

# Strukturno – geomorfološke značajke i morfotektonski model razvoja gorskog hrpta Učke

**Darko Mihljević\***

Objašnjava se uzrok meridionalnog pružanja gorskog hrpta Učke nasuprot dinaridskom pružanju većine gorskih hrptova i masiva gorske zone Vanjskih Dinarida. Tumači se uzrok stepeničastog ocrta dolina oblikovanih duž istočnih padina gorskog hrpta Učke. Prepoznaju se tzv. "domino" strukture. Interpretiraju se reljefni odnosi u okviru gorskog hrpta Srednje i Sjeverne Učke. Objasnjava se postanak Mošćeničke Drage, Lovranske Drage i tektonskog poluokna, u okviru kojeg je oblikovana udolina Rečine. Na osnovi prikazanih strukturno – geomorfoloških odnosa izvodi se morfotektonski i kinematski model strukturno-geomorfološkog razvoja šireg područja gorskog hrpta Učke.

**Ključne riječi:** reljef strukturnog podrijetla, morfotektonogenetski i kinematski model, morfostrukture

## Structural-geomorphological Characteristics and Morphotectogenetic Evolution Model of the Učka Mountain Range (Croatia).

The paper elaborates and interprets the cause of meridional extension of the Učka mountain ridge in contrast to the Dinaric extension of the most mountain ridges and massifs within the mountain group of the Outer Dinarides. The cause of a step – like valleys profile, formed along the eastern slopes of the Učka mountain range, has been explained. So called "domino" structures have been recognized, investigated and expounded. A relief relationship within the mountain range of the Central and North Učka has been interpreted, and successively its traced a development of the Mošćenička Draga and the Lovranska Draga, tectonic semi-window within wich the relief depression of the brook Rečina has been shaped. On basis of the displayed structural – geomorphological relationships, a morphotectonic and kinematic model related to the evolution of the wider area of the Učka mountain range has been made.

**Key Words:** relief of the structural origin, morphotectogenetic and the kinematic model, morfostructures

## UVOD

Gorski hrbat Učke, zbog raznolikosti reljefnih oblika i složenosti geološke grade, dugo je vremena predmetom geomorfoloških i geoloških istraživanja. Posebice se ističe podnevnički smjer pružanja hrpta Učke duljine gotovo 50 kilometara, potpuno nesvojestven pretežitom smjeru pružanja gorskih hrptova priobalnih i kontinentalnih planina

\* Dr. sc., viši asistent, Geografski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Marulićev trg 19, 10.000 Zagreb, Hrvatska/Croatia.

i masiva u okviru gorske zone Vanjskih Dinarida. Prisutno je i višestruko lučno svijanje gorskog hrpta Učke (tzv. sigmoidalno svijanje) i zrakasto ili prstasto širenje (divergen-cija) struktura na kojima su oblikovani hrptovi kvarnerskih otoka.

Prve spoznaje o geološkom sastavu i građi Učke objelodanio je Stache (1859; 1860 A, B; 1864 A, B; 1889). Ističe se izoklinalno boranje i višestruki reversni odnosi. Važna zapažanja o položaju struktura u širem području Učke iznosi Waagen (1906). Uočava se virgacija istarskih (kvarnerskih, op. a.) bora tj. njihovo zrakasto širenje u smjeru juga. Crnolatac (1950), Salopek (1954 A, B, C; 1956 A, B; 1960) i Malez (1954, 1955, 1960) objavljuju ishode sustavnog istraživanja Učke i susjednih područja. Raščlanjuju se paleogenske naslage i dokazuju navlačna i ljuskava struktura Učke i Ćićarije. Šikić (1963) prvi spominje rotacijske pokrete u okviru južne Učke. Autor je i koautor OGK, list Labin i Ilirska Bistrica s pripadnim tumačima (Šikić i drugi, 1972, 1969; Šikić i Pleničar, 1975; Šikić i Polšak, 1973). Blašković (1969, 1991) piše o geološkim odnosima središnjeg dijela Ćićarije, rasporedu reversnih i normalnih rasjeda, te o konstrukciji oblika i dubine plohe podvlačenja. O speleološkim fenomenima Učke piše Božičević (1993). Babić i drugi (1974) ukazuju na postojanje navlaka daleko većeg opsega od dotad poznatog. Marinčić i Matičec (1991) pišu o tektonici i kinematici deformacija na primjeru Istre. Određuju se tri tangencijalne faze deformacija struktura. Benac (1989, 1992) istražuje strukturalno – inženjersko geološke odnose istočnog dijela Učke. O utjecaju aktivnih struktura na pojavnost i prostorni razmještaj reljefnih oblika, te reljefu strukturalnog podrijetla pišu Mihljević i Prelogović (1992) te Mihljević (1994, 1995 A, B, C; 1996).

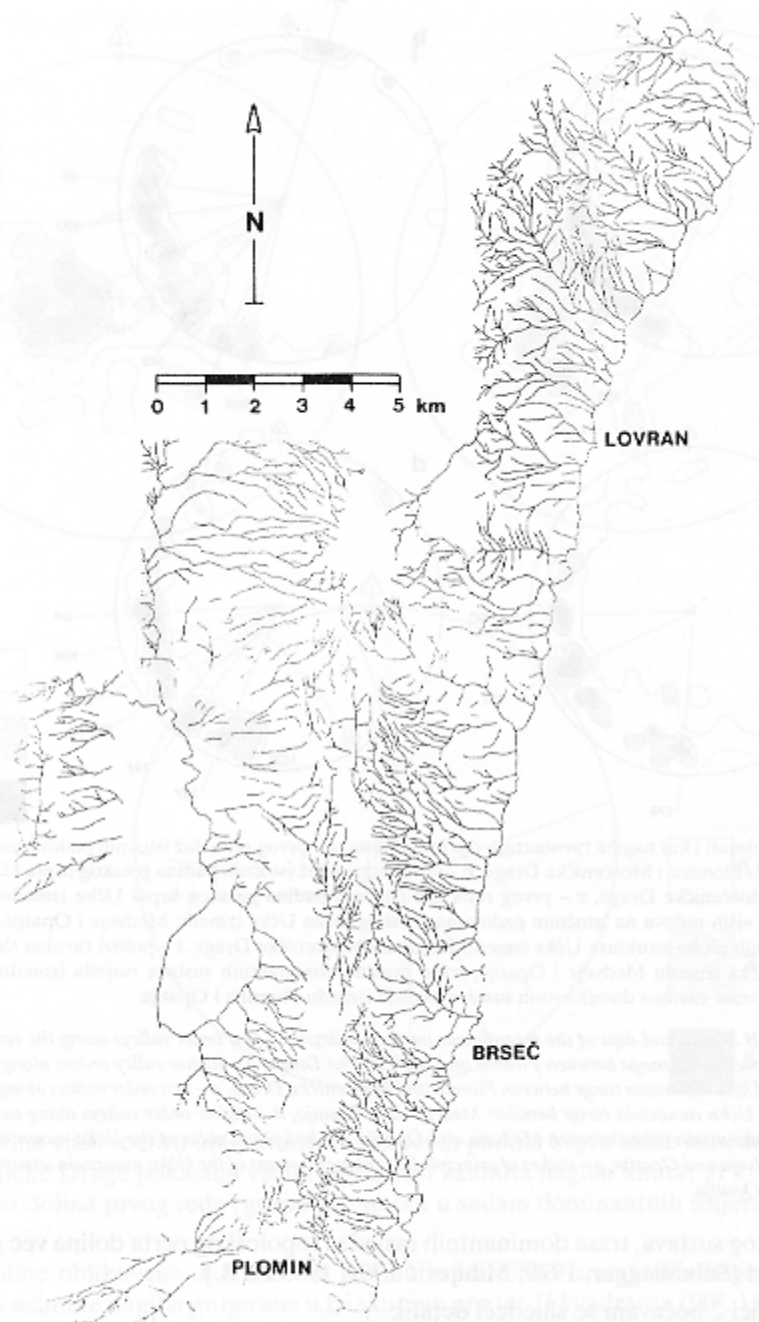
Za rekonstrukciju strukturalno geomorfoloških odnosa važna su i seizmotektonska istraživanja šireg područja Učke (Slejko et al., 1987; Carulli et al., 1990; Del Ben et al., 1991; Prelogović i drugi 1995), istraživanja današnjeg smjera globalnog stresa (McKen-zie, 1972; Ritsema, 1974; Grünthal & Stromeyer, 1986; Anderson & Jackson, 1987) kao i geotektonske sinteze (Herak, 1991).

Poznato je da su reljefni oblici mezo i makro reda veličine, u tektonski aktivnim zonama najčešće strukturalnog podrijetla (Morisawa, 1975; Morisawa & Hack, 1985; Ollier, 1981; Panizza et al., 1987).

Poseban interes u okviru gorskog hrpta Učke pobuđuju reljefni oblici strukturalnog podrijetla. Oni su izraz preoblikovanja struktura i aktivnosti rasjeda u geološkoj prošlosti i danas. Zato se detaljno prikazuju strukturalno – geomorfološki odnosi, tumači se pojavnost i prostorni razmještaj pojedinih reljefnih oblika u okviru gorskog hrpta te se uklapaju u prihvatljiv model morfotektonskog i kinematskog razvoja Učke i okolnog područja.

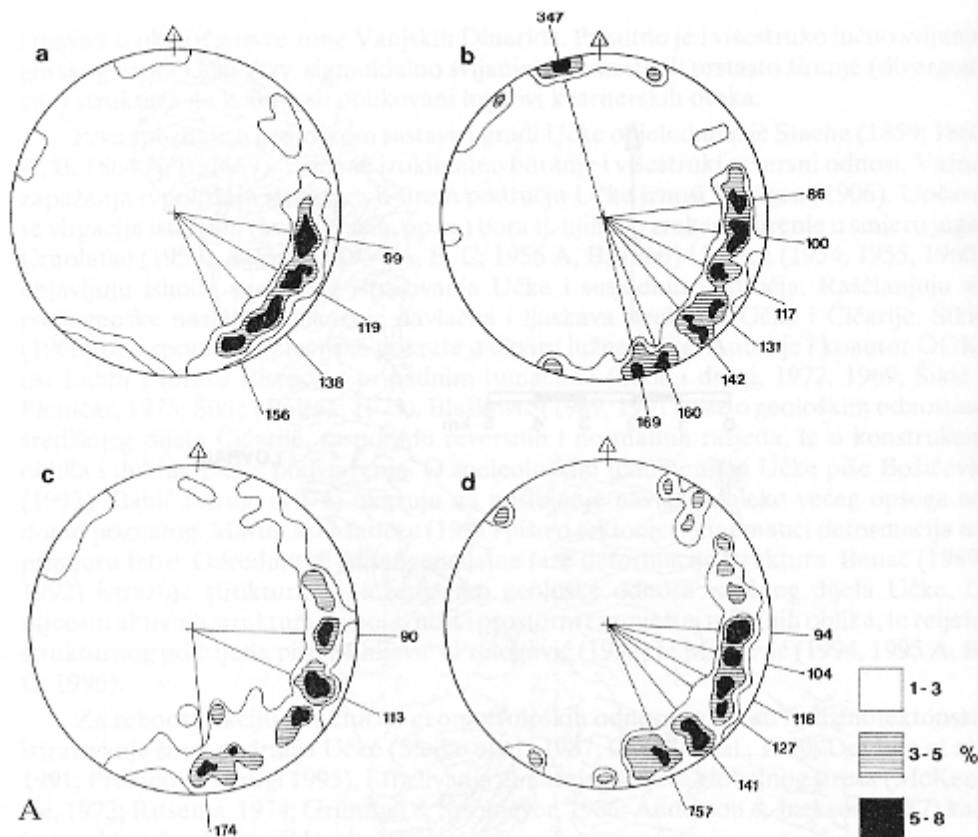
## ODNOS DOLINSKE MREŽE, GEOLOŠKE STRUKTURE I TRASA RASJEDA

Detaljnim iscrtavanjem dolina (sl. 1), njihovim rangiranjem prema metodi Strahlera (Strahler, 1952) mjerenjem azimuta i kuta nagiba ravnocrtnih dijelova dolina (prvog i viših redova), mjerenjem osnovnih strukturalnih elemenata (azimut nagiba slojnih ploha i trase ravnina dominantnih rasjeda) te njihovim metodološki istovjetnim prikazivanjem putem Schmidtovih dijagrama (sl. 2a–f), omogućeno je ispitivanje odnosa između geološke strukture i ocrta dolinske mreže. Određeni stupanj podudarnosti



Sl. 1. Dolinska mreža oblikovana na gorskom hrptu Učke

Fig. 1. Valley network shaped on the Učka mountain range



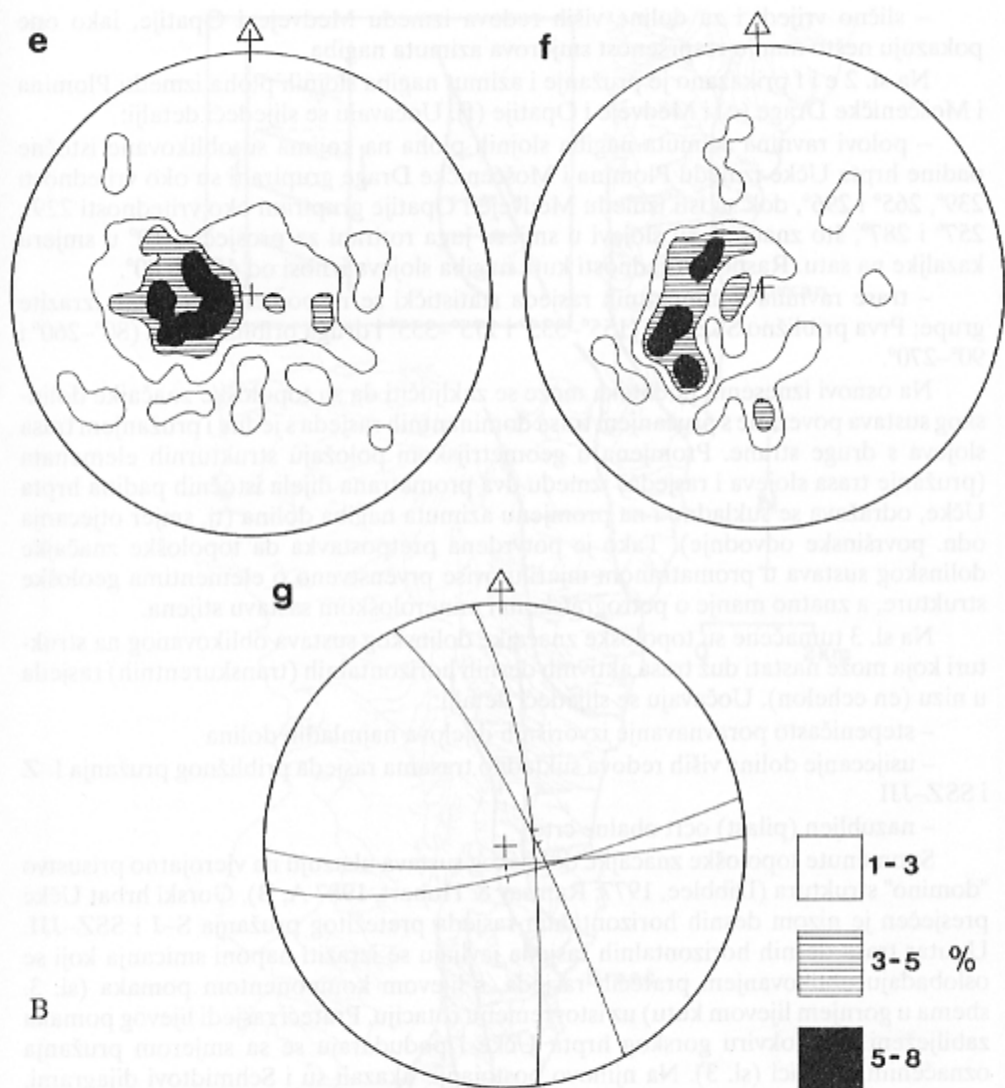
Sl. 2A i B Azimuti i kut nagiba ravnocrtnih dijelova dolina: a – prvog reda duž istočnih padina gorskog hrpta Učke između Plomina i Mošćeničke Drage, b – viših redova duž istočnih padina gorskog hrpta Učke između Plomina i Mošćeničke Drage, c – prvog reda duž istočnih padina gorskog hrpta Učke između Medveje i Opatije, d – viših redova na istočnim padinama gorskog hrpta Učke između Medveje i Opatije, e – polovi ravnina slojnih ploha strukture Učka između Plomina i Mošćeničke Drage, f – polovi ravnina slojnih ploha strukture Učka između Medveje i Opatije, g – trase ravnina dominantnih sustava rasjeda između Plomina i Opatije.

Fig. 2A and B Strikes and dips of the recent linear parts of valleys: a – first order valleys along the eastern slopes of the Učka mountain range between Plomin and Mošćenička Draga, b – higher order valleys along the eastern slopes of the Učka mountain range between Plomin and Mošćenička Draga, c – first order valleys along the eastern slopes of the Učka mountain range between Medveja and Opatija, d – higher order valleys along eastern slopes of the Učka mountain range between Medveja and Opatija, e – bed plane poles of the Učka mountain structure between Plomin and Mošćenička Draga, f – bed plane poles of the Učka mountain structure between Medveja and Opatija, g – strikes of principle fault planes systems of the Učka mountain structure between Plomin and Opatija.

pukotinskog sustava, trasa dominantnih rasjeda i topološkog ocrta dolina već je poznat u literaturi (Scheidegger, 1979; Mihljević 1994, 1995 A. B.).

Na slici 2 uočavaju se slijedeći detalji:

– doline prvog reda oblikovane duž istočnih padina hrpta Učke, između Plomina i Mošćeničke Drage pokazuju azimute nagiba grupirane u četiri skupine unutar II kvadranta ( $99^\circ$ ,  $119^\circ$ ,  $138^\circ$  i  $156^\circ$ ).



– doline viših redova oblikovane duž istočnih padina hrpta Učke između Plomina i Mošćeničke Drage pokazuju veću raspršenost azimuta nagiba unutar II kvadranta u odnosu na doline prvog reda (grupirane su čak u sedam dominantnih smjerova), (sl. 2 b).

– doline oblikovane duž istočnih padina hrpta Učke između Medveje i Opatije pokazuju azimute nagiba grupirane u tri skupine unutar II kvadranta ( $90^\circ$ ,  $113^\circ$  i  $174^\circ$ ).

Pogledom na Schmidtove dijagrame (a i c na sl. 2) uočava se da su azimuti nagiba sjevernije položениh dolina prvog reda (Medveja – Opatija) više orijentirani prema istoku (tj. doline se odvodnjavaju približno prema istoku).

– slično vrijedi i za doline viših redova između Medveje i Opatije, iako one pokazuju nešto manju raspršenost smjerova azimuta nagiba.

Na sl. 2 e i f prikazano je pružanje i azimut nagiba slojnih ploha između Plomina i Mošćeničke Drage (e) i Medveje i Opatije (f). Uočavaju se slijedeći detalji:

– polovi ravnina azimuta nagiba slojnih ploha na kojima su oblikovane istočne padine hrpta Učke između Plomina i Mošćeničke Drage grupirani su oko vrijednosti 239°, 265° i 296°, dok su isti između Medveje i Opatije grupirani oko vrijednosti 229°, 257° i 287°, što znači da su slojevi u smjeru juga rotirani za prosječno 10° u smjeru kazaljke na satu. Raspon vrijednosti kuta nagiba slojeva iznosi od 45° do 80°.

– trase ravnina dominantnih rasjeda statistički se raspodjeljuju u dvije izrazite grupe; Prva približno SSZ–JJI (155°–335° i 175°–355° i druga približno I–Z (80°–260° i 90°–270°).

Na osnovi iznesenih podataka može se zaključiti da su topološke značajke dolinskog sustava povezane s pružanjem trasa dominantnih rasjeda s jedne i pružanjem trasa slojeva s druge strane. Promjena u geometrijskom položaju strukturnih elemenata (pružanje trasa slojeva i rasjeda) između dva promatrana dijela istočnih padina hrpta Učke, odražava se sukladno i na promjenu azimuta nagiba dolina (tj. smjer otjecanja odn. površinske odvodnje). Tako je potvrđena pretpostavka da topološke značajke dolinskog sustava u promatranom mjerilu ovise prvenstveno o elementima geološke strukture, a znatno manje o petrografskom i mineraloškom sastavu stijena.

Na sl. 3 tumačene su topološke značajke dolinskog sustava oblikovanog na strukturi koja može nastati duž trasa aktivnih desnih horizontalnih (transkurentnih) rasjeda u nizu (en echelon). Uočavaju se slijedeći detalji:

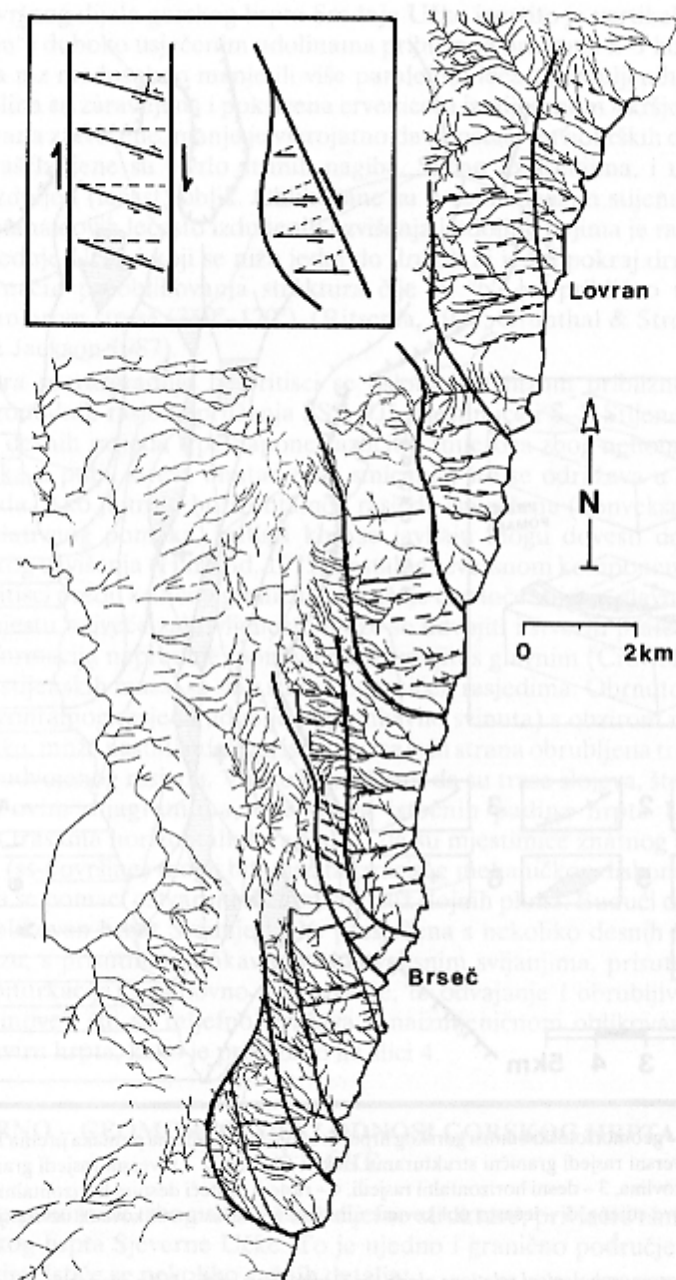
– stepeničasto poravnavanje izvorišnih dijelova najmladih dolina  
– usijecanje dolina viših redova sukladno trasama rasjeda približnog pružanja I–Z i SSZ–JJI

– nazubljen (pilast) ocrt obalne crte

Spomenute topološke značajke dolinskog sustava ukazuju na vjerojatno prisustvo "domino" struktura (Dibblee, 1977; Ramsay & Hubert, 1987 A, B). Gorski hrbat Učke presječen je nizom desnih horizontalnih rasjeda pretežitog pružanja S–J i SSZ–JJI. Unutar trasa desnih horizontalnih rasjeda javljaju se izraziti naponi smicanja koji se oslobadaju oblikovanjem pratećih rasjeda, s lijevom komponentom pomaka (sl. 3. shema u gornjem lijevom kutu) uz istovremenu rotaciju. Prateći rasjedi lijevog pomaka zabilježeni su u okviru gorskog hrpta Učke i podudaraju se sa smjerom pružanja označenim na skici (sl. 3). Na njihovo postojanje ukazali su i Schmidтови dijagrami. Primjećuje se da je rotacija (zakretanje) blokova ("domina") izrazitija unutar usporednih trasa desnih rasjeda u nizu koji su međusobno bliži.

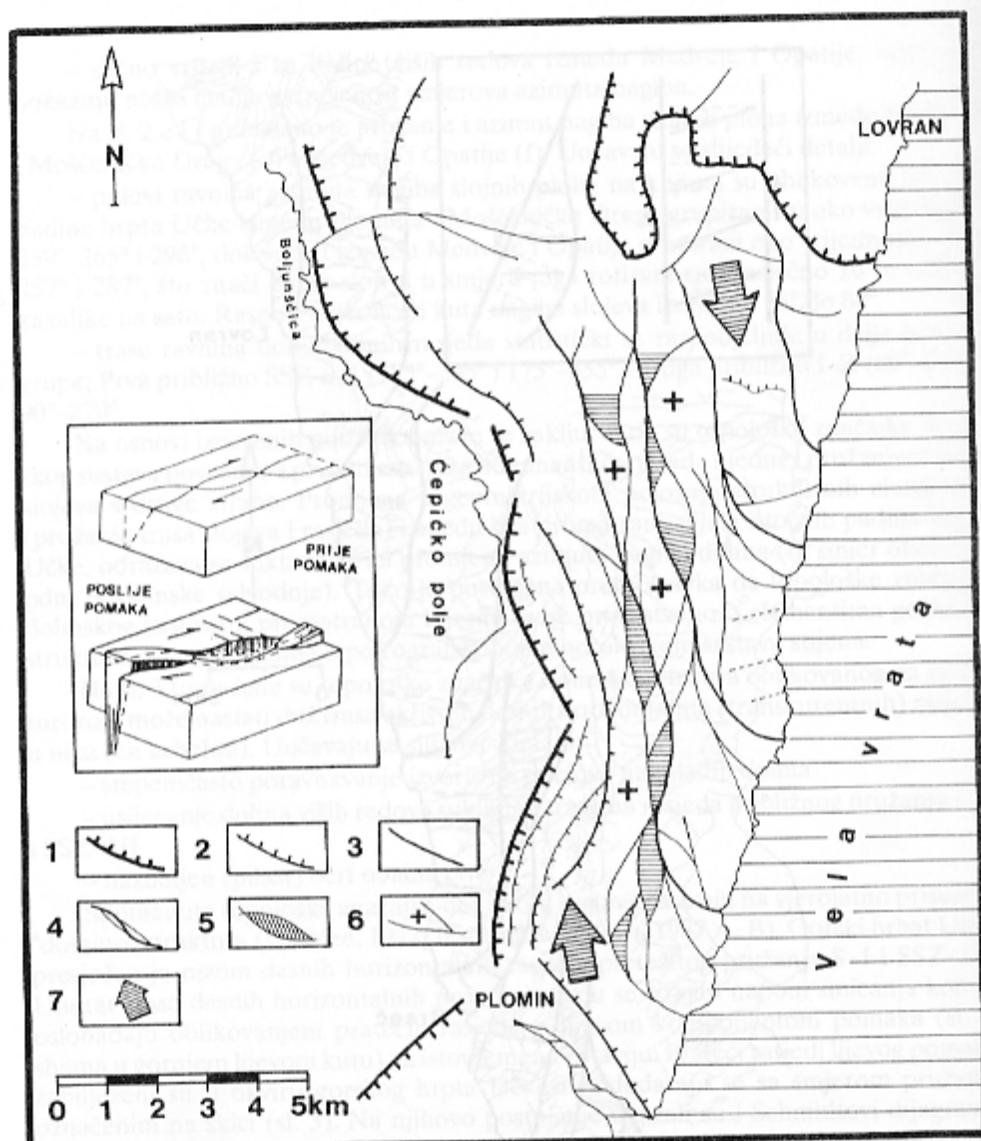
## STRUKTURNO GEOMORFOLOŠKI ODNOSI GORSKOG HRPTA SREDNJE UČKE

Gorski hrbat Učke, na osnovi morfografskih, morfometrijskih i morfostrukturnih odrednica razlučen je na gorskih hrbat Južne, Srednje i Sjeverne Učke (Mihljević, 1995 D). U strukturno – geomorfološkom pogledu posebice je zanimljiv gorski hrbat srednje Učke (sl. 4).



Sl. 3. Ocrta dolina gorskog hrpta Učke između Plomina i Opatije ukazuje na "domino" strukture. Shema pomaka prema Dibblee (1977).

Fig. 3. Drainage network outline of the Učka mountain ridge between Plomin and Opatija suggests the existence of the "domino" structures. Sketch of the slip mechanism according Dibblee (1977).



Sl. 4. Strukturno-geomorfološki odnosi gorskog hrpta Srednje Učke. Shema pomaka prema Reading (1980).  
 Legenda: 1 - reversni rasjedi granični strukturama Učke i Čičarije, 2 - reversni rasjedi pojedinih strukturim blokovima, 3 - desni horizontalni rasjedi, 4 - rasjedi praćeci desnim horizontalnim, koji klinasto obrubljuju blokove stijena, 5 - lećasto oblikovane udoline, 6 - lećasto oblikovana uzvišenja, 7 - približan smjer stresa.

Fig 4. Structural-geomorphological relations along the Central part of the Učka mountain range. Sketch of the slip mechanism according Reading (1989).

Key: 1 - reverse faults bordering the structures of the Učka & Čičarija mountain range, 2 - reverse faults bordering particular structural blocks, 3 - dextral strike - slip faults, 4 - branching strike slip faults formed raised and depressed wedge shaped blocks, 5 - lentic - like shaped gorges, 6 - lentic - like shaped summit parts of the Učka mountain range, 7 - approximate recent stress direction



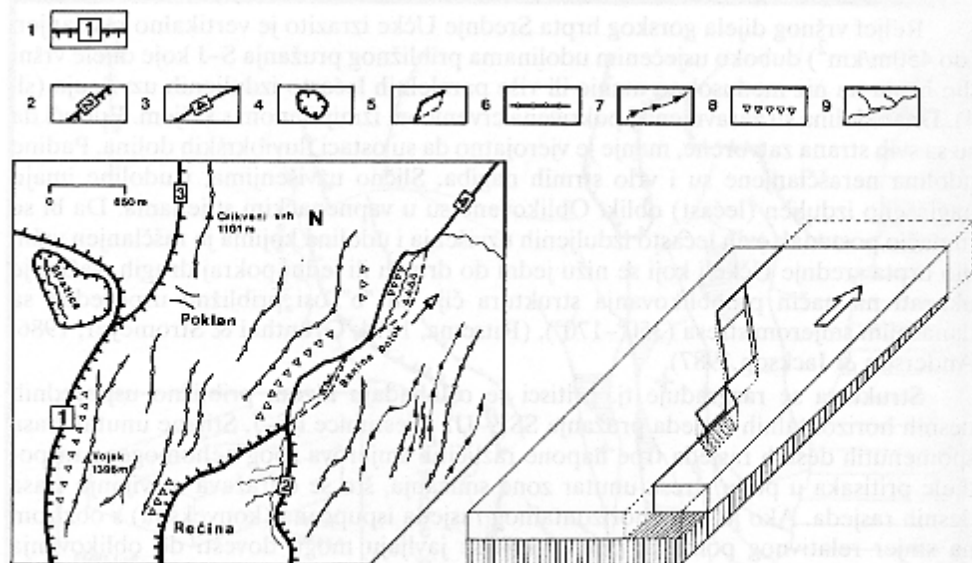
Reljef vršnog dijela gorskog hrpta Srednje Učke izrazito je vertikalno raščlanjen (do  $450\text{m}/\text{km}^2$ ) duboko usječenim udolinama približnog pružanja S–J koje dijele vršni dio hrpta na niz međusobno manje ili više paralelnih lećasto izduljenih uzvišenja (sl. 4). Dna udolina su zaravnjena i pokrivena crvenicom izmiješanom s kršjem. Budući da su sa svih strana zatvorene, manje je vjerojatno da su ostaci fluvioškriških dolina. Padine udolina neraščlanjene su i vrlo strmih nagiba. Slično uzvišenjima, i udoline imaju naglašeno izduljen (lećast) oblik. Oblikovane su u vapnenačkim stijenama. Da bi se tumačio postanak ovih lećasto izduljenih uzvišenja i udolina kojima je raščlanjen vršni dio hrpta srednje Učke i koji se nižu jedni do drugih ili jedni pokraj drugih, važno je ukazati na način preoblikovanja struktura čije su "b" osi približno usporedne sa današnjim smjerom stresa ( $350^\circ$ – $170^\circ$ ), (Ritsema, 1974; Grünthal & Stromeyer, 1986; Anderson & Jackson 1987).

Struktura se razgrađuje tj. pritisci se oslobadaju nizom približno usporednih desnih horizontalnih rasjeda pružanja SSZ–JJI mjestimice i S–J. Stijene unutar trasa spomenutih desnih rasjeda trpe napone različitih smjerova zbog nehomogene raspodjele pritisaka u polju stresa unutar zone smicanja, što se odražava u svijanju trasa desnih rasjeda. Ako je trasa horizontalnog rasjeda ispupčena (konveksna) s obzirom na smjer relativnog pomaka, pritisci koji se javljaju mogu dovesti do oblikovanja transpresijskog uzvišenja (Harland, 1971) nastalog reversnom komponentom pomaka. Kad i ako pritisci pređu kritičnu granicu unutrašnje čvrstoće stijena, glavni horizontalni rasjed, na mjestu najveće zakrivljenosti, može se udvojiti i stvoriti prateći rasjed, koji se, kako deformacija napreduje, ponovo može spojiti s glavnim (Crowell, 1974) izolirajući "klin" stijenskih masa, sa svih strana ograničen rasjedima. Obrnuto, ako je trasa desnog horizontalnog rasjeda udubljena (konkavno svinuta) s obzirom na smjer relativnog pomaka, može nastati udolina, isto tako sa svih strana obrubljena trasom glavnog i pratećeg – udvojenog rasjeda. Važno je istaknuti da su trase slojeva, što je pokazano na Schmidt-ovim dijagramima, duž dijela istočnih padina hrpta Učke, gotovo podudarne s trasama horizontalnih rasjeda, i da su mjestimice znatnog nagiba. Kako slojne plohe (ss-površine) mogu biti mjesta izrazitog mehaničkog diskontinuiteta, nije isključeno da se pomaci ostvaruju djelomice i duž slojnih ploha. Budući da je struktura u kojoj je oblikovan hrbat Srednje Učke presječena s nekoliko desnih horizontalnih rasjeda u nizu, s prisutnim konkavnim i konveksnim svijanjima, prisutno je njihovo udvajanje (bifurkacija) i ponovno povezivanje, te odvajanje i obrubljivanje blokova stijena u "klinove", što se reljefno izražava u naizmjeničnom oblikovanju grebena i udolina u okviru hrpta, kako je prikazano na slici 4.

## STRUKTURNO – GEOMORFOLOŠKI ODNOSI GORSKOG HRPTA SJEVERNE UČKE

Posebnu pozornost, zbog složenosti reljefne strukture, privlači vršni dio i istočne padine gorskog hrpta Sjeverne Učke. To je ujedno i granično područje strukturama Učke i Čičarije. Ističe se nekoliko važnih detalja:

– Vršni dio hrpta Sjeverne Učke izrazito je morfološki izdvojen od okolnog terena, veoma strmim padinama i liticama koje ga obrubljaju gotovo sa svih strana. Čak i u smjeru sjevera, gdje se stupanj raščlanjenosti nešto smanjuje, prisutan je prijevoj poklon (922 m) kojeg nadvisuje sjeverno položeni Crikveni vrh (1101 m) za približno 180 m.



Sl. 5. Strukturno-geomorfološki odnosi izvorišnog dijela potoka Banina.

Legenda: 1 – reversni rasjed graničan navlaci Čičarije, 2 – reversni rasjed Rečina – Lovranska Druga – Medveja, 3 – lijevi horizontalni rasjed duž kojeg se ostvaruje povlačenje (regresija) JI krila Čičarijske navlake, 4 – tektonski navlačak Stražice, 5 – tektonsko okno potoka Banine, 6 – pružanje istaknutih dijelova hrpta, 7 – smjer otjecanja dolina, 8 – litice, 9 – porječje potoka Banine.

Fig. 5. Structural – geomorphological relations of the upstream catchment area of the Banina brook.

Key: 1 – reverse fault bordering the Čičarija Overthrust, 2 – overthrust Rečina – Lovranska Druga – Medveja, 3 – lateral strike – slip fault along the regression of the SE block of the Čičarijska nappe occur, 4 – Stražica tectonic klippe, 5 – Banina tectonic window, 6 – striking of ridges, 7 – directions of the stream channel outflow, 8 – scarps, 9 – catchment area of the Banina brook.

– Sukladno pružanju vršnog dijela hrpta, prati se i ptigmatično svijena trasa granične navlake strukturama Čičarije i Učke (oblik "zmijine glave") koja se kod Medveje nastavlja ispod površine mora. Dvostruko svijanje čelnog dijela navlake, za  $180^\circ$  na dužini od dva kilometra, opravdano otvara pitanje tektonskih i kinematskih uvjeta njenog nastanka.

– Na lučno svijeni vršni dio hrpta Sjeverne Učke idealno se nadovezuju kontura sjevernog ruba kanjona Mošćeničke Drage.

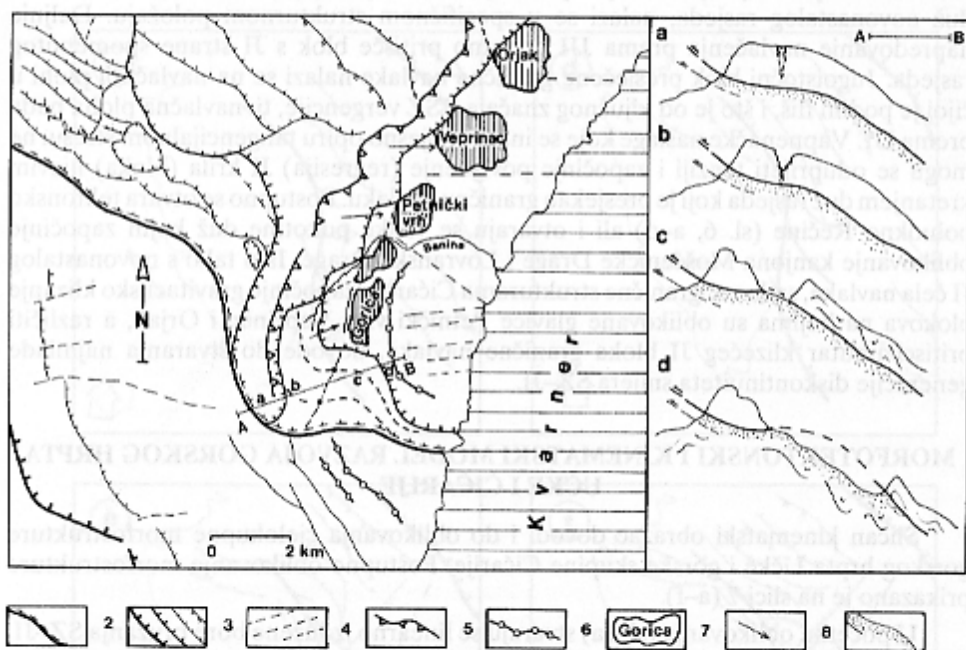
– Duboko usječeno dolinsko proširenje gornjeg toka potoka Banine, oblikovano je u tektonskom oknu, na čijem se dnu nalaze naslage fliša. Sjeveroistočno od spomenutog, odmah se nadovezuje i drugo, niže dolinsko proširenje. Na njegovu dnu nisu utvrđene naslage fliša. Dolinska proširenja izrazito su strmih padina, romboidalnog ocrta (sl. 5) i upućuju na lijeve pomake duž opisane trase diskontinuiteta.

– Geomorfološka karta (Mihljević, 1995, D), karta dolina i grebena (Mihljević i Prelogović, 1992) kao i sve dosad konstruirane morfometrijske karte gorskog hrpta (Mihljević, 1995 A, D) ukazuju na izraziti diskontinuitet (vertikalna raščlanjenost reljefa i do  $450 \text{ m/km}^2$ ) sjeveroistočnih padina hrpta sjeverne Učke, oblikovanih u

graničnim strukturama Učke i Čićarije. Trasa tog diskontinuiteta prati se na liniji Rečina–Veprinac–Matulji (sl. 6).

– Tektonsko poluokno Rečine, obrubljeno ptigmatično svijenom trasom granične navlake predstavlja izrazitu reljefnu ulekninu, otvorenu jedino prema Lovranskoj Dragi. Kao i na primjeru Vele Drage i Mošćeničke Drage, na kopnu niti u podmorju nije moguće pronaći pripadajući denudirani materijal. Valja podsjetiti, da je za oblikovanje Mošćeničke Drage u današnjoj veličini, morala biti denudirana velika količina materijala. Tako velika količina snešenog materijala u relativno kratkom geološkom periodu i na relativno malu udaljenost, morala bi se odraziti na svijanju izobata prema pučini (oplićivanju priobalja), što se ne zamjećuje.

– Diskontinuitet Rečina–Matulji praćen je paralelnim uzastopnim pružanjem blokova u kojem su oblikovane glavice Grnjac (850 m), Gorica (710 m), Petnički vrh (641 m), Veprinac (517 m) i Orjak (618 m) (sl. 6).



Sl. 6. Morfotektogeneza vršnog dijela i istočnih padina gorskog hrpta Sjeverne Učke.

Legenda: 1 – reverzni rasjed graničan strukturama Učke i Čićarije prije početka povlačenja (regresije) granične navlake, 2 – reverzni rasjedi granični pojedinim strukturama i strukturnim blokovima, 3 – trase rasjeda povezane s povlačenjem (regresijom) JI bloka granične navlake strukturama Čićarije, 4 – litice visine iznad 200 metara, 5 – pružanje hrptova i uzvišenja, 6 – blokovi skliznuti s JI čela granične navlake strukturama Čićarije, 7 – smjer klizanja blokova, 8 – fliš (na profilima a – d).

Fig. 6. Morphotectogenesis of the summit part and the eastern slopes of the North Učka mountain range.  
Key: 1 – Reverse fault bordering the structures of the Učka and Čićarija before the regression beginning of the Čićarija nappe started, 2 – reverse faults bordering particular structures and structural blocks, 3 – fault traces accompanying the regression of the SE part of the Čićarija nappe, 7 – direction of blocks sliding, 8 – flysch (on the profiles a – d).

– Navlačne plohe struktura u kojima je oblikovan vršni dio hrpta i istočne padine Sjeverne Učke, brdo Knezgrad povrh Lovranske Drage, i Goričko pobrđe, nagnuta je generalno prema istoku (Kvarnerskom zaljevu) i predstavlja izraziti kontrast plastičnosti između vapnenaca u krovini i fliša.

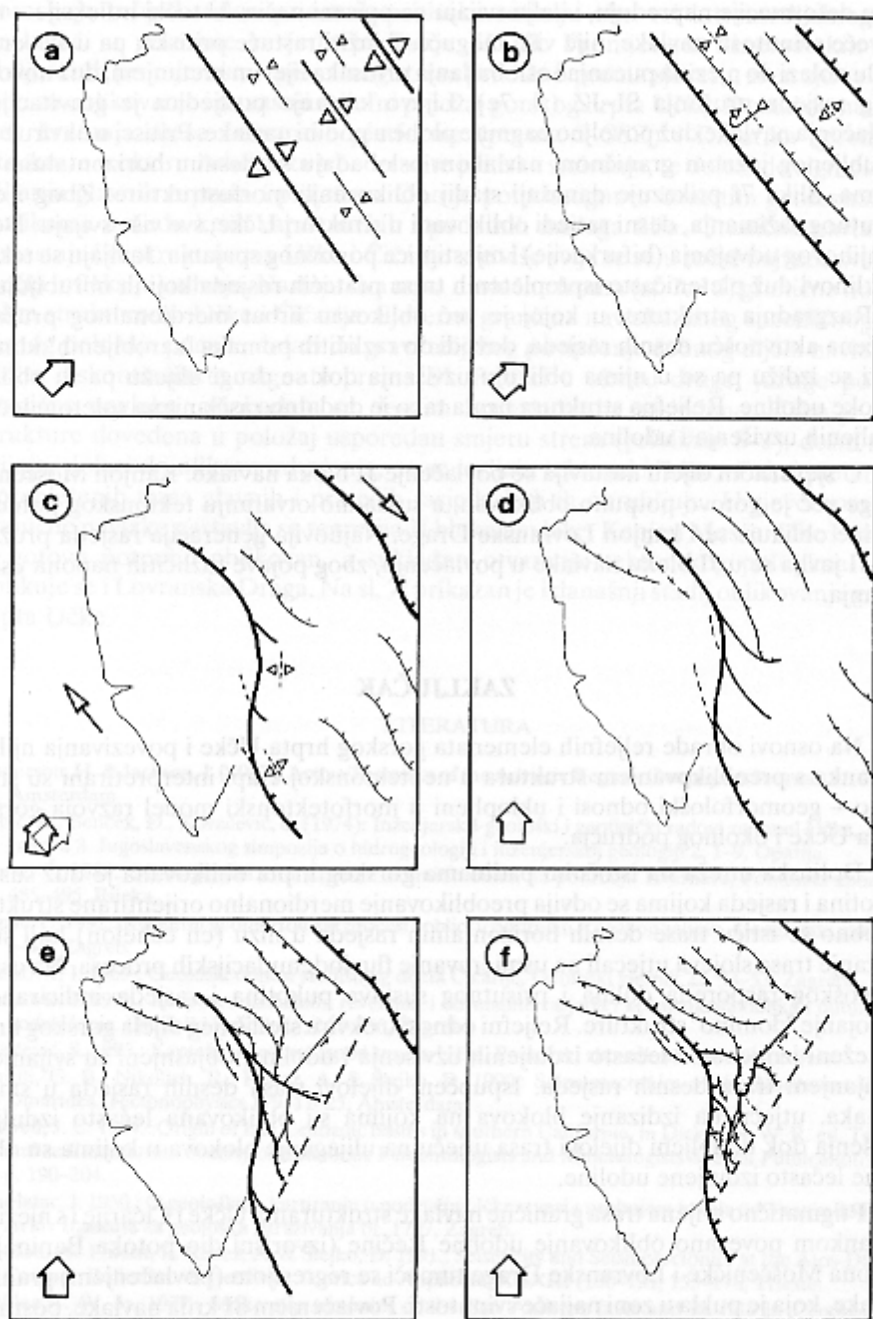
Navedene činjenice upućuju na zaključak da je trasa graničnog rasjeda presječena rasjedom pružanja SI–JZ (Rečina-Matulji) duž kojeg je došlo do gravitacijskog povlačenja (regresije) čela navlake granične strukturama Učke i Čičarije. Morfogenezna vršnog dijela hrpta prikazana je postupno na slici 6.

Prethodno lučno svijena trasa granične navlake strukturama Čičarije pružala se današnjim zapadnim strmo odsječnim liticama vršnog dijela hrpta sjeverne Učke i nastavljala je duž današnjeg sjeveroistočnog ruba Mošćeničke Drage. Uslijed rastućih pritisaka, povezanih sa novonastalim smjerom stresa, dolazi do sve jačeg lučnog svijanja navlake. U kritičnom trenutku, u točki infleksije tj. na mjestu najjače svinutosti navlake, čelo navlake puca i javlja se rasjed pružanja SI–JZ lijevog pomaka. Jugoistočni blok duž novonastalog rasjeda, nalazi se u specifičnom strukturnom položaju. Daljnje napredovanje navlačenja prema JJI dodatno pritišće blok s JI strane spomenutog rasjeda. Jugoistočni blok presječene granične navlake nalazi se na navlačnoj plohi u čijoj je podini fliš, i što je od ključnog značaja ZSZ vergencije, tj. navlačna ploha pada prema JJI. Vapnenačke naslage koje se inače uspješno opiru tangencijalnom stresu, ne mogu se oduprijeti tenziji i započinje povlačenje (regresija) JI krila (bloka) lijevim kretanjem duž rasjeda koji je presjekao graničnu navlaku. Postupno se otvara tektonsko poluokno Rečine (sl. 6, a–d) ali i stvaraju se velike pukotine duž kojih započinje oblikovanje kanjona Mošćeničke Drage i Lovranske Drage. Isto tako s novonastalog JI čela navlake, sada već granične strukturama Čičarije, započinje gravitacijsko klizanje blokova na kojima su oblikovane glavice Petnički vrh, Veprinac i Orjak, a različiti pritisci unutar klizećeg JI bloka granične navlake, dovode do stvaranja najmlade generacije diskontinuiteta smjera SZ–JI.

## MORFOTEKTONSKI I KINEMATSKI MODEL RAZVOJA GORSKOG HRPTA UČKE I ČIČARIJE

Sličan kinematski obrazac dovodi i do oblikovanja cjelokupne morfostrukture gorskog hrpta Učke i gorske skupine Čičarije. Postupno oblikovanje morfostrukture prikazano je na slici 7 (a–f).

U početku oblikovanja (sl. 7a) stvaraju se linearno izdužene bore pružanja SZ–JI, koje napredovanjem deformacije, rotiraju oko osi srednjeg stresa ( $\delta_2$ ) i prelaze u reversne rasjede pružanja SZ–JI (sl. 7b). U tim strukturama oblikuju se gorski hrptovi istovjetnog smjera pružanja. Nastupom izmjenjenih kinematskih uvjeta, obilježenih promjenom globalnog stresa u smjer približno S–J, započinje preoblikovanje prethodno stvorenih struktura. Ono je obilježeno nasuprotnim kretanjem masa Jadranske platforme s jedne i Dinarida s druge strane. Strukture između te dvije mase trpe izrazite napone smicanja. Granična navlaka u polju nehomogenog stresa izazvanog smicanjem, sve više svija u oblik razvučenog slova "Z" (sl. 7c). Rastući pritisci dovode do pucanja odnosno udvajanja granične navlake, i dolazi do razlikovanja struktura Učke i Čičarije s jedne, te početka oblikovanja uleknine u kojoj se počinje oblikovati zavala Čepičkog polja (sl. 7d). Stvorena je regionalna "horse" struktura. Dva novonastala čela navlake,



Sl. 7. Morphotektonetski i kinematski model razvoja gorskog hrpta Učke i Čićarije.

Fig. 7. Morphotectogenesis of the Učka mountain range and the Čićarija mountain group.

kako deformacije napreduju, i dalje svijaju na opisani način. U točki infleksije – točki najveće svinutosti navlake, nije više moguće ublažiti rastuće pritiske, pa u sjevernom dijelu dolazi do njezina pucanja i oslobađanja pritisaka lijevim kretanjem, duž novonas-talog rasjeda pružanja SI–JZ (sl. 7e). Lijevo kretanje posljedica je gravitacijskog povlačenja navlake duž povoljno nagnute plohe u podini navlake. Pritisci u okviru bloka obrubljenog južnom graničnom navlakom oslobađaju se desnim horizontalnim rasjedima. Slika 7f prikazuje današnji stadij oblikovanja morfostrukture. Zbog i dalje prisutnog sažimanja, desni rasjedi oblikovani u strukturi Učke, sve više svijaju. Dolazi do njihovog udvajanja (bifurkacije) i mjestimice ponovnog spajanja. Javlja se tektonski klinovi duž pleteničasto isprepletenih trasa pratećih rasjeda koji ih obrubljuju (sl. 4). Razgradnja strukture, u kojoj je već oblikovan hrbat meridionalnog pružanja, praćena aktivnošću desnih rasjeda, dovodi do različitih pomaka "zarobljenih" klinova. Neki se izdižu pa se u njima oblikuju uzvišenja dok se drugi uliježu pa se oblikuju duboke udoline. Reljefna struktura hrpta tako je dodatno rasčlanjena spletom lećasto izduljenih uzvišenja i udolina.

U sjevernom dijelu nastavlja se povlačenje JI bloka navlake. Kanjon Mošćeničke Drage već je gotovo potpuno oblikovan, a sukladno otvaranju tektonskog poluokna Rečine oblikuje se i kanjon Lovranske Drage. Najnovija generacija rasjeda pružanja SZ–JI javlja se u JI bloku navlake u povlačenju, zbog pojave različitih napona uslijed klizanja.

## ZAKLJUČAK

Na osnovi obrade reljefnih elemenata gorskog hrpta Učke i povezivanja njihova postanka s preoblikovanjem struktura u neotektonskoj etapi interpretirani su strukturno – geomorfološki odnosi i uklopljeni u morfotektonski model razvoja gorskog hrpta Učke i okolnog područja.

Dolinska mreža na istočnim padinama gorskog hrpta oblikovana je duž sustava pukotina i rasjeda kojima se odvija preoblikovanje meridionalno orijentirane strukture. Posebno se ističu trase desnih horizontalnih rasjeda u nizu (en echelon) koji su pružanje trasa slojeva utjecali na usmjeravanje fluviodenudacijskih procesa. Na osnovi topološkog rasporeda dolina i prisutnog sustava pukotina i rasjeda indicirano je postojanje "domino" strukture. Reljefni odnosi u okviru središnjeg dijela gorskog hrpta, obilježeni izmjenama lećasto izduljenih uzvišenja i udolina, objašnjeni su svijanjem i udvajanjem trasa desnih rasjeda. Ispupčeni dijelovi trasa desnih rasjeda u smjeru pomaka, utječu na izdizanje blokova na kojima su oblikovana lećasto izduljena uzvišenja dok udubljeni dijelovi trasa utječu na ulijeganje blokova u kojima su oblikovane lećasto izduljene udoline.

Ptigmatično svijena trasa granične navlake strukturama Učke i Čićarije i s njezinim postankom povezano oblikovanje udoline Rečine (izvorišni dio potoka Banina), te kanjona Mošćeničke i Lovranske Drage tumači se regresijom (povlačenjem) granične navlake, koja je pukla u zoni najjače svinutosti. Povlačenjem SI krila navlake, postupno se otvaraju i oblikuju kanjoni Mošćeničke i Lovranske Drage te udolina Rečine.

Morfotektonski razvoj gorskog hrpta Učke i susjednog područja započinje krajem mezozoika. Stres koji je tada bio usmjeren približno prema SI stvara linearno izduljene

bore koje uslijed stalno prisutnih pritisaka rotiraju oko osi intermedijalnog stresa prelazeći u reversne rasjede pružanja SZ–JI. Promjenom kinematskih uvjeta obilježenih promjenom regionalnog stresa približno prema sjeveru, stvaraju se preduvjeti za oblikovanje i današnji reljefni položaj gorskog hrpta Učke. Dolazi do nasuprotnog kretanja masa Jadranske platforme (prema S–SSZ) i Dinarika (prema JI). Strukture u okviru Adrijatika trpe izrazite pritiske smicanja, te dolazi do sigmoidalnog svijanja glavnih ruptura i plikatura. Ono je potpomognuto izrazitim geomehaničkim razlikama između krtih vapnenačkih i podatnih naslaga fliša. Granična navlaka novonastajućim strukturama Učke i Ćićarije sve više svija te se u točki najveće svinutosti (točki infleksije) udvaja. Nastaju dva nova navlačna fronta (sl. 7c i d) granična novonastalim strukturama Učke i Ćićarije. Sjeverna granična navlaka, zbog specifičnog strukturnog položaja puca te dolazi do gravitacijskog povlačenja čeonog dijela navlake duž plohe diskontinuiteta nagnute prema SI. Pritisci u okviru druge, južnije položene granične navlake, oslobađaju se desnim horizontalnim rasjedima. Kako je "b" os strukture dovedena u položaj usporedan smjeru stresa (približno S–J), desni rasjedi svijaju, dolazi do njihova udvajanja, pa se javljaju tektonski "klinovi" duž pleteničasto isprepletenih trasa glavnih i pratećih rasjeda koji ih obrubljuju. U sjevernom dijelu granične navlake nastavlja se regresija JI bloka navlake. Kanjon Mošćeničke Drage već je gotovo potpuno oblikovan, a sukladno otvaranju tektonskog poluokna Rečine oblikuje se i Lovranska Draga. Na sl. 7f prikazan je i današnji stadij oblikovanja gorskog hrpta Učke.

## LITERATURA

- Anderson, H. & Jackson, I. (1987): Active Tectonics of the Adriatic Region. *Geophysics Journal*, 91, 937–983, Amsterdam
- Babić, Ž., Benček, Đ., Kovačević, S. (1974): Inženjersko-geološki i geofizički radovi za tunel Učka, Zbornik radova 3. Jugoslavenskog simpozija o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji 2, 1–9, Opatija.
- Benac, Č. 1989.: Morfogenezna vrlo strmih i okomitih obala na području Kvarnera, Pomorski zbornik 27, 485–495, Rijeka.
- Benac, Č. 1992.: Recentni geomorfološki procesi i oblici u području Riječkog zaljeva. *Geografski glasnik*, 54, 1–19, Zagreb.
- Blašković, I. 1969.: Geološki odnosi središnjeg dijela Ćićarije, *Geološki vjesnik* 22, 33–53, Zagreb.
- Blašković, I. 1991.: Raspored uzdužnih, reversnih i normalnih rasjeda i konstrukcija oblika i dubina ploha podvlačenja. *Geološki vjesnik* 44, 247–256, Zagreb.
- Božićević, S. 1993.: Kaptaža u kaverni ispod tunela Učka. *Pomorski zbornik* 31, 565–586, Rijeka.
- Carulli, G. B., Nikolich, R., Rebez, A. & Slejko, D. 1990.: Seismotectonics of the Northwest External Dinarides. *Tectonophysics* 179, 11–25, Amsterdam.
- Crowell, J. C. 1974.: Origin of late Cenozoic basins in southern California, in Dickinson W. R. ed. *Tectonics and sedimentation: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication No. 22*, p. 190–204.
- Crolatac, I. 1950.: O geološkom kartiranju u području Učke u vezi s probom tunela od Vranja do Poljana, *Arhiv Instituta za geološka istraživanja* br. 1797, Zagreb.
- Del Ben, A., Finetti, I., Rebez, A. & Slejko, D. 1991.: Seismicity and Seismotectonics at the Alps-Dinarides Contact. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, XXXIII (130–131, 155–176, Trieste).
- Dibblee T. W. Jr. 1977.: Strike slip tectonics of the San Andreas fault and its role in Cenozoic basin evolution. in Nilsen T. H., ed., *Late Mesozoic and Cenozoic sedimentation and tectonics in California: Bakerfield, California*, San Joaquin Geological Society, p. 26–38.
- Grünthal, G. & Stromeyer, D. 1986.: Stress Pattern in Central Europe and Adjacent Areas. *Geophysik*, 95 (5), 443–452, Leipzig.

- Herak, M. 1991.: Dinaridi i mobilistički osvrt na genezu i strukturu. *Acta geologica* 21 (2), 35–117, JAZU, Zagreb.
- Harland, W. B. 1971.: Tectonic transpression in Caledonian Spitsbergen. *Geological magazine*, v. 108, p. 27–42.
- Malez, M. 1954.: Speleološka istraživanja na području Ćićarije u Istri, *Ljetopis JAZU*, 59, 100–106, Zagreb.
- Malez, M. 1955.: Speleološka istraživanja Učke i Ćićarije u Istri, I Jugoslav. geološki kongres, Postojna, 55–67, Ljubljana.
- Malez, M. 1960.: Pećine Ćićarije i Učke u Istri, *Prirodoslov. istraživanja*, knj. 29, *Acta geologica* II, 162–256, JAZU, Zagreb.
- Marinčić, S. & Matičec, D. 1991.: Tektonika i kinematika deformacija na primjeru Istre. *Geološki vjesnik* 44, 257–268, Zagreb.
- Mihljević, D. & Prelogović, E. 1992.: Structural – geomorphological Characteristic of the Mountain Ranges Učka & Ćićarija. *Proceedings of the International symposium: Geomorphology and Sea, Mali Lošinj, september 1992*, 13–24, Zagreb.
- Mihljević, D. 1994.: Analysis of spatial characteristics in distribution of sinkholes as an geomorphological indicator of recent deformations of geological structures. *Acta geographica Croatica*, Vol. 29, str. 29–36.
- Mihljević, D. 1995, A): Some karst features of tectonic origin as an indicator of recent tectonic activity on northeast part of the Istrian peninsula. *Acta Carstologica*, XXIV, 401–412, Ljubljana 1995.
- Mihljević, D. 1995, B): Characteristics of the Relief System within the Istrian Hummocky Hills – Factor Approach. *Geografski glasnik* 57, 1–19, Zagreb.
- Mihljević, D. 1995, C): Neotectonic Interpretation of Structural-geomorphological Characteristics of the North-West part of the Dinaric Mountain Zone. *Acta geografica croatica*, Vol. 30, 1–12, Zagreb.
- Mihljević, D. 1995, D): Geomorfološke značajke gorskog hrpta Učke, gorske skupine Ćićarije i Istarskog pobrda. *Disertacija*. Sveučilište u Zagrebu. Prirodoslovno-matematički fakultet. 1–322.
- Mihljević, D. 1996.: Zašto Velebit ima lučno svijeni hrbat? *Geografski horizont* br. 1, god. XLII, str. 76–79, Zagreb.
- Morisawa, M. & Hack, J. T. (eds) 1985.: *Tectonic geomorphology*. Allen & Unwin, Boston-London-Sydney, 390 p.
- Morisawa, M. 1975.: Tectonics and geomorphic models. In: W. N. Melhorn & R. C. Flemal (eds), *Theories of landform development*. Allen & Unwin, London-Boston-Sydney, pp 199–216.
- Ollier, C. D. 1981.: *Tectonics and landforms*. Longman, London-New York, 324 p.
- Panizza, M., Castaldini, D., Bollettinari, G., Carton A., Mantovani, F. 1987.: Neotectonic research in applied geomorphological studies. *Z. Geomorph. N. F. Suppl.*–Bd. 63, Berlin-Stuttgart.
- Prelogović, E., Kuk, V., Jamičić, D., Aljinović, B., Marić, K. (1995): Seizmotektonska aktivnost Kvarnerskog područja. 1. Hrvatski Geološki kongres, Opatija, 18–21. 10. 1995, *Zbornik radova*, 2, 487–490, Zagreb.
- Ramsay, J. G., Huber, M. I. 1987, A.: *The Techniques of Modern Structural Geology Volume: 1: Strain Analysis*. Academic press Inc., Harcourt Brace Jovamovich Publishers, London-San Diego-New York-Berkeley-Boston-Sydney-Tokyo-Toronto.
- Ramsay J. G. & Huber, M. I. 1987.: *The Techniques of Modern Structural Geology Volume 2: Folds and Fractures*. Academic press Inc., Harcourt Brace Jovamovich Publishers, London-San Diego-New York-Berkeley-Boston-Sydney-Tokyo-Toronto.
- Reading, H. G. 1980.: Characteristics and recognition of strike slip fault systems, *Spec. Publ. int. Assoc. Sedimentol.* 4, 7–26.
- Ritsema, A. R. 1974.: The earthquake mechanism of the Balkan Region, – UNDP Project R. 3EM, 70/172, UNESCO, Skopje.
- Salopek, M. 1954, A.: Geološka karta sjeverozapadne Ćićarije i gornjeg toka doline Mirne. *Ljetopis JAZU*, 59, 1953, 118–121, Zagreb.
- Salopek, M. 1954, B.: Osnovne crte geologije Ćićarije i Učke. *Prirodoslovna istraživanja* 26, JAZU, 59–98, Zagreb.
- Salopek, M. 1954, C.: Prilozi poznavanju geološke građe labinskog i pićanskog bazena Istre, *Prirodosl. istraživanja*, knj. 26, 5–48, JAZU, Zagreb.
- Salopek, M. 1956, A.: O geološkoj građi šire okolice Šapjana, Klane i Rijeke. *Acta geologica*, 1, JAZU, 155–173, Zagreb.
- Salopek, M. 1956, B.: Geološka građa i struktura južnog dijela labinskog bazena, *Prirodosl. istraživanja*, knj. 27, 9–27, *Acta geologica* I, JAZU, Zagreb.
- Salopek, M. 1960.: Prilog poznavanju geološke građe Vinodola. *Acta geologica*, 2, JAZU, 137–161, Zagreb.



- Scheidegger, A. E. 1979.: Orientationsstruktur der Talanagen im noerdlichen Wienerwald. Z. Geomorph. N. F. 23, Band 4, 281–290, Berlin-Stuttgart.
- Slejko, D., Carulli, G. B., Carraro, F., Castaldini, D., Cavallin, A., Doglioni, C., Iliceto, V., Nikolich, R., Rebez, A., Semenza, E., Zanferri, A. & Zanolla, C. 1987.: Seismotectonics of the eastern Southern-Alps: a review. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 31, 109–136, Trieste.
- Stache, G. 1859.: Die Eozaengebiete im Innerkrain und Istrien, *Monatsh. geol. Reichsanst.* 10/2, 272–332, Wien.
- Stache, G. 1860, A.: Gebirgsbau in Istrien, *Jahrb. geolog. Reichsanst.*, 11 Verh., Wien.
- Stache, G. 1860, B.: Lagerungsverhaeltnisse und Gebirgsbau in Istrien, *Verh. Geol. Reichsanst.*, Wien.
- Stache, G. 1864, A.: Geologisches Landschaftsbild des istrischen Kuestenlandes, *Oesterr. Revue* 5, 209–22, Wien.
- Stache, G. 1864, B.: Die Eozaengebiete von Innerkrain und Istrien II, *Jahrb. Geolog. Reichsanst.* 14/1, 11–115, Wien.
- Stache, G. 1889.: Die liburnische Stufe und deren Grenzhorizonte, Eine Studie ueber die Schichtenfolgen der Cretazisch-eozaenen oder protozaenen Landbildungsperiode im Bereich der Kuestenlaender von Oesterreich-Ungarn, *Abh. Geol. Reichsanst.* 13, 1–170, Wien.
- Strahler, A. N. 1952, A.: Dynamic basis of geomorphology. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Vol. 63, 923–938.
- Sylvester, A. G. compiled by: 1984.: Wrench Fault Tectonics. Selected papers reprinted from the AAPG Bulletin and other geological journals. Published by The American Association of Petroleum Geologists Tulsa, Oklahoma U.S.A.
- Šikić, D. (1963): Geologija područja južne Učke. *Geološki vjesnik*, 16, 45–62, Zagreb.
- Šikić, D., Plenićar, M. & Šparica, M. 1972.: Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000, list Ilirska Bistrica. Savezni geološki zavod, Beograd.
- Šikić, D., Polšak, A. & Magaš, N. 1969, B.: Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000, list Labin. Savezni geološki zavod, Beograd.
- Šikić, D., Plenićar, M. 1975.: Tumač za List Ilirska Bistrica OGK SFRJ 1:100.000, L 33–89, Beograd.
- Šikić, D., Polšak, A. 1973.: Tumač za List Labin OGK SFRJ 1:100.000, L 33–101, Beograd.
- Waagen, L. 1906.: Die Virgation der istrischen Falten. Aus den Sitzungsberichten der Kaiserl. Akademie der Wissensch. in Wien, Mathem.-Naturw. Klasse, Bd. CXV. Abt. I, 199–215, Wien.

#### SUMMARY

### Structural-geomorphological Characteristics and Morphotectogenic Evolution Model of the Učka Mountain Range (Croatia)

by  
Darko Mihljević

After a study of the relief elements within the Učka mountain range and having connected their development with the reshaping of their structure during the neotectonic period, the structural-geomorphological relations have been interpreted and incorporated into a morphotectonic model of development of the Učka mountain range and of the surrounding area.

The drainage network at the eastern slopes of the mountain ridge has been shaped along the faults and joints system through which the reshaping of the meridionally oriented structure occurs.

Most conspicuous are the routes of an echelon of dextral strike slip faults that besides the striking of the deposits routes have affected the direction of fluviodenudational processes. On basis of the topological disposition of valleys and of the current system of joints and faults, there are indications of a "domino structure". Relief relationships within the Central part of the mountain range, marked by the succession of lentil-like elongated hills and relief depressions have been explained by bending and splitting of the dextral strike slip fault routes. The convex parts of the right fault routes in the shifting direction affect the lifting of blocks on which lentil-like elongated elevations have been shaped whereas the recessed parts of the routes affect the sinking of blocks with the lentil-like elongated relief depressions.

A ptigmatically bent route of the bordering nappe towards the structures of Učka and Čićarija and related to its evolution, shaping of the relief depression of the river Rečina (the source area of the brook Banin) and of the canyon of Mošćenička and Lovranska Draga is interpreted by regression (withdrawal) of

the bordering nappe, which broke in the area of the largest curvature. By withdrawal of the northeastern limb of the nappe, the canyons of Mošćenička and Lovranska Draga as well as the relief depression of the Rečina are gradually being opened and shaped.

The morphotectonic evolution of the Učka mountain range and of the neighbouring region started at the end of Mesozoic era. The stress that went then in the approximate northeast direction created the linear elongated folds which due to the constantly present pressures rotate around the axis of the intermedial stress, passing into reverse faults of the NW-SE direction. By the change of kinematic conditions marked by the alteration of the regional stress approximately to the north, the prerequisites of shaping and the current relief situation of the Učka mountain range have been created. The masses of the Adriatic platform and of the Dinaricum move in the opposite directions (Adriaticum towards N-NNW and Dinaricum towards SE). The structures within Adriaticum undergo rather high pressures of shearing, and sigmoidal bending of the main ruptures and plicatures occurs. All this is supported by the remarkable geomechanic differences between the brittle limestone and ductile deposits of flysh. The bordering nappe to the newly formed structures of Učka and Čićarija becomes more and more twisted and on the spot of the largest curvature (inflexion spot) it splits in two. Thus two new nappe fronts develop (fig. 7c and d) bordering the newly developed structures of Učka and Čićarija. The northern bordering nappe, breaks due to the specific structural situation and the gravity regression of the nappe front, along the discontinuity plane gently inclined towards NE, occurs. The pressures within the second, south bordering nappe are released by the dextral strike slip faults. Since "b" is the axis of the whole structure and is brought into the position parallel to the stress direction (approximately N-S), right faults are bent, are split and tectonic "bolts" along the interwoven routes of the principal and accompanying faults appear on their edge. In the northern part of the bordering nappe, the regression of the SE nappe block continues. The canyon of the Mošćenička Draga is almost completely shaped and according to the opening of the tectonic semi-window of the Rečina, the Lovranska Draga is shaped, too. The fig. 7f shows among other things, also the present-day development stage of the Učka mountain ridge.

Primljeno: 25. studenog 1996.

Received: November 25, 1996