continue their activity from the still earlier period of landscape evolution. Thus, for instance, a number of maxima on Strahinščica and Ravna Gora point at the process of growth of structures and further differentiation (breaking up) of big tectonic blocks. On the other hand certain structures started their evolution simultaneously with the evolution of fourth-order valleys, and still others did it probably even later. In that case, although possibly displaying the prominent features in landscape, they will not reflect themselves in factor

indicators (for example Lipni Vrh in the vicinity of Trakoščan and Želimor near Bednja). Studying the map of factor indicators leads to the conclusion of faults striking SSZ-JJI being the most active.

Comparison of the outcomes achieved by the analysis with the geological map discloses conformity in the macrotectonic setting. Namely, factor indicators of the uplift and subsidence areas concur with the major uplifted and subsided structures recognized by geological mapping (Strahinščica, Ravna Gora, Bednja Valley). However, it ought to be stressed that the factor indicators also disclose the presence of active structures and active faults where geological mapping yielded a dearth of data. In this respect the Bednja-Macelj graben-synclorium which encloses the area amid Strahinščica, Maceljska Gora and Ravna Gora, is the most prominent case. The main feature of that big depression is dissected, rolling landscape instead of expected low, more or less planated one, typical for regions in the phase of stagnation or undergoing downward movements. This testifies to resurrection of tectonic movements and stronger uplift during the youngest Pliocene-Quaternary stage of neotectonic activity (Prelogović, Velić and al., 1985). Factor indicators of uplift, subsidence and faulting prove the Bednja-Macelj depression to be broken up into a number of minor tectonic blocks with the block between Šinkovica Šaška and Purga Bednjanska as the most prominent one. The marks of depression remained intact only in the lower part of the Bednja Valley, and sporadically in the region stretching from Donje Jesenje westward.