

ZARAVNI NA VAPNENCIMA*

JOSIP ROGLIĆ

Uvod — Klasična gledanja o razvoju krša ne vode računa o nekim bitnim procesima i ne mogu objasniti vrlo značajne oblike. Nije objašnjeno, kako je bilo moguće da se na čistim vapnencima prije krškog procesa vrši riječna erozija, kojoj se pripisuju mnogi oblici ili izmjena čitavog reljefa na otopivim stijenama. Ova se shvaćanja olako prihvaćaju i generaliziraju, iako su u suprotnosti sa biti krša, odnosno s morfološko-hidrografskim procesima na vapnencima, kako ih je logično precizirao J. Cvijić pred kraj svog dugogodišnjeg rada na krškim problemima: »Dok na nepropusnim stijenama tokovi otječu prema moru, vode u kršu noniru više ili manje okomito, kroz pukotine i pećine, po zakonima teže i bez obzira na morsku razinu. Ako je nepropusni sloj ispod morske razine, krški način otjecanja nastaviti će se do tog sloja«.¹

Prema vrlo raširenom shvaćanju, voda obogaćena atmosferskim ugljičnim dioksidom otapa vapnenac (kalcijev karbonat) u nestabilni kalcijev bikarbonat i sa sobom odnosi otopinu. Malo je vjerojatno, da je atmosferski ugljični dioksid u atmosferi jače zastupljen: poznato je da ovaj plin znatnim dijelom potječe iz unutrašnjosti Zemlje. U pećinama se često konstatira velika količina ugljičnog dioksida i prema tome bi u vapnenačkoj unutrašnjosti bile veće mogućnosti spomenutog spoja vode s ugljičnim dioksidom, a prema tome i mogućnosti otapanja vapnenca. Možda bi se time mogli objasniti veliki podzemni pećinski prostori, za čije formiranje nisu dovoljna ni urušavanja pokrova ni mehanička erozija podzemnih tokova. Dalje ćemo vidjeti, da je za koroziju vapnenca naročito važan izvor ugljičnog dioksida.

Ponirući kroz pukotine, vođeni se mlazovi spajaju i ispunjavaju šupljine nejednakih dimenzija. Pri tome dolaze do izražaja složeni zakoni adhezije i hidrostatičkog pritiska. Prilike se dalje na najrazličitije načine kompliciraju promjenom sastava vapnenca ili smjene s drugim stijenama i razlikama u tektonskoj građi. Tome treba dodati efekte mehaničke erozije, koja je u sistemima kanala nejednakih dimenzija naročito snažna,

* O temi je održano predavanje u Geografskom društvu 5. IV. 1954. pod naslovom »Zaravni u dinarskom kršu«. Ovaj je rad bio priređen i predan na tisak 12. V. 1956. JAZU, ali zbog posebnih razloga nije objavljen; to se vremenski zakašnjenje ogleda u redakciji teksta.

¹ J. Cvijić, *Hydrographie souterraine et évolution morphologique du karst*. Recueil de travaux de l'Institut de géographie alpine, sv. VI, br. 4, Grenoble 1918. str. 394.

zbog vrtložastog kretanja vode i pokretanja urušenog materijala. Mehaničku eroziju olakšava pokretanje urušenog i donesenog materijala.

Kretanje vode pod hidrostatičkim pritiskom, povoljni uvjeti za koroziju i snažna mehanička erozija omogućuju širenje podzemnih šupljina u različitim smjerovima i razvoj u nejednakom opsegu. Ovakvim razvojem lako dolazi do urušavanja velikih razmjera, koja se mogu odraziti i u površinskom reljefu.

Rezultat spomenutih procesa u dubini i otapanja na površini jesu izolirane udubine povezane sa spletom šupljina u vapnenoj masi. Ukoliko su vapnenci čistiji i deblji, a kompleksni krški proces dalje odmakao, trebalo bi da udubine budu veće, a sistem podzemnih šupljina razgranatiji i složeniji. Razvoj krškog procesa ide do nepropusne podloge, t. j. u okomitom smjeru, a uravnavanje bi moglo nastupiti tek na ovoj osnovi, kao što je to logično zaključio Cvijić.²

Stvaran reljef vapnenačkih terena ne odgovara gornjoj logičnoj shemi i pokazuje, da je razvoj oblika u kršu mnogo složeniji. Na vapnencima nalazimo naročito izrazite zaravni, čije se formiranje ne može objasniti izloženim razvojem krša.

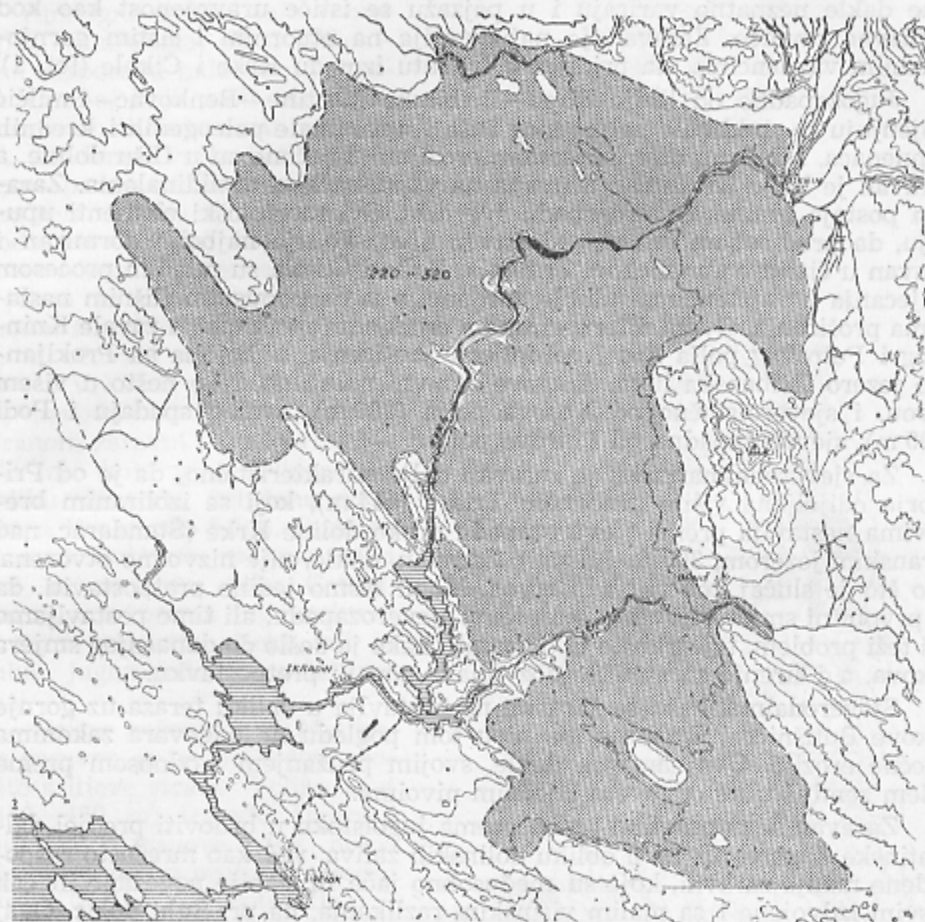
Zadaća je ovoga rada da doprinese objašnjenju postanka zaravni, vodeći računa o njihovim osobinama i specifičnosti evolucije reljefa na vapnencima. Težište je na zaravnima u čistim vapnencima, gdje su one i najizrazitije. Zaravni su u suprotnosti s pukotinskim otjecanjem vode i razvojem krških oblika, što ukazuje, da se morfološki procesi mogu bitno mijenjati. U tome je ključna važnost objašnjenja postanka zaravni.

Obrazovanje zaravni na vapnencima nije samo neriješen problem, već u tom pogledu vladaju i očite zabune. Vodeći istraživači mijenjali su svoja ranija i osnovna gledanja, a da to često nisu kasnije konzekventno primjenjivali. U nekim novijim radovima ne vodi se dovoljno računa o ovom toku stvari, te se za pojedine istraživače navode često sporedna i napuštena shvaćanja. U izlaganjima ćemo se osvrtni na najvažnije dosadašnje radove, a naročita je pažnja posvećena novijim rezultatima, koji olakšavaju rješenje problema. Pored uže problematike ovaj rad zasijeća i u cijelu morfologiju krša, što može potaknuti dalju diskusiju, a to je po našem shvaćanju ne samo korisno, već i potrebno.

Zaravni su tipično razvijene na vapnencima — Ni na jednoj drugoj stijeni nisu zaravni tako dobro izražene kao na vapnencima. Obično se kaže, da se zaravni na vapnencima dobro konzerviraju, jer nema spiranja ni linearne erozije. To je očito, ali je bitnije objasniti, zašto su zaravni na vapnencima tako dobro razvijene. Zaravan je u suprotnosti sa bitni krškog procesa, kako je on do sada općenito shvaćen i manifestiran u našim umjerenim klimatskim prilikama — krški se oblici razvijaju u okomitom smjeru, a zaravan je razvijena u horizontali. Prije nego što udemo u raspravu problema, iznijet ćemo osobine nekoliko zaravni u dinarskom kršu, podvlačeći specifične karakteristike.

² J. Cvijić, Op. cit., str. 405—421.

Najpoznatija zaravan na vapnencima jest ona, koju je J. Cvijić u početku nazivao »skradinskom«³, a kasnije »kistanjskom«⁴. Izbjegavat ćemo jedan i drugi naziv, koji su dani prema lokalitetima, u prvom slučaju i prema nesretno izabranom lokalitetu, jer je Skradin u kanjonu, a ne na zaravni (sl. 1.). Možda bi bolje odgovarao naziv »Prominska zaravan«, jer je kraj, zvan Promina, najizrazitiji dio zaravni, a planina Promina (1148 m)



Sl 1. Zaravan sjeverne Dalmacije (220—230 m).

Prema orohidrografskom otisku topografske karte 1:100.000; Ekvidistanca izohipsa 100 m.

Fig. 1. Surface de la Dalmatie séptentrionale (220—230 m.).

D'après extrait orohydrographique de la carte topographique 1:100.000; équidistance entre isohypses 100 m.

³ J. Cvijić, *Bildung und Dislozierung der dinarischen Rumpffläche*. Petermann's geographische Mitteilungen, sv. 55 Gotha 1909. str. 123.

⁴ J. Cvijić, *Geomorfologija*, knj. I, Beograd 1924, str. 328.

dominira na zaravni. Za naše ciljeve i stanovište najbolje odgovara naziv »Sjeverodalmatinska zaravan«, čime se ističe i njeno veliko prostranstvo.

Oko srednjeg toka Krke, Čikole i Zrmanje širi se prostrana zaravan. Smjerom sjever-jug proteže se od srednjeg toka Zrmanje do podnožja Trtara (544 m), južno od sastava Krke i Čikole, i to u dužini od 38 km, a visine kolebaju između 220 i 320 m. Na ovako velikim udaljenostima visine dakle neznatno variraju i u pejzažu se ističe uravnjenost kao kod naplavne ravnice. Zaravan je najizrazitija na otpornim i čistim gornjokrednim vapnencima, na primjer u trokutu između Krke i Čikole (fot. 1).

Jugozapadno od linije Rupe—Bribirske Mostine—Benkovac—Smilčić smjenjuju se sinklinale paleogenog fliša i antiklinale paleogenih i krednih vapnenaca. Mladom, diferenciranom erozijom usječene su u flišu doline, a zaravan je bolje izražena i očuvana na vapnenačkim antiklinalama. Zaravan postaje prema sjeverozapadu sve niža. Svi morfološki elementi upućuju, da pred sobom imamo jedinstven nivo, koji je najbolje formiran i očuvan u čistim vapnencima. Zrmanja, Krka i Čikola su mladim procesom usijecanja u vapnencima uduble kanjone, a u nepropusnim flišnim naslagama proširenja. Ovom diferenciranom erozijom formirane su zavale Kninskog i Petrovog polja kao i potopljena proširenja, u kojima su Prokljansko jezero i šibenska luka. Tragove zaravni nalazimo, iako nešto u višem nivou, i sjeveroistočno od Kosova polja (360 m), ovamo spadaju i Podi (400 m), sjeverozapadno od Petrova polja.⁵

Za sjeverodalmatinsku je zaravan dalje karakteristično, da je od Primorja odijeljena višim grebenom Trtara (544 m), koji se izoliranim bregovima nastavlja prema sjeverozapadu preko doline Krke (Štandarac, nad Vranskim jezerom, 305 m i drugi). Zaravan, dakle, nije nizvodno otvorena, kao što je slučaj kod riječnih nivoa. Mogli bismo jedino pretpostaviti, da je prvobitni smjer otjecanja bio prema sjeverozapadu, ali time postavljamo još teži problem, t. j. trebalo bi objasniti, kako je došlo do današnjeg smjera tokova, a i širenje zaravni ne dozvoljava gornju pretpostavku.

Sjeverodalmatinska se zaravan ne nastavlja u obliku terasa uz gornje tokove Butišnice i Zrmanje, pa ni u tom pogledu ne odgovara zakonima riječne erozije. Ova zaravan, dakle, svojim pružanjem i odnosom prema višem zemljištu ne odgovara riječnim nivoima.

Zaravan se nepravilno grana prema jugoistoku u brdoviti predjel dalmatinske Zagore, ali ne u obliku dolinskih zaliva, već kao mrežasto raspoređene manje zaravni, koje su međusobno jače ili slabije povezane ili čak sasvim izdvojene i sa malim visinskim razlikama, na pr. Suhi dolac. Ovaj mrežasti reljef koristi vijugava željeznička pruga Drniš—Perković—Labin.

⁵ Nazive »pod, podi, podine, podić« i sl. redovito ćemo susretati. Vrlo su značajni s morfološkog i jezičnog stanovišta. Izrazi nam pokazuju, kako su oblici u reljefu izraženi, tako da se istovjetuju jezično s obrađenim podima i katovima u kući.

Za prostranije zaravni čujemo nazive »dubrava« ili »dubrave« i »ljut«, što označuje njihov biljni pokrov i detaljniji reljef. Na dubravama ima više tla, bile su obrasle hrastovim odnosno dubovim šumama, koje su rano iskorišćivane. Ljuti su sastavljene iz čistih vapnenaca nagriženih škrapama sa malo tla, slabo obrasle rijetkim i kržljivim šumama pretežno graba i jasena, ili je prvobitni biljni pokrov uništen, te su teško prohodne.

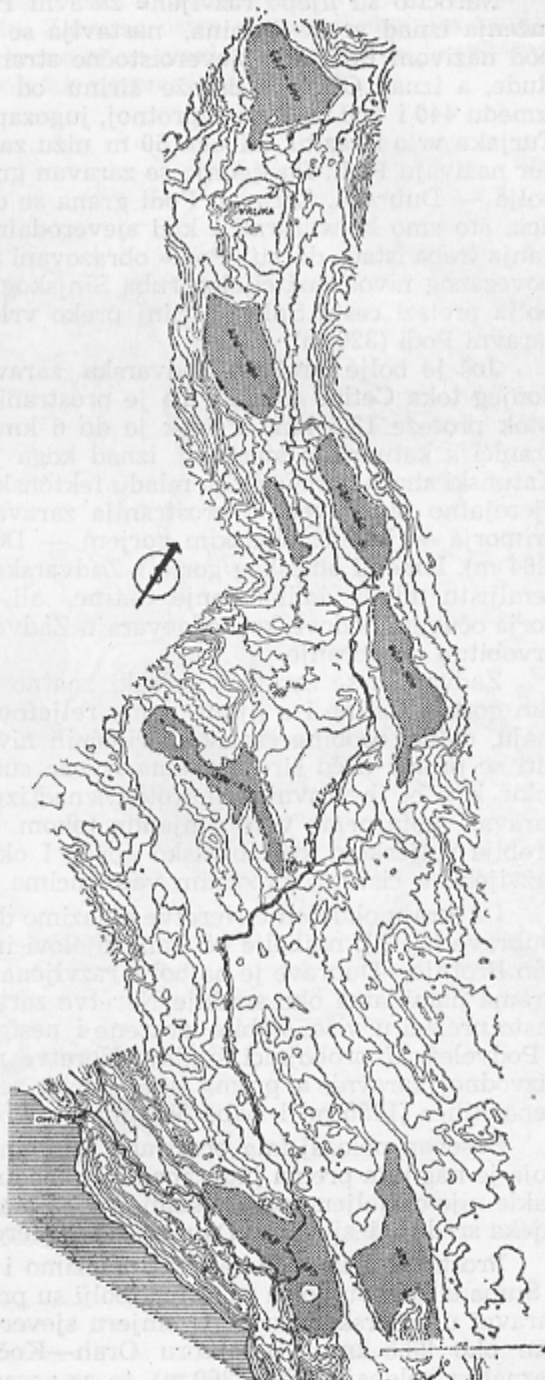
Sličan je odnos zaravni i prema priobalskom gorju, gdje su između uzvišenja izolirane i mrežasto raspoređene zaravni, na primjer Dubrava, istočno od Pirovca.

Analogne prilike, iako u manjim razmjerima, ali u složenijem rasporedu nalazimo duž toka Cetine, koji prati niz slabo povezanih ili izdvojenih zaravni (sl. 2.). Iznad vrela Cetine, sjeverozapadno od Cetinskog polja, oko sela Kijeva širi se zaravan Podi (440—480 m), koja zasijeca poremećene kredne vapnence, a dijelom je prekrivena naplavljenim šljunkovima. Tragovi zaravni očuvani su rubom Cetinskog i Vrličkog polja i spajaju se, nizvodno od Koljana, s prostranom zaravni Dubrava (420—480 m), koja je u elipsastom obliku dinarski izdužena do 9 km, a široka oko 5 km. Duža os zaravni Dubrave zaklapa oštri kut sa smjerom toka Cetine; nagnuta je prema jugoistoku u smjeru otjecanja rijeke, ali je rubni, jugozapadni dio relativno niži.

Nakon suženja kod Maljkova zaravan se ponovno širi, osobito s lijeve strane: Velika Ljut (430—480 m) između Dabra i Bitelića, a tragove istog nivoa vidimo i na suprotnoj, desnoj strani Cetine kod Potravlja.

Sl. 2. Zaravni duž Cetine (označene apsolutne visine u metrima). Prema orohidrografskom otisku topografske karte; ekvidistanca među izohipsama 100 m.

Fig. 2. Surfaces long de la Cetina. Entre parenthèses; altitudes absolues en mètres. D'après extrait orohydrographique de la carte topographique; équidistance entre isohypses 100 m.



Naročito su lijepo razvijene zaravni Podi oko Sinjskog polja. Nakon suženja iznad vrela Rumina, nastavlja se ponovno zaravan Velika Ljut, pod nazivom Podi duž sjeveroistočne strane Sinjskog polja sve do doline Rude, a iznad Obrovca doseže širinu od 4,5 km; visina zaravni koleba između 440 i 500 m. I na suprotnoj, jugozapadnoj strani polja imamo iznad Turjaka vrlo izrazitu, ali oko 50 m nižu zaravan (390—400 m), koju također nazivaju Podi. Posljednja se zaravan grana u sjeverni dio Dicmanskog polja — Dubrava. Zaravan Podi grana se dakle mrežasto u brdovitu okolicu, što smo konstatirali i kod sjeverodalmatinskog nivoa. Za dalja izlaganja treba istaći, da su »Podi« obrazovani u čistim vapnencima i da nema povezanog nivoa duž cijelog ruba Sinjskog polja. Sjeverozapadno od Dugopolja prelazi cesta Split — Sinj preko vrlo izrazite i u reljefu izolirane zaravni Podi (320 m).

Još je bolje izražena Zadvarska zaravan ili Ljut (245—250 m) oko donjeg toka Cetine (fot. 2). To je prostrani nivo, koji se u smjeru zapad-istok proteže 13,5 km, a širok je do 6 km. Prema sjeveroistoku zaravan graniči s katunskim strmcem, iznad koga je zaravan Ciste (oko 470 m). Katunski strmac predstavlja mladu tektonsku liniju, duž koje je dislocirana vjerojatno jedinstvena i prostranija zaravan. I Zadvarska je zaravan od primorja odijeljena obalskim gorjem — Dovanj (787 m) i Omiška Dinara (864 m). Između obalskog gorja i Zadvarske zaravni usječena je u flišnom zemljištu mlađa dolina donje Cetine, ali su na padinama vapnenačkog gorja očuvani podovi, koji odgovaraju Zadvarskoj zaravni i pokazuju njeno prvobitno prostiranje.

Zadvarska se zaravan visinski znatno razlikuje od spomenutih nivoa oko gornje Cetine i s njima nema reljefne veze. Zaravni oko Cetine nemaju, dakle, osobine erozivnih riječnih nivoa; nisu međusobno povezane, niti se prema ušću šire a prema izvoru sužavaju; na njima nema traga toku, koji bi ih uravnio. Naprotiv, iznad izvorišnog dijela Cetine nalazimo zaravan, koja nema veze s njenim tokom, a pred samim se ušćem rijeka probija sutjeskom kroz obalsko gorje. I oko Cetine zaravni su najbolje razvijene u čistim i otpornim vapnencima.

I u kraju oko donje Neretve nalazimo dobro izraženu zaravan Brotnjo-Dubrave (sl. 3); najbolje očuvani dijelovi imaju visine oko 270 m. I zaravan Brotnjo—Dubrave je najbolje razvijena u čistim krednim vapnencima. Prema planinama oko srednje Neretve zaravan naglo prestaje ili stepeničasto prelazi u više, slabije izražene i nesigurne nivoe, na pr. Raška Gora i Podvelež. U probojnici srednje Neretve nema nivoa, koji bi odgovarali nizvodnoj zaravni, a prema ušću rijeka se probija između obalskih grebena Rilića (1155 m) i Žabe (953 m).

Poseban položaj ima prostrana zaravan jugozapadne Istre (0—400 m), koja je nagnuta prema jugozapadu i zapadu do morske obale. Ova zaravan dakle nije odijeljena priobalskim grebenima, kao što je slučaj s onima oko rijeka srednje i sjeverne Dalmacije i u Hercegovini.

Prostrane i izrazite zaravni nalazimo i u zatvorenim predjelima. Lug i Šuma u Popovu polju (sl. 4.) najbolji su primjer takvih reljefno izoliranih zaravni u dinarskom kršu. U smjeru sjeverozapad-jugoistok duga je zaravan oko 23,5 km, a u sektoru Orah—Kočela široka je do 8 km. Visine neznatno kolebaju (250—260 m), te se zaravan ističe rijetkom izrazitošću.

Blago je nagnuta prema sjeverozapadu i postepeno ponire pod naplavno tlo Popova polja, u užem smislu. Zaravan oštro graniči s okolnim zemljištem i nema nikakva traga, po kome bi se moglo zaključiti, da je sadašnja reljefna izoliranost posljedica mladih poremećaja.

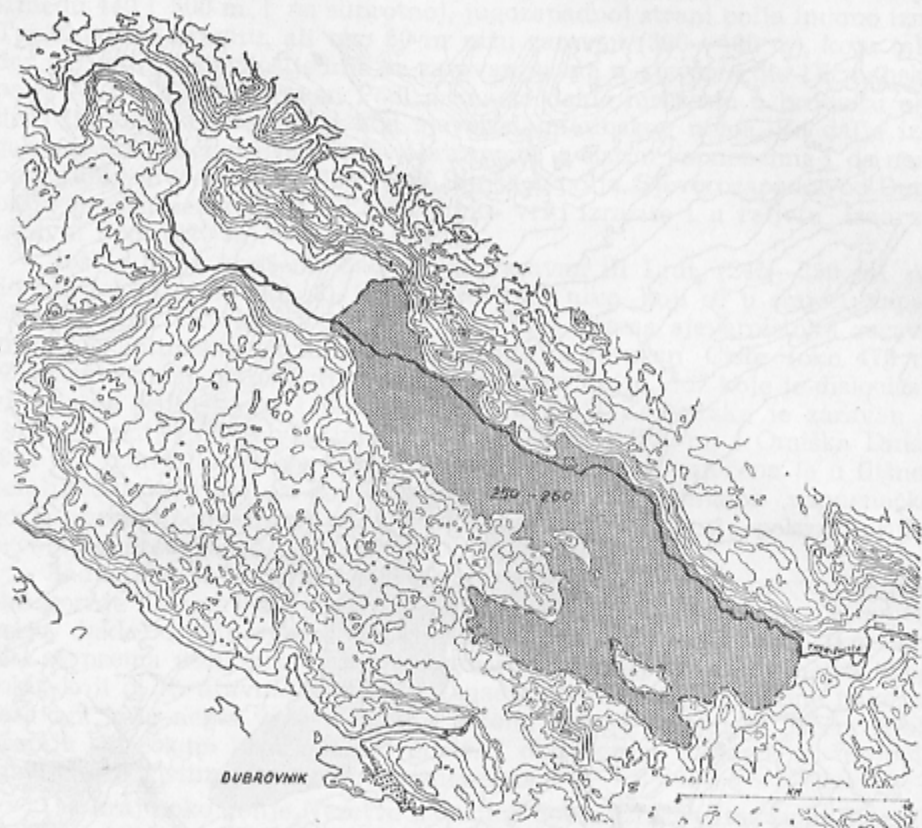


Sl. 3. Zaravan Dubrave-Brotnjo (oko 270 m) pored donje Neretve. Prema oro hidrografskom otisku topografske karte 1 : 100.000; ekvidistanca izohipsa 100 m.

Fig. 3. Plateau Dubrava-Brotnja (environ 270 m.) le long du cours inferieur de la Neretva.

D'après extrait oro hydrographique de la carte topographique 1 : 100.000; équadistance entre isohypses 100 m.

Lijepo primjere zaravni konstatiramo i rubom krških polja. Zapadnim, južnim i jugoistočnim rubom Fatničkog polja širi se izrazita zaravan (540—560 m), koja je nagnuta od sjeverozapada prema jugoistoku. Na jugozapadnoj strani, oko Pađena zaravan je prostranija i od samog polja.



Sl. 4. Zaravan Šuma i Lug (250—260 m) u Popovu polju.
Prema orohidrografskom otisku topografske karte 1 : 100 000; ekvidistanca izohipsa 100 m.

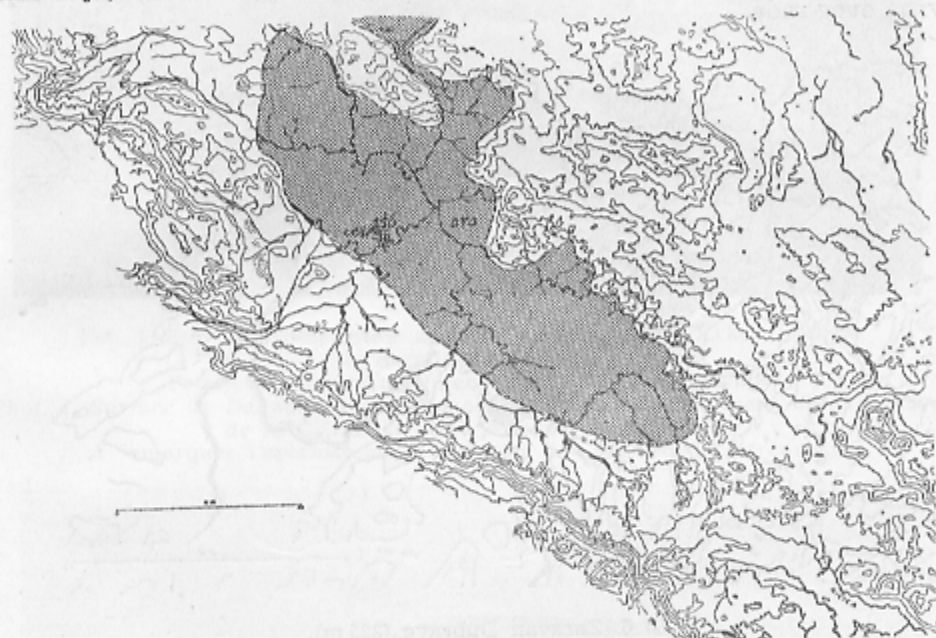
*Fig. Surface Šuma et Lug (250—260 m.) dans le Popovo polje.
D'après extrait orohydrographique de la carte topographique 1 : 100.000;
équidistance entre isohypses 100 m.*

I na zapadnoj strani Gatačkog polja u visokoj Hercegovini imamo izrazitu zaravan Naljutki i Krči (940—950 m). Sjeveroistočni rub Duvanjskog polja prati lijepa zaravan Pod (920 m), zasječena u vapnenačkim padinama Ljubuše; a na rubnu zaravan nalazimo i na sjeveroistočnoj strani Livanjskog polja.

Naveli smo primjere izrazitih zaravni u vapnencima primorske strane Dinarskog gorja: jedne su duž riječnih tokova, druge u otvorenom pri-

morju, treće na dnu zavala, a četvrte rubom krških polja. Isto tako izrazite zaravni i u analognim položajima nalazimo i na kopnenoj strani Dinarskog gorja.

Na drugom je mjestu posebno obrađivana prostrana zaravan na vapnencima oko srednjeg toka Une i Korane, s visinama između 350 i 370 m.⁶ Unsko-koranska zaravan ima morfološke osobine analogne onima oko Krke, Cetine i Neretve. I kod ove je zaravni ustanovljeno, da je utoliko izrazitija, ukoliko su vapnenci čistiji.



Sl. 5. Zaravan Ličkog polja (550—570 m)

Prema orohidrografskom otisku topografske karte 1:100.000; ekvidistanca izohipsa 100 m.

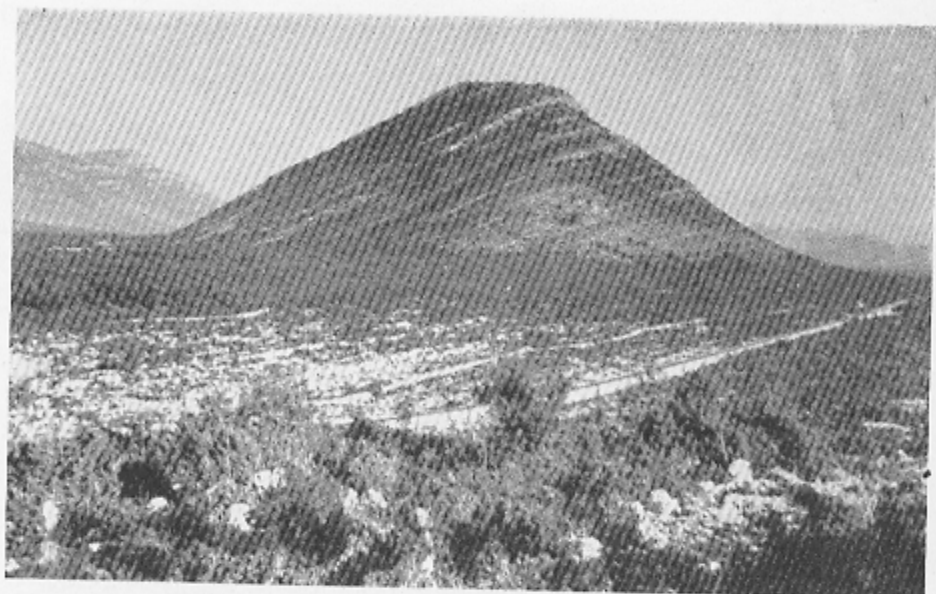
Fig. 5. Plateau de Ličko polje (500—570 m)

D'après extrait orohydrographique de la carte topographique 1:100.000; équidistance entre isohypses 100 m.

Vrlo prostrana zaravan širi se oko kanjonskih dolina donje Korane, Mrežnice, Dobre i srednje Kupe; ima visine između 200 i 250 m. Ova zaravan je otvorena prema karlovačkoj zavali, koja je ogranak panonskog bazena.

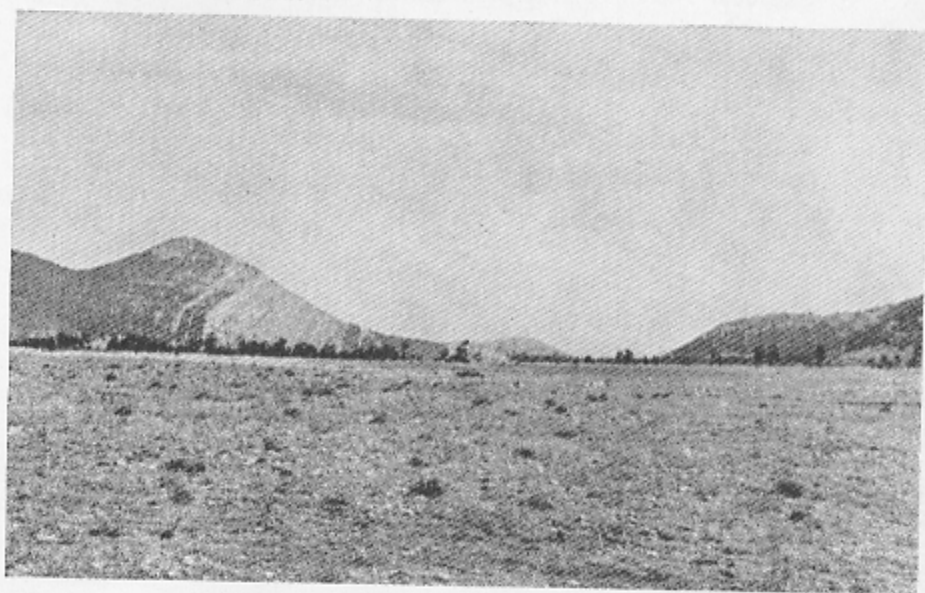
Prostrana zaravan Ličkog polja (550—570 m) sa svih je strana okružena višim zemljištem i prvenstveno razvijena u čistim vapnencima (Sl. 5.). I ova se zaravan mrežasto širi prema vapnenačkom rubu: Perušičko i Gračačko polje i sl. Slične osobine ima izrazita zaravan na dnu nižeg

⁶ J. Roglić, Unsko-koranska zaravan i Plitvička jezera. Geografski glasnik br. XIII, str. 49—68, Zagreb 1951.



Fot. 3. Zaravan Luga sa Humom u Popovom polju.
 Jasno se vidi grada zemljišta i egzogena priroda postanka ove reljefno
 izolirane zaravni.

Phot. 7. Surface de Lug avec la colline de Hum dans le Popovo polje.
 On aperçoit nettement la structure du terrain ainsi que l'origine exogène
 de ce plateau.



Fot. 4. Veliko Rujno (oko 800 m) na primorskoj strani Velebita
 Ističe se izrazitost zaravni.

Phot. 4. Veliko Rujno (l'hauteur environ 800 m) sur la cote' maritime de la
 montagne de Velebit.
 On y remarque le caractere expressif du plateau.

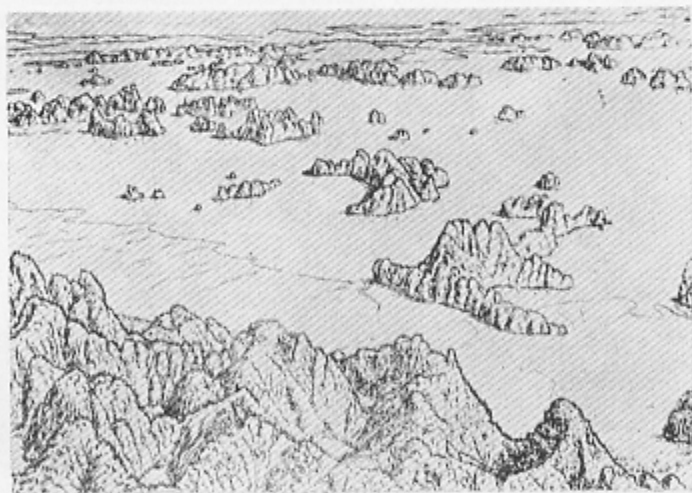


Fot. 5. Kamenica na bloku vapnenca u ponoru kod Pazina.

Strane kamenice su podlokane. Korozivni proces se vrši i u uvjetima današnje klime i u ovom slučaju je relativno brži od erozije, koja je ovdje dosta jaka.

Phot. 5. Kamenitsa dans un bloc de calcaire, dans le gouffre de Pazin.

Le processus de corrosion se fait dans les conditions du climat de nos jours et, dans le cas concret, il est relativement plus rapide que l'érosion fluviale qui y est très intense.

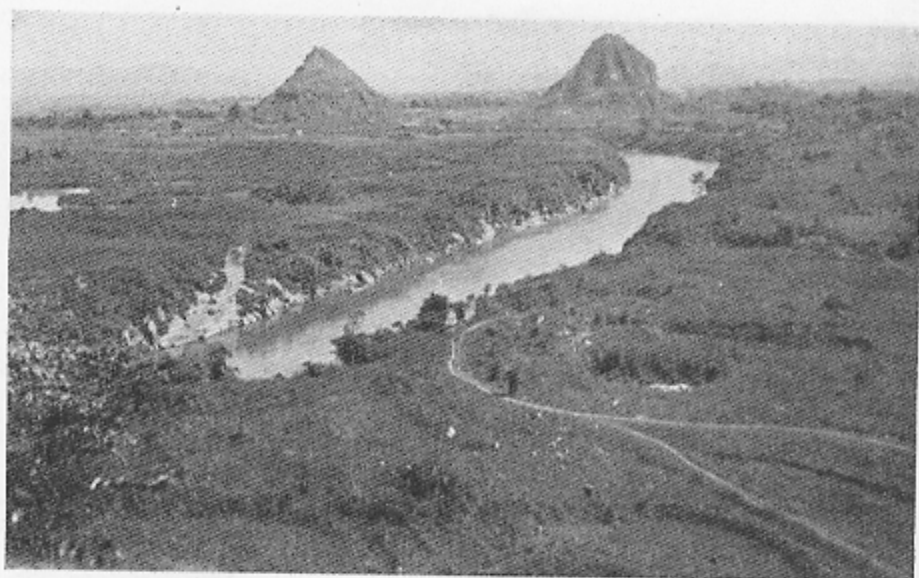


Fot. 6. Korozivno širenje naplavne ravnice u zalivu Faitsilong, istočni dio Baied' Halong (Tonkin).

U pozadini je fluvijalni reljef u staropaleozojskim nepropustnim stijenama. U srednjem dijelu su zaravan i izdvojena uzvišenja u uralopermskom vapnencu. Na prednjem dijelu su izolirane ravni na dnima ponikava i u različitim visinama. (crtež prof. H. von Wssmanna).

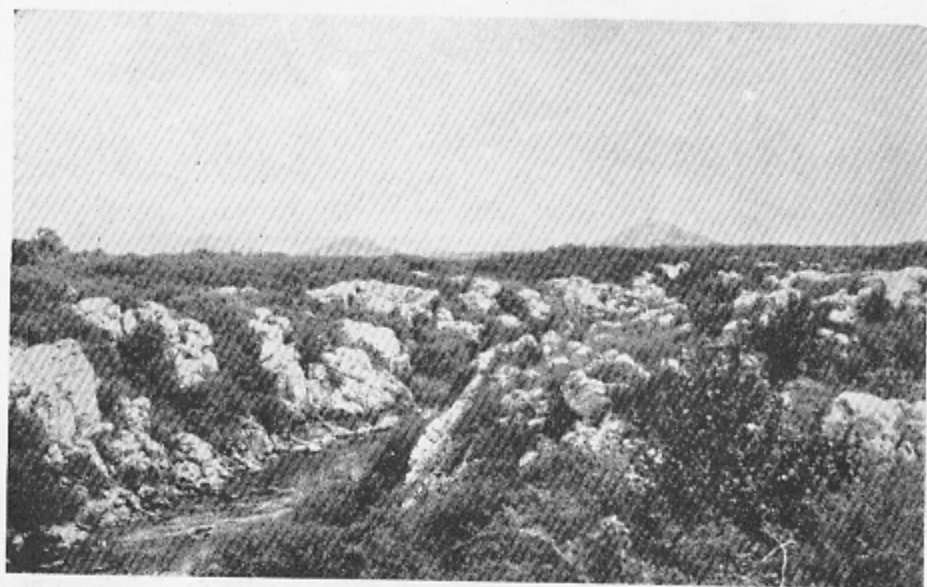
Phot. 6. Extension corrosive de la plaine alluviale du golfe de Faitsilong partie orientale de la Baie d' Halong, dans le Tonkin.

Au fond: relief fluvial dans les roches imperméables du paleozoïque inférieur. Au centre: plateau et éminences détachées dans le calcaire uralopermien. Au premier plan: plateaux isolés au fond des dolines et à des altitudes différentes. (Croquis du prof. H. von Wissmann).



Fot. 7. Zaravan oko rijeke Jikjanga u južnom Kvangsiu. Uporediti sa fot. 8. Ova zaravan je mnogo mlada i dobro pokrivena naplavinama. Kanjon je manje usječen i padine humova su strmije, što odgovara nedavnoj i snažnoj koroziji podnožja (fot. prof. H. von Wissmanna).

Phot. 7. Surface autour du fleuve Jikjang, dans le Kvangsi meridional. A comparer avec la phot. 8. Ce plateau est sensiblement plus jeune et bien recouvert d'alluvions. Le cañon est moins profondément creusé et les pentes de collines sont plus raides, ce qui correspond à la récente et intense corrosion du pied de la montagne (Phot. prof. H. von Wissmann).



Fot. 8. Zaravan Ličkog polja sa humovima kod Bilaja. Pogled sa mosta između Gospića i Osika prema jugoistoku. Phot. 8. Surface de Ličko polje avec hums près de Bilaj. Vue prise du pont entre Gospić et Osik vers le sud-est.

izraziti i vezani za složeniju podlogu. Zadržat ćemo se samo na najizrazitijim zaravnima i usječenim u čistim vapnencima i nastojati, da objasnimo, kako je moglo doći do obrazovanja ovih »apsurdnih« oblika u kršu. Naše bi se objašnjenje moglo proširiti i na spomenute planinske ravnjake, koji su nastajali u ranije geološko doba i znatno izgubili svoje prvobitne osobine.

Objašnjenje postanka — Kako su zaravni u suprotnosti s okomitim razvojem krških oblika, to je uravnavanje vapnenaca uglavnom objašnjavano na isti način kao i na nepropusnim terenima.

A. Penck, majstor njemačke geomorfološke škole, mnogo je utjecao na svoje učenike i sljedbenike. On je najprije smatrao, da su zaravni u dinarskom kršu obrazovane bočnom erozijom rijeka, i to gotovo u razini mora, a od razvodnica su zaostale izdvojene planine ili »mosori«⁷.

Pencka je na ekskurziji Geografskog instituta u Beču kroz Bosnu i Hercegovinu 1899. pratio i čuveni američki morfolog W. M. Davis. Iz Penckova rada⁷ vidimo, da je Davis u izrazitim zaravnima vidio dokaze starog stadija ili »pineplena« riječne erozije, u smislu svoje cikličke teorije i da su oni o tome na terenu diskutirali. Davis je naknadno i objavio svoje gledanje, po kome su zaravni u dinarskom kršu erozivno-denu-dacionog podrijetla, a uzvišenja na njima »monadnoci«, sastavljeni od otpornijih stijena.⁸ Već je Penck ukazao, da ovo shvaćanje Davisa ne odgovara stvarnosti, jer uzvišenja nisu sastavljena od otpornijih stijena. U biti je između njihovih stanovišta razlika samo u stadiju evolucije riječnog reljefa i u prirodi zaostalih uzvišenja — Penckovi su »mosori« zaostali zbog položaja, a Davisovi »monadnoci« zbog otpornosti stijena. Prema Davisovu shvaćanju je, dakle, ciklički razvoj fluvijalnog reljefa dalje odmakao. U kasnijem radu Penck, pod utjecajem Cvijićevih ideja, dozvoljava, da može i razvojem krških oblika nastati pokrov crvenice, koji onemogućuje udubljivanje zatvorenih krških oblika i uvjetuje površinske tokove i širenje zaravni, navodeći kao primjer južnu Istru.⁹

Na početnoj Penckovoj koncepciji razradio je A. Grund teoriju, koja objašnjava ne samo postanak zaravni, već na odgovarajući način tumači i morfološku i hidrografsku evoluciju krša. Prema Grundu postoji u kršu, kao i u drugim stijenama, jedinstvena temeljnica nagnuta prema razini mora. Ova temeljnica ili »krška voda« (Karstwasser, Karstgrundwasser) zaustavlja udubljivanje oblika krša i usijecanje tokova. U vezi s temeljnicom obrazuju se prostrane denudacione zaravni »pinepleni« kao i na nepropusnim terenima¹⁰. Značajno je, da je A. Grund u svom završnom radu preuzeo i razradio početne ideje J. Cvijića (iz g.1900.)

⁷ A. Penck, Geomorphologische Studien aus der Herzegowina. Zeitschrift d. deutschen und österreich. Alpenvereins, sv. 31, Wien 1900. str. 38.

⁸ W. M. Davis, An excursion in Bosnia, Hercegovina and Dalmatia, Bull. of Geograph. Society of Philadelphia, 1901, sv. III, br. 2, str. 47—50.

⁹ A. Penck, Über das Karstphänomen. Vorträge des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse, g. 44, sv. 1, Wien 1904, str. 20.

¹⁰ Prvi rad »Die Karsthydrographie«. Geographische Abhandlungen, sv. VII, br. 3, str. 1—200, Leipzig, 1903. sadrži principijelne postavke na osnovu istraživanja u zapadnoj Bosni. Drugi rad »Beiträge zur Morphologie d. Dinarischen Gebirges« (Geogr. Abhandlungen, sv. X, br. 3, str. 1—230, Leipzig-Berlin, 1910.) predstavlja primjenu ideja iz prvog rada kao i obranu od kritika.

o cikličkom razvoju krških oblika i pretpostavljao, da krški proces konačno sam sebe onemogućuje i tako dolazi do stvaranja »korozivnih pineplena« i do uspostavljanja površinske hidrografije — u ovome se završnom stadiju, po A. Grundu, nalazi krš ekvatorijalnih krajeva.¹¹

Za nas je naročito značajan razvoj gledanja J. Cvijića, koji se najduže bavio dinarskim kršem i najbolje ga poznao, a imao je presudni utjecaj na razvoj krških istraživanja u našoj zemlji. Poznavajući krški reljef u umjerenim klimatskim prilikama i njegovu suprotnost zakonima riječne erozije, Cvijić u početku traži specifična objašnjenja. Najprije pretpostavlja, da se krški oblici ciklički razvijaju, spajaju i konačno dolazi do otvorenih korozivnih zaravni u razini temeljnica, usto dozvoljava i formiranje denudacionih zaravni.¹² Vidjeli smo, da je ovo specifično i konzekventno objašnjavanje razvoja krških oblika imalo utjecaja na ideje Pencka i Grunda.

Razrađujući dalje specifično objašnjenje obrazovanja zaravni u kršu, Cvijić pretpostavlja, da se prestankom pukotina u dubini ili njihovim ispunjavanjem crvenicom u krškom podzemlju formira temeljnica, u čijoj razini cirkuliraju vode i vrše podzemnu eroziju i koroziju. Nastaje podzemna zaravan, iznad koje procjedne vode vrše koroziju vapnenih masa; dolazi do urušavanja i postepenog ogoličavanja zaravni — u kršu bi se, dakle, smjenjivale faze krške vertikalne cirkulacije i površinskog otjecanja. Na osnovu ovog složenog objašnjenja i teško ostvarivog procesa (kako odstraniti velike mase vapnenaca iznad podzemnog nivoa?) počeo se upotrebljavati i dosta neodređen naziv »fluviokrška zaravan«.¹³

U kasnijim radovima Cvijić je napustio početna specifična objašnjenja. Pri preciziranju svojih gledanja o biti i evoluciji krša u god 1918. Cvijić podvlači, da »krška erozija ne može formirati zaravni« i dalje »ove zaravni su najčešće fluvijalne, a formirale su ih prekrške ili alogene rijeke«¹⁴. Cvijić, dakle, prihvaća ideju smjene fluvijalne erozije i krškog procesa (otuda pojam »karstifikacija«) u duhu polaznih ideja A. Pencka i A. Grunda. Ovo gledanje zastupano je i u posljednjim radovima¹⁵, a preuzeli su ga i njegovi učenici;¹⁶ epitet »fluviokrški« najbolje odražava, kako je objašnjenje neprecizirano.

¹¹ A. Grund, Der geographische Zyklus im Karst. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, str. 621—640, Berlin 1914.

¹² J. Cvijić, Karsna polja zapadne Bosne i Hercegovine. Glas Srp. kralj. akademije nauka, LIX, Beograd, 1900, str. 167—175. Njemački prijevod je objavljen 1901 (Morphologische Studien aus Bosnien, der Herzegowina und Montenegro. II. Theil. Karstpoljen — Abhandlungen der Geogr. Gesell., Wien sv. III).

¹³ J. Cvijić, Bildung und Dislozierung der Dinarischen Rumpffläche, str. 125—127. Zanimljivo je, da se na analogno tumačenje nedavno povratio P. Birot (Problèmes de morphologie karstique. Annales de géographie, g. 63, br. 337, Paris, 1954, str. 167—170).

¹⁴ J. Cvijić, Hydrographie souterraine et evolution morphologique du karst, str. 411.

¹⁵ J. Cvijić, Abrasione i fluvijalne površi. Glasnik Geografskog društva, sv. 6, str. 1—61, Beograd 1921. i Geomorfologija I, II, Beograd 1924, 1926.

¹⁶ Ne navodimo sve pisce, koji su zastupali iste ideje i bavili se ovim problemom, već samo one, čiji su radovi modificirali ranija i donosili nova shvaćanja i to one radove, koji su najbitniji. — I pisac ove rasprave je u prvim radovima slijedio ove ideje (Biokovo, Posebna izdanja Geografskog društva, sv. 18, Beograd 1935.; Imotsko polje, Pos. izdanja Geogr. društva, sv. 21, Beograd 1938.).

Pristaše Penck-Grundovih početnih ideja o površinskom otjecanju i povezanoj i stabilnoj temeljnici u kršu mogu teoretski objasniti formiranje odgovarajućih oblika, iako je teško shvatiti jači efekat bočne erozije u razini stagnirajuće vode i u čvrstim stijenama; u tom smislu nisu nikada dani dovoljni dokazi. Mnogo je teže shvatiti, kako bi se na osnovu promjenljivih »hidrografskih zona«¹⁷ mogao formirati izrazit erozivni nivo. Moglo bi se pretpostaviti, da su zaravni formirane za vrijeme prve faze, kada je voda ispunjavala pukotine bliže površini, ali i sam Cvijić naglašava, da se tri zone brzo formiraju, jer se voda kroz pukotine spušta u vapnenačko podzemlje. Periodično kolebanje hidrografskih zona i obrazovanje izrazitih zaravni međusobno se isključuju.

N. K r e b s, uporni pristaša Penck-Grundovih ideja o fluvijalnoj eroziji na vapnencima i jedinstvenoj temeljnici u kršu, dao je nešto modificirano objašnjenje obrazovanja izoliranih zaravni. Uviđajući, da su naročito značajne izolirane zaravni, što je u suprotnosti sa zakonima riječne erozije, K r e b s smatra, da su zaravni nastale u razini temeljnice, i to »erozivno-denudacionim procesima«¹⁸. Ovo je objašnjenje neuvjerljivo, jer se u razini temeljnice ne može vršiti erozija, a denudacijom padina prevladala bi u zatvorenim zavalama akumulacija, kao što je to bio slučaj tokom pleistocenih hladnih razdoblja. Izolirane zaravni srednje Hrvatske nisu u istoj visini, koja bi odgovarala jedinstvenoj razini podzemne vode, kao što je smatra K r e b s.

Pretpostavka o jedinstvenoj temeljnici, a time i o mogućnosti riječne erozije u kršu, dovodi do zaključaka, koji su u suprotnosti s krškim procesom i ne mogu objasniti evoluciju reljefa vapnenačkih terena. Na osnovu tih shvaćanja logično se upotrebljavaju i pojmovi »skaršćivanje« ili »karstifikacija«, iz čega slijedi, da je prije krša vapnenačku površinu oblikovao rad tekućih voda, odnosno riječna erozija. Ovo shvaćanje oduzima vapnencima njihove specifične osobine.

Nije poznat vapnenački kraj, na kome se ne vrši odgovarajući krški proces. A. P e n c k je ukazao, da voda, koja ponire, obrazuje krške oblike i na vapnencima, sa kojih nije ogolićen stratigrafski pokrov¹⁹, a mnogo ranije je upozorio na korozivne oblike u pokrivenim vapnencima²⁰.

Izgleda nam, da je olako prihvaćanje i primjenjivanje shvaćanja, po kome je na vapnencima moguća riječna erozija, usporilo napredak izučavanja krša. Bit procesa i sva saznanja ukazuju i potvrđuju, da se vapnenci kemijski otapaju, pukotine šire, a voda ponire i otječe složenim sistemima pukotina — razvija se krš, karakteriziran oblicima, koji su u skladu s cirkulacijom vode. Dimenzije i dubina poznatih podzemnih šupljina upućuju, da nije moguće odrediti, kad je krški proces počeo. Sve ukazuje, da je na vapnencima počelo obrazovanje krša, dok je do njih doprla voda sposobna

¹⁷ Ovo je shvaćanje prvi iznio Cvijić god. 1900 (Polja zapadne Bosne i Hercegovine), a preuzeli su ga Penck (1904.) i Grund (1910.), jer to znači logičnu razradu ideje o jedinstvenoj temeljnici t. j. njeno periodično kolebanje.

¹⁸ N. K r e b s, Ebenheiten und Inselgebirge in Karst. Zeitschr. d. Gesell. für Erdkunde zu Berlin, br. 3/4, str. 81—94, Berlin 1929.

¹⁹ A. P e n c k, Das unterirdische Karstphänomen. Zbornik radova posvećen J. Cvijiću, str. 172—197, Beograd 1924.

²⁰ A. P e n c k, Über das Karstphänomen... str. 20,

za korodiranje. Krški je proces bitan za vapnence, te izraz »karstifikacija« dovodi u zabunu i trebalo bi ga izbjegavati. Kao što ćemo vidjeti, u iznimnim slučajevima može doći do usporavanja ili prekida okomitog krškog procesa, te bi se moglo govoriti o »dekarstifikaciji« — ovamo spada »pokriveni krš« u smislu Fr. Katzera²¹.

Tokovi u kršu su kao i što je i Cvijić na kraju konstatirao, hidrografska i morfološka stranica. Redovito primaju vodu iz nepropusnih stijena (alogeni) i pri protjecanju kroz vapnence nemaju pritoka i gube vodu kroz pukotine u stjenovitom koritu, a neki su i sasvim presušili. Doline su kanjonske, jer nema spiranja strana, čime bi mogle evoluirati u otvorene profile i konačno u zaravan. Istra je lijep primjer ovako diferenciranog reljefa; u srednjoj flišnoj zoni nastaju tokovi, koji su ovaj kraj jako discirali, a kroz vapnence se probijaju kanjonskim dolinama, na pr. Raša i Mirna, a nekada i Pazinski potok²².

Kao dokaz fluvijalne erozije na vapnencima navode se i suhe doline — slijepe ili otvorene. Ali dolinska priroda ovih udubljenja nije sigurno dokazana. Aktivna dolina u vapnencima ima strme strane, odnosno kanjonski oblik. Strane ostaju strme i kod dolina, čije je dno prekriveno naplavinama, te nema udubljenja, na pr. kanjon Neretve, dio kanjona Zrmanje i dr. Erozijski tokovi je, dakle, stranac u kršu i stvara oblike, koji to svojim izgledom odražavaju. Naprotiv, pretpostavljeni naslijedeni oblici riječne erozije imaju blage padine kao i u nepropusnim terenima. Očito je veoma važno objasniti problem, kako evoluiraju i nastaju blage padine u vapnencima, a to će otvoriti i nove vidike u evoluciji vapnenačkog reljefa.

Dolinski izgled većine pretpostavljenih oblika samo je prividan — to vrijedi i za klasičnu Valu između Popova polja i Slanog. U srednjem dijelu Vale je Dubrava, zatvoreno udubljenje ravnog dna formirano u čistim vapnencima; prema Popovu polju Dubrava je spojena otvorenijim prijevojem, na kome je selo Zavala, a usječen je pretežno u dolomitima. Prema Slanom Dubrava se nastavlja višom, uzanom i vijugavom dolinom. Ništa ne dozvoljava, da se ovaj složeni oblik označi kao suha dolina, a još manje kao otoka Popova polja, u što je na kraju posumnjao i sam Cvijić²³. Složen izgled pokazuje, da je ovaj oblik nastao diferenciranim procesima, uvjetovanim razlikama u sastavu i građi terena.

Pri istraživanju reljefa uopće treba točno uočiti i predstaviti oblike i njihove odnose sa sastavom i građom. U objašnjavanju postanka treba računati s procesima, koji su u skladu s uvjetima sastava, građe i klime. Izgleda nam, da bi takvim postupkom otpale mnoge teorije i naučni rad bi brže napredovao. Zastupnici riječne erozije u evoluciji krša trebali bi objasniti, odakle se tokovi hrane, kako se mogu održavati na vapnencima i kako je moguća denudacija strana — osnovni proces u evoluciji riječnog reljefa. Zaravni se najčešće spominju kao dokaz riječne erozije, a mi ćemo vidjeti, da one baš suprotno dokazuju.

²¹ Fr. Katzer, Karst und Karsthydrographie. Zur Kunde der Balkanhalbinsel, sv. 8, Sarajevo 1909, str. 2.

²² J. Roglić, Cepičko polje. Geografski glasnik, br. 11—12, str. 147—148, Zagreb 1950.

²³ J. Cvijić, Stare otoke Popova polja i hidrografske zone u karstu. Glasnik Srpskog geografskog društva, sv. XXX, br. 1, str. 3—10, Beograd 1950. Vidi naš prikaz u Geografskom glasniku, br. 13, str. 156, Zagreb 1951.

Osobine zaravni su u suprotnosti sa zakonima riječne erozije. Zaravni oko Une, Krke, Cetine i Neretve ne šire se prema ušću i ne nastavljaju se prema izvorištu u obliku terasa, kao što je pravilo kod ovakvih oblika riječne erozije. J. Cvijić²⁴ i A. Grund²⁵ objašnjavali su prvu nenormalnost mladim izvijanjem i izdizanjem obalskog gorja. Vidjeli smo, da zaravni nisu izvijene i da se mrežasto granaju u okolno više zemljište, pa i u samo obalsko gorje, ili su neporemećeno očuvane na padinama obalskih planina, kao Zadvarska zaravan na padini Dovnja — to znači, da su ova uzvišenja postojala u doba uravnavanja. Iste odnose nalazimo i kod zaravni na panonskoj strani²⁶.

Nije moguće na zaravnima utvrditi položaj tokova, koji bi ih formirali, ni razvodnica među njima, što se može lako učiniti kod riječnih pineplena. Veoma su česti slučajevi, da su zaravni u rubnom dijelu niže, što također ne odgovara zakonima fluvijalne erozije. Zaravni se ne granaju duž pretpostavljenih pritoka, već naglo prestaju ili se nepravilno i mrežasto šire. Duž rubova nema lučnih proširenja, koja bi odgovarala meandrima rijeka, što bi trebalo očekivati prema objašnjenju A. Pencka i A. Grunda.

Na zaravnima nema ili ima samo izuzetno i u neznatnim količinama kvarcnog šljunka, koji je karakterističan za ovakve oblike fluvijalnog postanka. Naglasili smo, da su zaravni najbolje razvijene u čistim i otpornim vapnencima, što također ne odgovara zakonima diferencirane riječne erozije. Vidimo dakle, da nijedan element zaravni ne govori u prilog njihova fluvijalnog podrijetla.

Gornje konstatacije vrijede još više za zaravni, koje su zatvorene višim zemljištem i čiji je postanak nemoguće objasniti fluvijalnom erozijom. Kao primjer takve zaravni navodimo Šumu i Lug u Popovu polju, Ličko polje i Gacko polje (u Lici). Izrazitost zaravni, oštra i vijugava granica prema okolnom višem zemljištu, isključuju, da su današnji reljefni odnosi nastali naknadnim tektonskim pokretima, a za to nema ni drugih dokaza. Reljefna zatvorenost isključuje površinsku evakuaciju erodiranog materijala — bitni element fluvijalne erozije. Na drugoj strani, podudarnost osobina izoliranih zaravnih i nivoa oko riječnih tokova, koji su otvoreni prema nižim krajevima, upućuje, da tražimo isti i specifični način objašnjenja njihove geneze.

Na osnovu saznanja na apeninskoj strani mnogi talijanski stručnjaci smatraju, da se razina Jadranskog mora od miocena sukcesivno spuštala. Dosljedno tome misle, da su zaravni na istočnom primorju Jadranskog mora neogene abrazione terase²⁷. I J. Cvijić je mišljenja, da je zaravan iznad Karlovca abraziona terasa panonskog jezera i da odgovara takozvanom »pinosavskom nivou« od 240 m²⁸.

²⁴ J. Cvijić, *Bildung und Dislozierung...* str. 157—158.

²⁵ A. Grund, *Beiträge zur Morphologie des Dinarischen Gebirges...* str. 217.

²⁶ J. Roglić, *Unsko-koranska zaravan...*

²⁷ Najviše je to popularizirao C. de Stefani, *I due versanti dell'Adriatico. Atti del VIII Congresso geografico italiano*, sv. 2, Firenze 1930. Stefani je pisao u istom smislu i u drugim radovima. Ovo je shvaćanje zastupano i u nekim talijanskim udžbenicima (G. Rovereto, *Trattato di geologia morfologica*, sv. 2, str. 865, Milano 1923.).

²⁸ J. Cvijić, *Geomorfologija*, sv. str. 572.

Tumačenje C. de Stefanija i drugih talijanskih stručnjaka, koji se za njime povode, nije geološki osnovano ni morfološki opravdano. Na našoj obali nisu utvrđeni marinski neogeni sedimenti, iz kojih bi se moglo zaključiti više stanje morske razine. Ovo pretpostavljeno i ničim dokazano podudaranje geološke prošlosti naspramnih jadranskih primorja u suprotnosti je s rezultatima, do kojih su došli istraživači istočne, dinarske strane²⁹.

Zaravni, osim one u jugozapadnoj Istri, odijeljene su od mora obal-skim gorjem ili su sasvim izolirane, što je u suprotnosti sa zakonima abrazi-je i položajem abrazionih nivoa. Zaravni nisu ni stepeničasto poredane, kao što bismo očekivali prema idejama C. de Stefanija i talijanskih stručnjaka, koji ga slijede.

Isti prigovori vrijede i za Cvijićevo mišljenje o abrazionom postanku zaravni iznad Karlovca. Kad bi se sve ostale poteškoće pustile iz vida, nemoguće je objasniti, kako je abraziona snaga u zalivu karlovačke zavale bila tako moćna, da u čvrstim vapnencima obrazuje zaravan, kojoj ne nalazi-mo odgovarajućeg nivoa u mekšim stijenama izloženih obala.

J. Cvijić³⁰, a u početku i A. Grund³¹, smatrali su abrazionima i zaravni na rubovima krških polja. B. Ž. Milojević na isti način obja-šnjava obrazovanje »poda« oko gornje Cetine³². Geološka snimanja i istra-živanja pokazala su, da su jezerski sedimenti u današnjim poljima jako poremećeni i da dopiru do visina većih od rubnih podova. Naprotiv, rubni su podovi neznatno izvijeni ili uopće neporemećeni, te njihova ravan zasi-jeća poremećene jezerske naslage.³³ Očito je, dakle, da su rubne zaravni mlade od jezerskih naslaga i njihova poremećaja, te ne mogu biti abra-zione³⁴.

Abraziona priroda zaravni ne dolazi u obzir ni sa čisto morfološkog stanovišta. Dimenzije zaravni su u mnogim slučajevima u nerazmjeru sa zavalama polja odnosno jezera, čiji bi ih valovi uravnili, na pr. unsko-koranska zaravan je prostranija od zavale Bihačkog polja. Zaravni nisu razvijene duž cijelog ruba zavale ili pretpostavljenih jezerskih bazena na pr. oko Livanjskog, Duvanjskog, Gatačkog i Sinjskog polja, a to bi tre-balo očekivati u slučaju da su abrazionog postanka. Nisu ni najbolje razvi-

²⁹ A. Grund, Die Entstehung und Geschichte des Adriatischen Meeres, Geo-graphischer Jahresbericht aus Österreich, g. VI, str. 1—14, Wien 1907. U ovom je radu ukazano na nemogućnost primjene talijanskih gledanja pri objašnjenju reljefa istočnog primorja.

³⁰ J. Cvijić, Karsna polja zapadne Bosne i Hercegovine, str. 177. i Geomofolo-gija II, str. 521—522.

³¹ A. Grund, Karsthydrographie... str. 118—161 i dr.

³² B. Ž. Milojević, Geomorfološka ispitivanja u dolini Cetine. Zbornik radova posvećen Jovanu Cvijiću, str. 605—623, Beograd 1924.

³³ Pod utjecajem oštrih kritika Fr. Katzera (na pr. u Karst und Karsthy-drographie, str. 35) i sigurnih geoloških dokaza i A. Grund je u svom drugom i glavnom radu (Beiträge zur Morphologie des Dinarischen Gebirges, str. 203) uvidio neosnovanost svog prvog stanovišta.

³⁴ Autor je to raspravljao na primjerima Kupreškog polja (Morphologie der Poljen von Kupres und Vukovsko, Zeitschrift der Ges. für Erdkunde zu Berlin, 1938, br. 7—8 str. 299—316), Duvanjskog polja (Geomorphologische Studie über das Du-vanjsko polje in Bosnien. Mitt. der Geogr. Gesell., sv. 83, br. 5—8, str. 1—26, Wien 1940) i Unsko-koranske zaravni (op. cit.).

jene na rubovima, koji su izloženi dominantnim vjetrovima, kao što je to pretpostavljao A. Grund³⁵. Rubne zaravni ili podovi na jednom su kraju dobro i široko razvijene, i to u otpornim i čistim vapnencima, a na drugom ih uopće nema, na pr. oko Sinjskog, Livanjskog i Duvanjskog polja, a mrežasto se šire u okolno više zemljište, što smo vidjeli između Sinjskog i Dicmanskog polja. Zaravni rubom polja bolje su izražene u čistim i otpornim vapnencima, dok je rad abrazije diferenciran i dolazi do izražaja prema otpornosti stijena.

I položaj izoliranih uzvišenja »humova« govori protiv abrazionog postanka zaravni. Uzvišenja su zaostala bliže pretpostavljenim obalama, na pr. rubom bihačke zavale, t. j. na mjestima, koja su bila jače izložena abraziji i gdje se ne bi mogli očekivati ostaci ranijeg reljefa. Humovi nisu sastavljeni od čvršćih stijena, da bi time mogli objasniti njihovo postojanje. Zaravni nisu nagnute od okolnih uzvišenja prema rubu zavale, što bi bio slučaj kod abrazionih nivoa. Naprotiv, česta je pojava, da su zaravni u rubnim dijelovima, podnožjem okolnih uzvišenja, niže, na pr. unsko-koranska zaravan u podnožju Plješevice, između Baljevca i Ličkog Petrova sela.

I hidrografski je nemoguće nekadašnja jezera dovesti u vezu sa današnjim zavalama polja, jer bi to značilo, da su vapnenačke strane zadržavale vodu i ponašale se kao nepropusne stijene.

Iz izloženog slijedi, da radom abrazije nisu mogle nastati ni zaravni na primorskom ni panonskom rubu dinarskog krškog kraja kao ni one oko polja. Sve ove zaravni imaju iste morfološke osobine, kao i vapnenački nivoi, kroz koje protječu izolirani tokovi, te za sve treba tražiti analogno i specifično objašnjenje.

Za razumijevanje krškog procesa, a posebno za objašnjenje postanka zaravni u vapnencima imaju veliko značenje rezultati rada mađarskog geologa K. Terzaghija³⁶. Nažalost ovaj rad u većini kasnijih rasprava nije dovoljno primijećen niti su njegove ideje korištene.

Terzaghi je uočio i istakao veliko značenje organogenih procesa u sloju humusa i njihov utjecaj na otapanje vapnenačke podloge, osobito u šumovitim krajevima. »Ova zajednica života i raspadanja predstavlja kemijski horizont, u kome se konstantno obnavljaju vrlo aktivni elementi. Procesima raspadanja postepeno se povećava ugljična kiselina, stvaraju se lako ispirani ugljeni hidrati i nastaju humusne tvari i humusne kiseline. Pri srednjoj vlazi i umjerenoj temperaturi raspadaju se humusni sastojci, pod utjecajem gljiva truljenja, u ugljičnu kiselinu, vodu i amonijak«³⁷. Iz ovoga se vidi, kakav se složen i snažan kemijski proces vrši pod utjecajem humusnog sloja.

Terzaghi dalje računa, da se vapnenačko zemljište u pošumljenom kraju zapadne Hrvatske otapa ispod humusnog sloja za 0,25 mm godišnje

³⁵ A. Grund, Karsthydrographie... str. 161.

³⁶ K. Terzaghi, Beiträge zur Hydrographie und Morphologie des kroatischen Karstes, Mitt. aus dem Jahr. der Geol. Reichsanstalt, sv. XX, br. 6, str. 225—336, Budapest, 1913.

³⁷ K. Terzaghi, Op. cit. str. 341.

ili za 1 000 godina 25 cm.³⁸ Ovim intenzivnim korozivnim procesom objašnjava Terzaghi postojanje brojnih ponikava i uvala u šumovitim krajevima. Bez obzira na numeričke vrijednosti Terzaghijevih podataka, velika je šteta, što se njegovim idejama dugo vremena nije posvetila dovoljna pažnja.

Terzaghijeva shvaćanja o značenju biokemijskih procesa u humusnom sloju potvrđuju rezultati novijih istraživača. H. Oertli konstatira, da se voda bogati ugljičnim dioksidom »osobito poniranjem kroz sloj humusa (ugljični dioksid nastaje disanjem korijenja i bakterijskim raspadanjem) ili miješanjem vode s organskim tvarima (ove se raspadaju, pri čemu se disanjem mikroorganizama stvara ugljični dioksid)»³⁹. Slične biokemijske procese konstatira i P. Birot, osobito u humusu vlažnih i toplih klima: »Raspadajući se, bujna vegetacija daje ugljični dioksid u stanju nastajanja (l'acide carbonique naissant), koji otapa sto puta jače od ugljičnog dioksida u padalinama. On može da brzo otopi mnogo vapnenaca na površini i na strmim padinama. Ako tome dodamo fiziološko-kemijski rad živog korijenja (ispuštanje pozitivnih iona), možemo shvatiti intenzitet površinskog otapanja, koje je najsnažnije, kad su humus i korijenje u neposrednom dodiru s vapnencem, t. j. na nagnutim plohama...»⁴⁰ I u dinarskom kršu možemo konstatirati intenzivnu koroziju vapnenca pod humusnim pokrovom. Oblici korozije naročito su lijepo izraženi na nedavno ogoličenom kršu.

Da je biokemijski proces snažan i relativno brz, dokazuju kamenice — korozivna udubljenja u kompaktnim i čistim vapnencima. Najtipičnije su »plitvine«, kamenice plitke i ravna dna i nadsvodenih strana. Na dnu kamenica trune lišće, a na vlažnim se stranama uhvate lišaji i mahovine. Procesi života i raspadanja otapaju vapnenac i kamenica se bočno širi. Kamenice nalazimo i na padinama vapnenačkih blokova, što dokazuje, da se koncentrirani biokemijski korozivni proces vrši mnogo brže od površinskog otapanja pod utjecajem padalina.

Koncentrirani korozivni proces može se vršiti brže i od erozije tokova. Na urušenom bloku u ponoru kod Pazina udubena je kamenica sa jako nadsvodenim stranama i ravnim dnom (sl. 5.). Iako Pazinski potok pri visokom vodostaju politira vapnenački blok, korozivni je proces, za vrijeme niskog vodostaja, udubio kamenicu promjera 70/40 cm i 15 cm duboku. Srpnja 1954. bila je voda u kamenici zelena od mikrovegetacije, koja pogoduje koroziji⁴¹. I bogatstvo vapnenom otopinom voda Plitvičkih jezera objašnjavali smo utjecajem humusnog pokriva⁴².

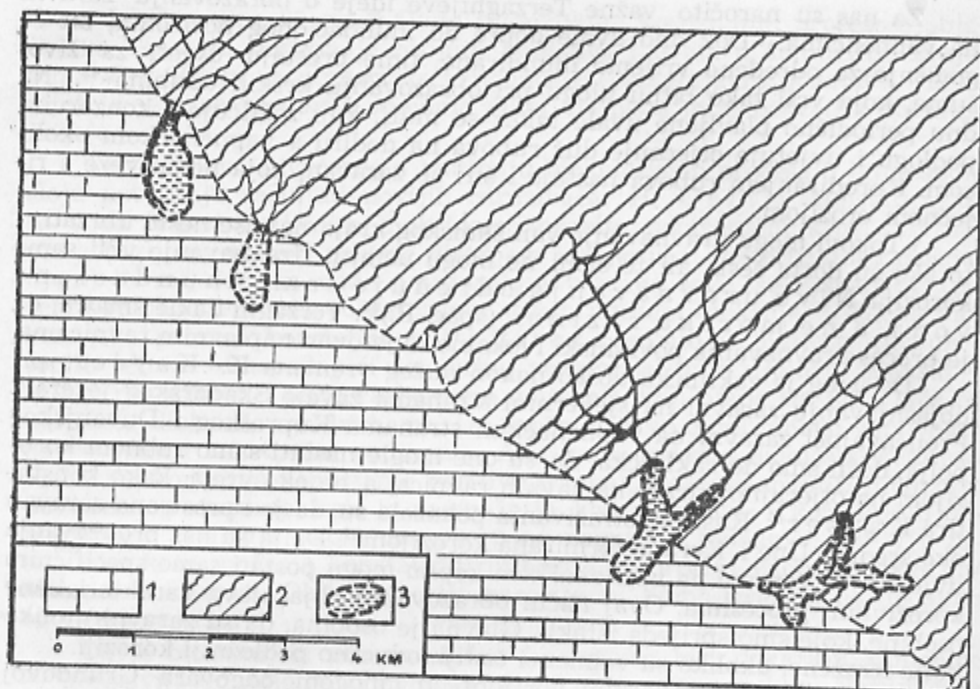
³⁸ K. Terzaghi, Op. cit. str. 344.

³⁹ H. Oertli, Karbonathärte von Karstgewässern. »Stalaktite« Zeitschrift der Schweizerischen Gesellschaft für Höhlenforschung, br. 4, str. 1—10, (otisak), 1954.

⁴⁰ P. Birot, Esquisse d'une étude zonale de l'érosion en pays calcaire. Das Karstphänomen in verschiedenen Klimazonen. Erdkunde sv. VIII, br. 2, Bonn 1954. str. 121.

⁴¹ Ovi su pojavi raspravljani u raspravi »Neki osnovni problemi krša«, koja je predana u tisak na našem Kongresu geografa Jugoslavije IV i na francuskom jeziku (L'information géographique, Paris). U međuvremenu su obje publikacije objavljene: »Izveštaj o radu IV kongresa geografa Jugoslavije, str. 47—61 i »Information géographique« br. 1, Paris 1957.

⁴² J. Roglić, Unsko-koranska zaravan... str. 65.



Sl. 7. Korozivna proširenja oko ponora tokova, koji pritiču sa fliša Brkina prema vapnencima Čićarije (sj. Istra).

Vidljivi su početni oblici korozivnih zaravni — 1. vapnenci, 2. fliš, 3. mlade naplavne ravnice.

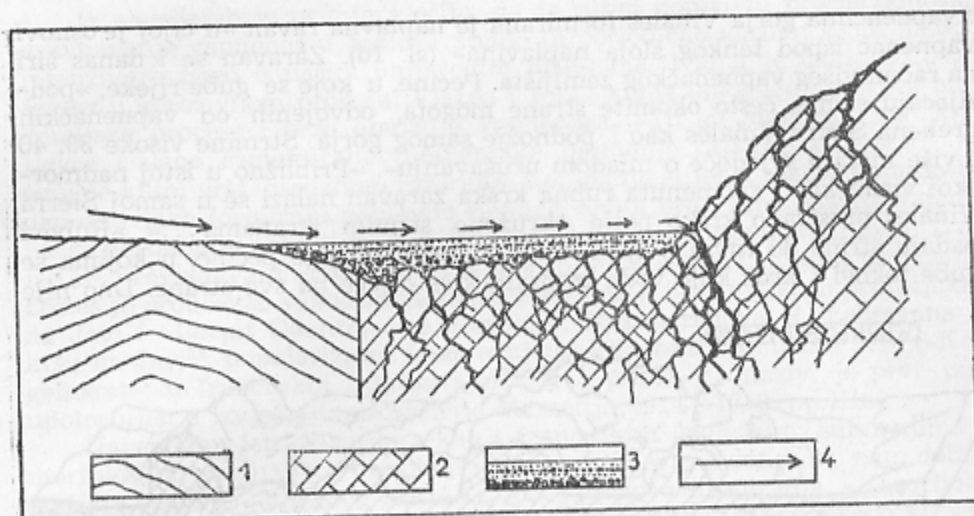
Fig. 7. Elargissements dus à la corrosion autour des gouffres des cours d'eau qui affluent du flysch de Brkini vers les calcaires de la Čićarija (Istrie septentrionale).

On voit les formes initiales des surfaces corrosives.

1. calcaires, 2. flysch, 3. jeunes plaines alluviales.

tuju rubnu koroziju. Iste oblike i procese nalazimo na sjevernoj strani vapnenačkog ravnjaka Bujštine u sjeverozapadnoj Istri. Suprotno Terzaghiju, vidimo da »inundacioni« odnosno korozivni nivo nije uvjetovan pritjecanjem podzemnih, već površinskih voda s nepropusnog zemljišta (sl. 8). Prema našim iskustvima takvi su kontakti odnosi općenito uvjetovali stvaranje zaravni, odnosno polja u kršu. To je očito kod zaravni Ličkog polja, gdje su tokovi pritjecali iz paleozojskog — verfenskog podvelebitskog pojasa, taložili naplavnu ravan i uvjetovali rubnu koroziju, kojom je nastala prostrana zaravan (sl. 9). Istu prirodu postanka dokazali smo za unsko-koransku zaravan.

Opravdanost gornjeg objašnjenja postanka korozivnih zaravni i analogne petrografske-hidrografske odnose nalazimo, prema rezultatima istraživanja H. Lehmana, na sjeverozapadnoj Kubi. Tokovi pritječu s nepropusnih naslaga (škriljevci i pješčenjaci i Pizarras-serije) i na kontaktu

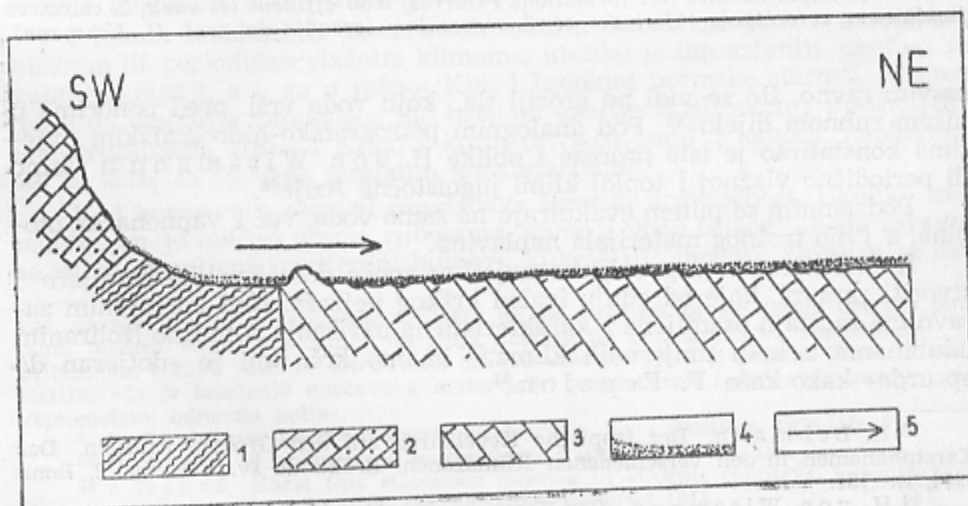


Sl. 8. Proces formiranja korozivnih zaravni.

1. Nepropusno zemljište, sa koga pritiču vode i potječe naplavni materijal,
2. vapnenci, 3. naplavna ravnica i 4. smjer otjecanja.

Fig. 8. Processus de la formation des surfaces corrosives.

1. terrain imperméable d'où affluent les eaux et apportent les alluvions,
2. calcaires, 3. plaine alluviale, 4. direction de l'écoulement.



Sl. 9. Šematski profil kroz zaravan Ličkog polja.

1. Nepropusne paleozojske i donjotrijaske naslage, 2. trijaski dolomiti i vapnenci,
3. kredni vapnenci, 4. naplavni materijal i 5. smjer oticanja.

Fig. 9. Coupe schématique de plateau de Ličko polje.

1. Couches imperméables paleozoïques et du trias inférieure, 2. dolomies triasiques et calcaires, 3. calcaires crétaçés, 4. matériaux alluviaux et 5. direction de l'écoulement.

s vapnencima gorja Viñales formirana je naplavna ravan »u čijoj je osnovi vapnenac ispod tankog sloja naplavina« (sl. 10). Zaravan se i danas širi na račun višeg vapnenačkog zemljišta. Pećine, u koje se gube rijeke, »pod-sijecaju strme, često okomite strane mogota, odvojenih od vapnenačkih grebena Sierra Viñales kao i podnožje samog gorja. Strmine visoke 30, 40 i više metara svjedoče o mladom urušavanju«. »Približno u istoj nadmorskoj visini kao i spomenuta rubna krška zaravan nalazi se u samoj Sierra Viñales prostrano krško polje okruženo strmim stranama...« »Rubovi padaju strmo do ravni polja i u toj su razini mnoge pećine, u kojima se gube tokovi i kroz koje voda tropskih kiša otječe na sve strane. Dno nije



Sl. 10. Formiranje korozivnih zaravni uvapnencima gorja S. Viñales (zapadna Kuba). 1. Npropustne naslage (Pizarras formacija), sa kojih pritiču vode, 2. jurski i donjokredni vapnenci i 3. serpentin (crtež prof. H. Lehmann).

Fig. 10. Formation des plateaux corrosifs dans les calcaires des montagnes S. Viñales (dans la partie occidentale de l'île de Cuba).

1. Couches imperméables (les formations Pizarras) d'où affluent les eaux, 2. calcaires jurassiques et crétacés inférieurs et 3. serpentine (croquis du prof. H. Lehmann).

sasvim ravno, što se vidi po eroziji tla, koju voda vrši pred ponorima u nižem rubnom dijelu.⁴⁸ Pod analognim petrografsko-hidrografskim uvjetima konstatirao je iste procese i oblike H. von Wissmann u stalno ili periodično vlažnoj i toploj klimi jugoistočne Azije⁴⁹.

Podzemnim se putem evakuiraju ne samo vode, već i vapnenačka otopina, a i dio trošnog materijala naplavina.

Rubna korozija u povoljnim uvjetima može doseći velike razmjere i stvoriti zaravni, koje određuju izgled krškog pejzaža. Nad korozivnim zaravnima zaostaju osamljena i karakteristična uzvišenja suprotno izoliranim udubinama u kršu umjerenih klima;⁵⁰ imamo krš, koji je »dotjeran do apsurdna« kako kaže P. Fenelon.⁵¹

⁴⁸ H. Lehmann, Der tropische Kegelkarst auf den Grossen Antillen. Das Karstphänomen in den verschiedenen Klimazonen. Erdkunde sv. VIII, br. 2, Bonn 1954, str. 131.

⁴⁹ H. von Wissmann, Der Karst der humiden heissen und sommerheissen Gebiete Ostasiens. Karstphänomen in den verschiedenen Klimazonen. Erdkunde sv. VIII, br. 2, Bonn 1954, str. 127 (osobito je značajan profil kroz Kveiling u Kvangsiju).

⁵⁰ Kad je ovaj rad bio u završnoj redakciji, primili smo od H. Lehmann (Frankfurt/Main) pismo i revizijski otisak članka H. Louisa: Die Entstehung der Poljen und ihre Stellung in der Karstabtragung auf Grund der Beobachtungen in Taurus. Erdkunde, sv. X, str. 33—53. U pismu prof. Lehmann kaže: »Zanimat će

Iz navedenih je primjera očito, da je rubni korozivni proces odnosno uravnavanje vapnenca u toploj i stalno ili periodično vlažnoj klimi mnogo intenzivniji nego u našim umjerenim prilikama. Klima je dakle odlučan faktor u korozivnom procesu. Vlažna i topla klima omogućuje snažne biokemijske procese i brzo otapanje vapnenaca. »Tu su vapnenci, uz škripljevce i slabo cementirane pješčenjake najmanje otporne stijene.«⁵² U ovoj se klimi vrši intenzivno razaranje i otapanje stijena, tokovi nose dosta nanosa i lako formiraju naplavne ravnice. Ovim procesima nastaje vapnenački pejzaž posebnog tipa, koji je u našoj literaturi popularizirao J. Daneš⁵³. Prevladavaju otvorene zaravni, s kojih se izdižu izolirana uzvišenja. Daneš je proučavao vapnenačke pejzaže »Gunung Sevu« (tisuću brežuljaka) na Javi i »Cocpit Country« na Jamaici⁵⁴. Nakon radova H. Lehmana o kršu na Javi⁵⁵, populariziran je za ovaj tip krša naziv »kupasti krš« (»Kegelkarst«; u francuskoj literaturi »Karst à pitons«); naziv je prvi put upotrebljen u izvještaju ekspedicije Mazzetija 1914—1918. po Kini.

Navedenim istraživanjima kao i francuskim geološkim snimanjima i morfološkim studijama u Indokini i drugim radovima danas su nam dobro poznate osobine »kupastog krša« i proces njegova formiranja. »Korozijom strmih vapnenačkih rubova šire se zaravni na štetu susjednog vapnenca. Isto tako, ako duboka ponikva dospije do razine korozivnog uravnavanja, počinje njeno širenje i ona se pretvara u uvalu (ili polje) s ravnim dnom i strmim stranama. Vapnenački se grebeni postepeno dijele i dno uvale spaja se s rubnom zaravni ili drugom uvalom. Tako se izvana i iz izoliranih krških zavala šire ravne plohe u nemirni krški kraj i srašćuju u jedinstvenu zaravan.«⁵⁶ (fot. 6). H. von Wissmann ističe, da zaravni u ponikvama mogu biti i u različitoj visini.

I prema rezultatima spomenutih autora korozivni proces u toplim i vlažnim ili periodično vlažnim klimama, utoliko je intenzivniji, ukoliko su vapnenci čistiji, a ti su u južnoj Kini i Indokini permske starosti. Vidimo dalje da otapanje vapnenaca ide brže od erozije škripljevaca i pješčenjaka (sjeverozapadna Kuba i Kina) s kojih priteču vode i nanose naplavine, što se slaže sa sprijeda iznijetim konstatacijama.

Kod korozivnih zaravni prevladava izrazita uravnavanost. Ukoliko ima nagiba, on je obično prema rubovima, kamo i voda otječe⁵⁷, a na zaravni se ističu osamljena uzvišenja: humovi, kukovi ili mogoti. Zaravan se širi

vas. da sam tokom istraživanja u Sierra de los Organos prošle jeseni utvrdio potpunu točnost vašeg shvaćanja, da polja nastaju na petrografskim kontaktima«. U priloženom članku prof. H. Louis na osnovu više primjera iz planine Taurusa konstatira, »da je taloženje naplavnog materijala pravi uzrok formiranja zaravni na vapnencima, odnosno polja«.

⁵¹ P. Fenelon. Le relief karstique, Norrois, br. 1, Poitiers, 1954, str. 75.

⁵² P. Birot, Problemes de morphologie karstique ... str. 183.

⁵³ J. Daneš, Karst tipa »Goenog Sewoe« ili »Cocpit country«. Glasnik Srpskog geografskog društva, sv. 2, str. 310—314. Beograd 1913.

⁵⁴ »Cocpit« je naziv za ponikvu, dok je u našem članku »Unsko-koranska zaravan i Plitvička jezera« pogrešno navedeno, da je to naziv za brijeg.

⁵⁵ H. Lehmann, Morphologische Studien auf Java. Geographische Abhandlungen. Stuttgart 1936.

⁵⁶ H. von Wissmann, Op. cit. str. 125.

⁵⁷ I Krebs je upozorio, da su zaravni obično u rubnom dijelu niže (op. cit. str. 90).

prema rubovima. Smjer otjecanja i relativno mladi postanak objašnjavaju, zašto su rubni dijelovi zaravni često niži. Koncentraciju korozivnog procesa na određene linije i strminu padina naglašavao je već i Cvijić⁵⁸.

Upozorili smo, da su humovi na unsko-koranskoj zaravni neposredno uz rub bihačke zavale, a ne bliže podnožju Plješivice, od koje bi trebali biti odvojeni.⁵⁹ Analogan položaj nalazimo i u Ličkom polju. Glavni niz humova i u ovom slučaju nalazimo na prijelazu između podvelebitske nepropusne zone i vapnenačke zaravni. Humovi su redovito istog sastava kao i okolica; zaostali su, jer su bili manje izloženi korozivnom podsijecanju i razaranju. Izolirana uzvišenja zaostala su u višim i starijim dijelovima zaravni, gdje je bilo manje vlage, a biokemijski procesi otapanja nisu bili intenzivni.

Položaj humova i nižih rubnih dijelova zaravni olakšavaju rekonstrukciju hidrografskih i reljefnih odnosa u doba korozivnog uravnavanja. Mladim diferenciranim procesima došlo je do inverznih odnosa: erodirane su i evakuirane nepropusne stijene, dok su korozivne zaravni zaostale u većoj visini.

Procese rubne korozije nalazimo i danas u dinarskom kršu, ali u manjim razmjerima (oko ponora na granici fliša i vapnenaca u sjevernoj i sjeverozapadnoj Istri, u kamenicama i sl.). Naprotiv, korozivne zaravni, naslijeđene iz geološke prošlosti, veoma su važan oblik u reljefu dinarskog krša. Ovim naslijeđenim oblicima neki krajevi dinarskog krša podsjećaju na »kupasti krš« toplih i vlažnih klima. Ova će nam podudarnost olakšati da odredimo doba postanka zaravni.

Doba korozivnog uravnavanja u dinarskom kršu — Prva određivanja starosti uravnavanja kretala su se u okviru općih podataka iz geološke historije gorja alpskog nabiranja kao i prvih podataka o geologiji našega kraja. Neka od tih prvih gledanja uporno se provlače kroz literaturu, bez obzira na novija naučna dostignuća. Prije izlaganja vlastitog gledanja, dat ćemo pregled dosadašnjih shvaćanja.

A. Penck smatra, da je fluvijalni ciklus počeo nakon donjotercijarnog alpskog nabiranja i trajao do postanka jezera, t. j. do početka miocena⁶⁰. Ovo znači veliko ujednostavnjivanje duge geološke prošlosti. Nemoгуće je i pretpostaviti, da bi zaravni ostale ovako idealno očuvane čak od početka miocena, jer su u dinarskom gorju utvrđena mlada i snažna tektonska gibanja. Ovo je uvidio i Penckov učenik A. Grund, koji smatra, da je prva faza uravnavanja počela nakon glavnih donjotercijarnih tektonskih pokreta i trajala kroz cijeli miocen. Grund je znao, da su pontijske jezerske naslage jako poremećene, i on te pokrete uzima kao smjenu starijeg miocena i mlađeg pliocena (Grund pribraja pontijski kat miocenu) erozivnog ciklusa.⁶¹

J. Cvijić uzima isti početak faze tektonskog mirovanja i erozije, te najprije smatra, da je trajala »od donjomiocena nabiranja do gornjeg pli-

⁵⁸ J. Cvijić, *Bildung und Dislozierung...* str. 126.

⁵⁹ J. Roglić, *Unsko-koranska zaravan...* str. 51.

⁶⁰ A. Penck, *Geomorphologische Studien aus der Herzegowina...* str. 36—37.

⁶¹ A. Grund, *Beiträge zur Morphologie des Dinarischen Gebirges*, str. 199.

ocena⁶². Gornju granicu ove erozivne faze Cvijić određuje prema geološkim podacima Fr. Katzera i Fr. Kenera, koji su konstatairali, da su poremećene gornjopliocene naslage na južnoj strani Majevice i u Sinjskom polju. Ovo su datiranje preuzeli i Cvijićevi učenici. Novija istraživanja međutim ukazuju, da su jezerske naslage Sinjskog polja starije nego što ih je Kerner određivao.⁶³ I sam Cvijić je u svojim posljernjim radovima bio rezerviraniji u pitanjima donje granice. Govoreći o zaravnima »iznad Karlovca« kaže: »i ovde je, dakle, glavna faza mirovanja i uravnavanja zemljišta bila za vreme visoke pliocenske terase po svoj prilici u pontsko doba⁶⁴. Oni zaravan Dubrava i Brotnja oko Neretve određuje kao »pliocensku terasu«, što znači, da ne ide do donjomiocenog nabitranja⁶⁵.

Smatramo, da geološki rezultati omogućuju preciznije određivanje starosti zaravni. Svi se autori slažu, da su zaravni ne samo dobro izražene, već i neznatno poremećene. Zaravni se šire oko polja i erozivnih udubljenja u neogenim naslagama, a ove nalazimo i iznad zaravni⁶⁶. Iz toga slijedi, da su zaravni mlađe od taloženja i poremećaja neogenih naslaga, K a t z e r je jezerske naslage Bosne i Hercegovine označio kao »oligomiocen«, koji je taložen »tokom oligocena i najviše tokom donjeg miocena⁶⁷. Novija istraživanja pojedinih bazena pokazuju, da su u ovoj seriji zastupane i pontijske naslage.⁶⁸ Slažemo se, dakle, sa A. Grundom, da su post-pontijski tektonski pokreti (ali pontski kat pribrajamo pliocenu) imali velik intenzitet i da je tek poslije njih počela faza mirovanja i uravnavanja. Ne poznajemo zaravni, koje bi nastale tokom prvog Grundovog ciklusa, t. j. u miocenu. Da li bi se u starijem i poremećenom reljefu mogli naći tragovi odgovarajuće faze subaerske erozije, to nas ovdje ne zanima, ali bi te forme bile mladim pokretima znatno poremećene i korozivnim procesima izmijenjene. Izrazite zaravni u dinarskom kršu su, dakle, obrazovane poslije taloženja i poremećaja pontskih slojeva.

Stratigrafski podaci za utvrđivanje gornje granice faze uravnavanja nisu dovoljni ni sigurni; to se može lakše i pouzdanije utvrditi morfološkom analizom. Korozivne su zaravni disicirane dolinama, koje su u vapnencima kanjoni, a u nepropusnim stijenama proširenja. Na taj su način obrazovane složene doline Une, Zrmanje, Krke, Cetine, Neretve i drugih. Ovo pomlađivanje reljefa uvjetovano je pokretima, koji su bili uglavnom

⁶² J. Cvijić, *Bildung und Dislozierung...* str. 126.

⁶³ Prema usmenom i ljubaznom saopćenju prof. A. Takšića, koji vrši detaljno geološko istraživanje i snimanje kraja, u Sinjskom polju nema gornjeg pliocena, a nesigurne su i pontske naslage.

⁶⁴ J. Cvijić, *Geomorfologija*, sv. I., str. 573.

⁶⁵ J. Cvijić, *ibid.* str. 369.

⁶⁶ Problem je raspravljan u članku Unsko-koranska zaravan i Plitvička jezera, a iste odnose nalazimo i u drugim dijelovima krša. Tu morfološku činjenicu podvukao je već i Fr. Katzer: »Jezerske zavale su imale ne samo drukčije obrise, već i drukčiji raspored od današnjih polja« (*Karst und Karsthydrographie...*, str. 35).

⁶⁷ Fr. Katzer, *Die fossilen Kohlen Bosniens und der Herzegowina*, sv. I, Wien 1918, str. 71.

⁶⁸ Podaci o tome su izloženi u članku Unsko-koranska zaravan i Plitvička jezera (str. 57). Vidi i članak »Polja zapadne Bosne i Hercegovine« (III. kongres geografa Jugoslavije, Sarajevo 1954, str. 45—58). Donja granica faze uravnavanja ovisi, dakle, o stratigrafskom položaju jezerskih naslaga i može pretrpjeti dalje promjene.

epirogenetske prirode. Naš je kraj dosta ravnomjerno (tako se očuvala horizontalnost zaravni) izdignut, ili su neke zaravni duž oživjelih tektonskih linija stupnjevito raspoređene (katunski strmac iznad zadvarske zaravni, dislokacija rubnih nivoa oko Petrova i Sinjskog polja). Pretežno epirogenetska priroda pokreta krajem pliocena i početkom pleistocena općenito je konstatirana; to je omogućilo očuvanje »velikih zaravni, u kojima su kvarterne terase«⁶⁹. Faza mirovanja je, dakle, prekinuta pokretima krajem pliocena i početkom pleistocena, i time je počelo mlade usijecanje tokova⁷⁰. Istovremeno je na izdignutim vapnenačkim zaravnima oživio okomiti krški proces i formiranje izoliranih udubljenja, koja nisu izmijenila opći izgled uravnjenosti. U toku mlade faze preoblikovani su i humovi i njihove padine prilagodene novim klimatskim uvjetima (fot. 3 i 8).

Pomlađene i složene doline alogeni tokova bile su usječene prije glacijacija u izvorišnim gorjima, jer su u njima staloženi fluvioglacialni nanosi (Neretva i Morača). Dosada su sigurno utvrđeni tragovi posljednje virmske glacijacije⁷¹. Spiranjem sa strane i donošenjem iz izvorišnih dijelova staložile su se, tokom hladnih pleistocenih perioda, u dolinama akumulacione ravni, koje su najnovijim usijecanjem zaostale u obliku terasa; istovremeno su u poljima formirani naplavni pokrovi, iz čega se može zaključiti, da su oba osnovna oblika nastala prije glacijacije⁷².

Tereni sastavljeni od stijena podložnih spiranju i potočnoj eroziji diferencirano su disicirani. Pojačano spiranje sa padina tokom hladnih doba pokrilo je dna ponikava i uvala i usporilo njihovo udubljivanje. Spiranje padina, potočna erozija i taloženje plavina bili su tokom ledenih vremena u kršu znatno zastupani.

Ostaje još da utvrdimo, da li su klimatske prilike tokom pliocena pogodovale korozivnom procesu. Neki računaju da je klima tokom pliocena »približno odgovarala današnjoj«⁷³. Uspijevanje magnolije u srednjoj Evropi još i početkom kvartara ukazuje, da je klima bila topla i dovoljno vlažna.⁷⁴ Jača ljetna zagrijavanja privlačila su zračne mase s mora i uvje-

⁶⁹ M. A. Lefevre, Un niveau d'érosion universel à 200 m. d'altitude. Abstracts of papers XVII-th international geographical Congress, Washington 1952, str. 50. Bez obzira da li je opravdano univerzalno vezati visinu pliocene zaravni za 200 m, očito je, da je taj nivo dobro izražen i da je poslije faze dugog mirovanja i uravnavanja slijedilo usijecanje tokova prekidano klimatogenim kvartarnim fazama akumulacije i erozije.

⁷⁰ I ovoj fazi disekcije korozivnih zaravni nalazimo analogne oblike u krajevima, gdje su rubni korozivni procesi i danas aktivni. Reljef zavale Jikjang u južnom Kvangsiju (fot. 7) mnogo podsjeća na slike, koje imamo u Ličkom polju (fot. 8), Popovu polju (fot. 3) i drugdje; razlike su samo u intenzitetu mladog usijecanja tokova.

⁷¹ Položaj fluvioglacialnih nanosa unutar pomlađenih dolina ukazuje, da je neosnovano Terzaghijevo datiranje doba postanka zaravni odnosno polja: »Doba mirovanja u formiranju planina došla su u Alpama do izražaja u interglacijacijama, a u današnjem kršu u postanku polja«. (Terzaghi, op. cit. str. 38). Isto tako smatramo, da nije ničim dokazano i nemoguće tvrđenje Fr. Katzera u kritici A. Grundla, da su zaravni glavnim dijelom nastale u kvartaru (Pet. geogr. Mitteilungen, sv. 58. br. 1, Gotha 1912, str. 149—150).

⁷² Vidi J. Roglič »Imotsko polje«, ... i »Polja zapadne Bosne i Hercegovine« ... i A. Melik »Kraška polja Slovenije«. Slov. akademija znanosti in umetnosti, Dela Instituta za geografiju, III, str. 1—162, Ljubljana 1955.

⁷³ M. Schwarzbach, Klima der Vorzeit, Stuttgart 1950., str. 142—144.

⁷⁴ P. Woldstedt, Das Eiszeitalter, Stuttgart 1954., str. 8.

tovala klimu s vlažnom i toplom godišnjom dobi, slično klimi jugoistočne Azije (južna Kina), u kojoj se — kao što je pokazao H. Wissmann — vrši intenzivna rubna korozija.

D. J a r a n o v, na osnovu poznavanja istočnih dijelova Balkanskog poluotoka i atlaskih zemalja, smatra, da je klima Sredozemlja tokom pliocena bila topla, ali samo periodično vlažna (savanska). Zato su glavni dokaz lateritska tla i pustinjske inkrustacije⁷⁵. On smatra, da se, pomjeranjem ekvatora prema jugu (u smislu Köppen-Wegenerove teorije), pomicao pojas ove klime prema ekvatoru, tako da je krajem pliocena zahvaćao južno Sredozemlje i sjevernu Saharu. U našim krajevima nisu utvrđeni spomenuti tragovi suhe klime, iz čega je očito, da su bili vlažniji, kao što su i danas, od područja koja je Jaranov proučavao.

Navedenim općim klimatskim odnosima treba dodati regionalne karakteristike našega kraja i imati u vidu lokalne petrografsko-hidrografske prilike. Dinarsko gorje je, zbog svog položaja i pružanja, i u to doba zadržavalo veće količine padalina. S nepropusnih su stijena pritjecale vode, donosile materijal i formirale inundacione ravnice, čijim se rubom vršilo otapanje vapnenaca i širila zaravan. Ove su zaravni imale karakter krških polja. Korozivni je proces diferencirano jače otapao čiste vapnence.

Sigurna geološka starost i očita korozivna priroda zaravni dokaz su, da je klima srednjeg i gornjeg pliocena u našim krajevima bila dovoljno topla i osobito na gorju, koje je zadržavalo vlagu, dosta vlažna, što je uvjetovalo razvoj odgovarajućeg tipa krša.

Morfološka analiza i korelativno objašnjavanje procesa omogućuju nam, dakle, da evoluciju reljefa dinarskog krša obnovimo do pokreta, kojima su poremećene jezerske naslage, čiji su najmlađi članovi određeni kao pontski. U toku ovog razdoblja nastali su najznačajniji oblici subaerske erozije: prostrane zaravni, mlade i složene doline i zatvorena krška udubljenja. Pojačano razaranje pod utjecajem zamrzavanja i odmrzavanja stijena i potočno spiranje padina uvjetovali su tokom ledenog doba akumulaciju u udubljenjima, što današnji procesi nastoje odstraniti. U priobalskim su krajevima navedeni procesi modificirani i glacioeustatičkim kolebanjima morske razine.

Kompleksna i sintetička geomorfološka metoda omogućuje rekonstrukciju evolucije reljefa. Jednostavna primjena velikih jedinica geološke kronologije ne zadovoljava i ne vodi računa o složenosti reljefa, što smo vidjeli u radu A. P e n c k a i u prvim radovima J. C v i j i ć a, koji su početak faze erozije vezali za srednjotercijarno nabiranje. Površno geološko datiranje štetno se provlači i kroz noviju literaturu.

Potreba kompleksnog gledanja i boljeg poznavanja mlade geološke prošlosti postaju još očitiji, ako morfološke procese odmjerimo prema vremenskom trajanju. Od pokreta na prijelazu između tercijara i kvartara (600.000 — 1.000.000 godina) izvršilo se usijecanje dolina i polja, bile su periode akumulacije i erozije uvjetovane klimatskim promjenama i kole-

⁷⁵ D. J a r a n o f f, Das Klima des Mittelmeergebietes während des Pliozäns und Quartärs. Diluvialgeologie und Klima. Geologische Rundschau, sv. 34, br. 7/8, Stuttgart 1944, str. 443.

banjima morske razine. Evolucija i promjene reljefa u toku kvartara bile su dakle značajne i mnogostruke. Ranijem mirnom periodu do sredine pontskog kata (oko 10,000.000 godina) pripisujemo formiranje prostranih korozivnih zaravni, a taj se proces, kao što smo vidjeli, u povoljnim klimatskim uvjetima vrši veoma brzo. Vjerojatno će dalja istraživanja naći elemente, kojima će se moći izvršiti još detaljnije raščlanjenje ovog dugog razdoblja.

U dinarskom kršu ima mnogo reljefnih elemenata, koji su stariji od poremećaja pontskih jezerskih naslaga i koji su nastali kroz nekih 13,000.000 godina, nakon glavnih srednjotercijarnih pokreta. Kroz to je doba bilo više sekundarnih orogeneza u smislu H. Stillea. Ti su pokreti mijenjali uvjete i komplicirali evoluciju reljefa, tako da je njena rekonstrukcija teška i nesigurna, a zaostali oblici imaju sekundarno morfološko značenje. Stariji se elementi reljefa u toku mlađe faze mijenjaju i gube; pravilna ocjena mladih omogućuje postepenu rekonstrukciju starijih oblika. Pri objašnjenju naslijeđenih elemenata krškog reljefa treba voditi računa o procesima, koji odgovaraju vapnencima, i imati u vidu mladu izmjenu tih osnovnih oblika. Ovaj zadatak za cijeli reljef krša izlazi van okvira našeg rada, koji se ograničio na zaravni, koje su vrlo izrazite i relativno mlade.

Zaključak — Zaravni su vrlo značajan element dinarskog krša i suprotan razvoju krških oblika u umjerenim klimama, kao što je to definirao J. C v i j i ć: »Razvijaju se više-manje okomito do nepropusne podloge«. Zaravni se ne mogu objasniti ni drugim erozivnim procesima, koji su na vapnencima izuzetni i stvaraju specifične forme (riječna erozija — kanjonske doline) ili u našem slučaju ne dolaze u obzir — abrazija.

Vidjeli smo, da se u dinarskom kršu i u današnjim uvjetima vrši rubni korozivni proces i formiraju oblici, razvijeni u horizontalnom smjeru. Ovakav razvoj reljefa na vapnencima prevladava u toplim i stalno ili povremeno vlažnim klimama, koje pogoduju formiranju naplavnog pokrova bogatog organskim sastojinama, na čijem se rubu vrši intenzivan korozivni proces.

Formiranje zaravni je lokalni i površinski proces, uvjetovan stabilnošću inundacionog nivoa, a ne razinom temeljnice. Zaravni se mogu formirati na različitim visinama, ako se formira stabilna naplavna ravan, koja sprečava poniranje i uvjetuje otjecanje prema rubovima. Prilike u doba zaravni bile su onakve, kao što su u većini današnjih polja. Zaravni i jesu tragovi nekadašnjih polja, koja su u doba korozivnog uravnavanja bila u dinarskom kršu zastupana više nego danas i određivala su izgled prostranih krajeva.

Korozivne se zaravni bitno razlikuju od fluvijalnih. Ističu se uravnjenošću, nisu izdužene duž tokova, ne proširuju se prema ušću i ne nastavljaju se uzvodno terasama, mogu biti potpuno izolirane višim zemljištem — suprotno zakonima riječne erozije. Nema karakterističnog odnosa između riječnih erozivnih i naplavnih procesa; nastale su otapanjem vapnenaca i otopina je zajedno s vodom podzemno otekla.

Zaravni u dinarskom kršu jesu naslijeđeni oblici, a geološki odnosi i morfološka analiza ukazuju, da potječu iz srednjeg i gornjeg pliocena. To

je period tektonske stabilnosti i erozije, kad je u dinarskom kršu bila topla i periodično vlažna klima. Planine su zadržavale veću količinu padalina, a pogodni petrografska-hidrografska odnosi osiguravali su naplavine i stalnu vlagu. Ovim regionalnim karakteristikama i lokalnim razlikama može se objasniti rasprostranjenje korozivnih zaravni. Mladim pokretima počela je diferencirana erozija, a zbog pleistocenih klimatskih promjena dolazilo je do smjena akumulacije i erozije, povezanih s kolebanjem razine mora. Mlađe su promjene neznatno izmijenile opći izgled zaravni.

Organogeni procesi života i raspadanja bitno utječu na otapanje vapnenaca. Kako su organogeni procesi odraz klime, logično je da ona uvjetuje tip reljefa na vapnencima i utječe na nj. Krš umjerenih širina karakteriziraju izolirana i u okomitom smjeru razvijena udubljenja, a u toplim i vlažnim ili periodično vlažnim klimama obrazuju se korozivne zaravni i izolirana uzvišenja.

Promjenom klime dolazi do smjene različitih tipova vapnenačkog reljefa u istom kraju. Pored izoliranih udubljenja, razvijenih u skladu s današnjim uvjetima, u dinarskom su kršu zaostali oblici i drukčijeg tipa, koji odgovaraju prilikama i hidrografskim odnosima ranijih geoloških razdoblja. Osjetljiv na promjene klimatskih prilika, krš je pogodan za rekonstrukciju klima u geološkoj prošlosti — u tome je posebno značenje koreografskog objašnjenja reljefa.

Pri objašnjenju evolucije reljefa, treba, pored podataka iz geološke prošlosti, voditi računa o petrografskim uvjetima i klimatskim modifikatorima. Ovakvo kompleksno gledanje ukazuje, da je najmlađa geološka prošlost presudna za današnji izgled reljefa i da su se kroz to doba na istom prostoru vršili različiti, a čak i suprotni procesi.

RÉSUMÉ

Les surfaces d'aplanissement dans les calcaires

par J. Roglič

En raison de l'intérêt manifesté récemment pour l'étude des caractères et de la genèse des surfaces du karst dinarique, l'auteur veut apporter ici une contribution nouvelle à ce problème et en fait le thème d'une étude monographique.¹

La circulation de l'eau dans les fissures karstiques conditionne la formation des formes principalement développées dans un sens vertical. Ce processus, qualifié de «normal» dans le karst exclut par conséquent la formation de surfaces horizontales. Cependant, les surfaces sont mieux développées dans les terrains calcaires que dans les autres, et elles présentent des caractères originaux qui demandent une explication particulière.

Dans le karst dinarique classique, les surfaces représentent les formes les plus marquantes; on s'étonne que les chercheurs ne leur aient pas plus tôt consacré une attention spéciale.

Les surfaces du karst dinarique s'étendent sur les deux versants, adriatique et continental. L'auteur se limite à l'étude des formes les plus originales et ne prend pas en considération les traces de niveaux locaux, qui peuvent représenter les restes ou les témoins de surfaces plus entières dégradées. Le but de ce travail est d'expliquer l'origine de ces surfaces, et non de décrire toutes les formes semblables.

Quelques surfaces s'étendent le long des cours d'eau actuels (surface du Nord de la Dalmatie autour de la Krka et la Zrmanja; surfaces autour de la Cetina; surface de Dubrave-Brotinjo autour de la Neretva inférieure; surface autour de

* Cet article a été préparé en vue de l'impression dans une autre revue le 12 mai 1956, mais il n'a pu être publié pour des raisons spéciales. La rédaction du texte est restée inchangée et la bibliographie n'a pas été complétée; elle n'avait d'ailleurs pas raison de l'être.

¹ Sur l'importance des surfaces de corrosion situées du côté émissaire des plaines alluviales, c'est-à-dire des poljes karstiques, l'auteur a déjà attiré l'attention dans les articles suivants: «Morphologie der Poljen von Kupres und Vukovsko» (Zeitschr. d. Gesel. für Erdkunde, n° 7/8, p. 299—316, Berlin, 1939); «Geomorphologische Studie über das Duvanjsko Polje in Bosnien», tirage à part des «Mitteilungen der Geogr. Gesellschaft», tome 83, n° 5—8, p. 1—28, Vienne, 1940; «Surface de l'Una et de la Korana», Bulletin de Géographie, tome 13, p. 49—68, Zagreb, 1951.

Sa communication sur les surfaces karstiques dans les régions dinariques au XVII^e Congrès de Washington de 1952 a été publiée dans les «Proceedings Eight General Assembly an Seventeenth International Congress», p. 366—369. Une communication a été faite à la Société de Géographie de Zagreb le 5 avril 1954. Le problème est examiné également dans la conférence intitulée «Quelques problèmes fondamentaux du karst», tenue à l'Institut de Géographie de la Sorbonne le 29 avril 1955 et dont le texte a été publié dans «l'Information Géographique», année 21, n° 1, p. 1—12, Paris, 1957; dans la conférence de la Société de Géographie de Croatie du 16 mai 1955 et au IV^e Congrès des Géographes Yougoslaves, publiée dans les «Rapports du IV^e Congrès des Géographes Yougoslaves», p. 46—61, Belgrade, 1956.

Le problème était discuté à la Conférence de la commission pour l'étude des phénomènes de karst de UGI à Francfort 27—30 décembre 1953, publié dans «Das Kartphänomen in den verschiedenen Klimazonen», Erdkunde, t. VIII, f. 2, 113—115, Bonn, 1954.

l'Una moyenne et de la Korana). Cependant, ces surfaces ne s'élargissent pas dans la partie aval de ces cours d'eau et ne se prolongent pas dans la partie amont, comme les surfaces d'origine fluviale. D'autres se trouvent en bordure de régions karstiques, comme la surface du S. O. de l'Istrie ou les surfaces de la Korana, de la Mrežnica et de la Dobra inférieure autour de Karlovac. Les plus originales sont complètement entourées et fermées par des hauteurs périphériques: la surface du Lug et de la Suma dans le Popovo Polje, le fond de polje de Lika et de Gacko polje. Les principaux caractères de chacune de ces surfaces sont donnés dans cet article.

Ces surfaces sont situées à des altitudes différentes, alors que dans la partie S. O. de l'Istrie, elles descendent jusqu'à la côte, celle de Veliko Rujno dans le Velebit occidental est à 900 m. De même, ces surfaces sont de dimensions variées.

Ces surfaces se caractérisent par un aplanissement remarquable, elles ne présentent pas de pente en direction des talwegs ni le long des rivières comme les surfaces fluviales. La plupart sont faiblement inclinées en direction de leur bordure calcaire. Elles ne présentent aucun témoin d'anciens méandres sur les bords, ni de formes d'abrasion littorale. Il n'existe pas, sauf dans des cas d'exception, de graviers de quartz qui témoigneraient d'une origine fluviale.

En revanche ces surfaces sont nettement en rapport avec les calcaires. Les plus vastes et les plus typiques s'étendent dans les calcaires purs et compacts; leur formation demande donc une explication particulière qui tienne compte de ces faits. Des observations personnelles dans d'autres régions (France et Etats-Unis) et les renseignements fournis par les auteurs tendent à confirmer ce point de vue.

L'origine des surfaces dans le karst a été expliquée par les mêmes processus que les surfaces dans les terrains imperméables. Ces surfaces ont été considérées comme une preuve de l'existence de la *grundwasser* et d'une érosion fluviale. A. Penck a le premier exposé cette idée laquelle A. Grund a appliqué et théoriquement développé; la conception de W. M. Davis ne diffère de celle de Penck que dans l'appréciation du degré atteint par les processus fluviaux. Les hauteurs qui se dressent au-dessus de ces surfaces sont appelées par Penck des «*mosors*», témoins d'interfluves, et par Davis «*monadnocks*», composés de roches plus résistantes. Ces deux théories ne répondent pas à la réalité. J. Cvijić a recherché au début de ses travaux une explication qui tienne compte de la nature calcaire des terrains, puis il s'est rallié à la conception de Penck et de Davis. Il a interprété certaines surfaces par des processus d'abrasion. Les auteurs italiens ont toujours considéré les surfaces du versant adriatique comme des formes d'abrasion. Or, les caractères morphologiques de ces surfaces et leurs conditions géologiques excluent une telle hypothèse.

L'auteur part de constatations précises qui montrent que dans le karst s'effectue une circulation verticale des eaux, alors que les cours d'eau allogènes peuvent seulement creuser des vallées en forme de canyons. Les eaux dans le karst s'engouffrent, le processus de ruissellement est inexistant en direction des rivières, il n'y a pas d'eau de fond qui pourrait alimenter les sources, les eaux ne s'écoulent pas en direction du niveau de la mer. Il n'y a pas de conditions réalisées pour que s'effectue une érosion fluviale. Tout indique qu'il faut chercher une explication particulière à la formation des surfaces.

K. Terzaghi en 1913 a souligné l'importance du niveau d'inondation qui empêche l'écoulement vertical et conditionne la corrosion périphérique et par conséquent l'aplanissement des calcaires. Les observations ultérieures de K. Kayser et d'autres auteurs ont apporté des preuves nouvelles à la théorie de Terzaghi que ces auteurs ont modifiées. Terzaghi considère que l'inondation est provoquée par la remontée des eaux des canaux souterrains, mais Kayser montre que le processus d'inondation est en rapport avec plaines littorales. L'auteur montre que ce sont les terrains imperméables qui fournissent à la fois les eaux et les matériaux qui obturent les fissures, empêchent l'écoulement vertical des eaux du karst. Les surfaces se trouvent donc au contact des roches perméables et des roches imperméables. Le pouvoir corrosif des eaux est renforcé par la présence de la végétation marécageuse et les débris organiques. Par conséquent, le climat joue un rôle important dans ce

processus de corrosion latérale. Cette action reste superficielle et locale, et elle est conditionnée par l'équilibre existant entre, d'un part, l'arrivée des eaux et l'accumulation, d'autre part, l'écoulement vertical et la corrosion. Ce qui explique la formation des surfaces à des niveaux différents et leur pente en direction de la bordure calcaire.

Au moment de la formation de ces surfaces, existaient donc des cuvettes formées en rapport avec les cours d'eau qui avaient creusé dans les terrains imperméables, tandis que dans la partie inférieure, les surfaces se développaient par la corrosion aux dépens des calcaires. Ces cuvettes ont été favorisées par la disposition tectonique, mais elles n'ont reçu leur aspect définitif que par l'action d'un processus érosif-corrosif. Ce sont là les conditions actuelles des poljes du karst dinariques, ce qui prouve que les surfaces correspondent à d'anciens poljes; au moment de leur formation, les surfaces de poljes étaient plus nombreuses qu'aujourd'hui. L'auteur présente des exemples qui montrent que le processus de corrosion latérale s'effectue encore de nos jours. Des processus et des formes semblables sont connus dans les régions de climat chaud et humide: Chine méridionale (H. von Wissmann), N. O. de Cuba (H. Lehmann), etc.

Lorsqu'est détruit l'équilibre entre alimentation et écoulement, à la suite de l'érosion des terrains imperméables ou changement du climat qui ont pour conséquence une diminution de l'alimentation, ou de l'accroissement de capacité des ponors, le matériel alluvial est évacué et une surface rocheuse se dégage.

Des processus plus récents d'érosion différentielle ont pu abaisser la zone des terrains imperméables, dont les matériaux étaient évacués superficiellement ou par les canaux souterrains, et les surfaces se sont ainsi maintenues comme des régions plus hautes.

Les conditions géologiques facilitent la datation de ces surfaces. Celles-ci sont plus récentes que les dépôts lacustres qui sont souvent disloqués et se trouvent au-dessus de leur niveau. Or, les plus récents dépôts lacustres sont pontiens. D'autre part, les surfaces sont disséquées par des vallées en forme de canyons au fond desquelles sont des formations fluvio-glaciaires. La période d'aplanissement se situe donc entre les mouvements tectoniques qui ont dérangé les dépôts pontiens et le soulèvement qui a provoqué le rajeunissement de relief au pléistocène inférieur; ces surfaces se sont donc formées au cours du pliocène moyen et supérieur. Un climat chaud et périodiquement humide a favorisé alors les processus de formation des surfaces. Il faut évidemment tenir compte de facteurs locaux. En raison de sa position et de sa direction, le karst dinarique a été, comme de nos jours, relativement humide. Les surfaces se sont formées au contact des calcaires et des régions d'alimentation formée de terrains imperméables.

(Traduit par A. Blanc)