

Geol. vjesnik	Vol. 38	str. 121—129	Zagreb 1985.
---------------	---------	--------------	--------------

UDK 551.435.8:551.24

Izvorni znanstveni rad

Neki rezultati primjene geomorfološke analize reljefa u uvjetima krškog terena

Janislav KAPELJ

Geološki zavod Zagreb, YU — 41000 Zagreb, Sachsova 2

U ovom radu obrađen je jedan dio krškog terena geomorfološkom metodom analize reljefa. Dobiveni rezultati geomorfološke obrade provjereni su i uspoređeni s podacima terenskog kartiranja. Cilj istraživanja bio je izdvajanje oblika reljefa koji ukazuju na rasjede, te geomorfoloških pokazatelja pomoću kojih se razlikuju tektonski blokovi.

This paper presents one part of the karst terrain subjected to the geomorphological analysis of the relief. On the basis of the geomorphological indicators main faults are supposed, and lately compared and confirmed by field investigations. The aim of this investigations was to distinguish larger geotectoincal units and blocks.

UVOD

Geološkim i hidrogeološkim istražnim radovima, koji su provedeni u cilju ocjene mogućnosti hidroenergetskog iskorištenja vodotoka Krčić, prethodila je geomorfološka obrada šireg područja. Ukupno je obrađena površina od 170 km². U tu svrhu je korištena topografska RH karta M 1 : 50.000.

Ovim radom nije obuhvaćeno cijelo razmatrano područje, već se na jednom primjeru nastojalo prikazati rezultate provedene analize.

Prilikom geološkog kartiranja registrirani su svi dostupni litološki i strukturni elementi u terenu. Pri tome su korišteni podaci OGC SFRJ, list Knin, I. Grimani et al. (1966), te podaci geološke karte mjerila 1 : 10.000 područja Krčića, A. Pavičić et al. (1983, 1984) kao i rezultati fotogeološke obrade.

Ovdje prikazan teren zauzima površinu od 30 km². Smješten je približno 14 km istočno od Knina i proteže se na sjever, od ušća bujičnog vodotoka Duliba u gornji tok Krčića, prema Suhom polju. Istočno se uzdižu padine Dinare, a prema zapadu uzvisine Vršina (1004) i Crnogorski krš (805). Teren je morfološki vrlo razveden. Dominira brdsko-planinski reljef s brojnim elementima krške morfologije, kao što su strmo odsječene padine, kontrastni reljef, kanjonske riječne doline, zatim zone spajanja više dolina, kao i nizovi više paralelnih dolina. Spomenuti su elementi u uvjetima krških terena karakteristični pokazatelji rasjeda. Također je analizirana morfologija i prostorni raspored tipova erozijske mreže, što

je od velikog značaja kod izdvajanja tektonskih blokova. Terenskim geološkim kartiranjem prikupljeni su između ostalog i podaci o litološko-stratigrafskom sastavu naslaga, koji su poslužili kod ocjene relativnih kretanja većih tektonskih cjelina. Rasjedi su označeni brojčanim indeksima a tektonske cjeline slovima (slika 1).

GEOMORFOLOŠKE ODLIKE TERENA

Istraživano je područje u širem smislu dio dinarskog krša. Jedna od osnovnih odlika ovih terena je velika površinska rasprostranjenost naslaga karbonatnog razvoja u kojima je formiran reljef.

Razmatrani dio terena karakterizira znatna morfološka raščlanjenost i to vertikalna i horizontalna (slika 1a). Mogu se uočiti visinske razlike od više stotina metara na relativno malim horizontalnim udaljenostima. Reljef je mjestimično jako ustrmljen, a karakteristične su i nagle promjene u nagibima padina. Takve dionice strmih odsjeka u reljefu izdvojene su na geomorfološkoj karti (slika 1b) budući da najčešće ukazuju na rasjede. Osim ovih naglašena su i područja manje kontrastnog reljefa koji također nastaje u zonama rasjeda.

Riječna, odnosno erozijska mreža predstavlja izvor korisnih podataka o morfogenetskim procesima koji su formirali reljef nekog područja. Iscrtavanje rječne (erozijske) mreže je stoga početna faza svake geomorfološke obrade. Na topografskoj podlozi (M 1 : 50.000) u razmatranom području isctane su sve doline, bez obzira da li se radi o povremenim vodotocima, ili suhim jarugama i udolinama. Pri tome je izvršena klasifikacija dolina.

Za potrebe ovog rada izvršen je raspored dolina do maksimalno šestog reda.

Karakteristično je da na razmatranom području nema stalnih izvora ni vodotoka, ali su brojni povremeni, što je također obilježje krških terena.

Promatrajući kartu rasporeda dolina područja Dulibe i dijela gornjeg toka Krčića (slika 1b), mogu se zapaziti i izdvojiti dva osnovna tipa erozijske mreže.

U dijelu terena zapadno od doline Dulibe prevladava centrifugalni tip, sa slabo razvijenim dolinama, uglavnom prvog ili najviše drugog reda, što ukazuje na oskudno površinsko tečenje. Morfološki se ističu četiri centra centrifugalne erozijske mreže, od kojih erozija slabo napreduje prema periferiji.

Istočno odnosno sjeveroistočno od Dulibe, koja je pored gornjeg toka Krčića glavni površinski povremeni vodotok u ovom dijelu terena, zastupljen je dendritični tip erozijske mreže. Karakteristično je za ovaj tip vrlo velika gustoća dolina po jedinici površine, zatim brz prelaz dolina nižih u doline viših redova. Ujedno se već u fazi kabinetske obrade može pretpostaviti da je u ovom slučaju dendritični tip erozijske mreže vezan na nepropusne, dok je centrifugalni tip vezan na dijelove terena kojeg izgrađuju vodopropusne stijene, u kojima prevladava vertikalna cirkulacija uz istovremeno slabo površinsko otjecanje.

U dijelovima terena u kojima je razvijena dendritična erozijska mreža zapaža se više karakterističnih elemenata koji predstavljaju geomorfo-

loške pokazatelje rasjeda. Jedan od najzastupljenijih elemenata su svakako koljeničaste anomalije riječnih dolina. Pojava nagle promjene smjera toka dopušta pretpostavku da je uzrokovana tektonikom pri čemu riječni tok zaobilazi izdignuti blok. U ovom primjeru karakteristično je da su koljeničaste anomalije uglavnom zastupljene uzduž dolina nižih redova.

Istočno od Dulibe jasno su odražene u reljefu tri međusobno paralelne doline viših redova (paralelna erozijska mreža), čiji je morfološki razvoj vjerojatno iniciran paralelnim rasjedima. Treći karakterističan pokazatelj rasjeda su zone spajanja više dolina. One ukazuju na sjecišta značajnijih rasjeda. Ove zone su koncentrirane uzduž doline Duliba (slika 1b).

Osim pokazatelja rasjeda (morfologija reljefa i osobitosti erozijske mreže) u analizi su korišteni elementi koji ukazuju na uzdignute tektonske blokove i najnovije tektonske pokrete. Po tome treba naglasiti da je tip erozijske mreže, budući da je rezultat litološkog sastava i tektonskih odlika pojedinih blokova u terenu, jedan od najvažnijih elemenata. Osim ovoga važan pokazatelj najnovijih tektonskih pokreta su naglašena suženja riječnih dolina, kao i anomalije dolina u obliku luka. One nastaju u predjelu tonjenja struktura ili nagnutih asimetričkih tektonskih blokova.

OCRTAVANJE RASJEDA I TEKTONSKIH BLOKOVA U RELJEFU

Na osnovi navedenih geomorfoloških pokazatelja u početnoj kabinetskoj fazi analize predpostavljeni su rasjedi ucrtani u geomorfološku kartu na kraćim dionicama pružanja (slika 1b).

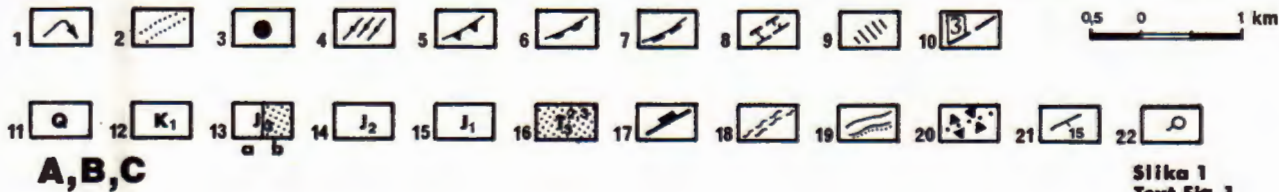
Predpostavljen rasjed označen indeksom 1 ucrtan je na geomorfološku kartu budući da predstavlja granicu dvaju tipova erozijske mreže (centrifugalni i dendritični). Prema geološkim podacima (Grimani 1966) ovaj rasjed se proteže granicom između relativno većih tektonskih jedinica Krčić i Podinarje. Duž njega su u kontaktu dolomiti malma (J_3) s vapnencima lijasa i dogera sinklinalne strukture Vršina, koja predstavlja relativno izdignuti tektonski blok (indicirani centrifugalnim tipom erozijske mreže) (slika 1).

Duboko usječena dolina morfološki dobro odražava rasjed 2 predstavljen na slici 1b, a terenskim kartiranjem i potvrđen (slika 1c). Ovaj rasjed odvaja sinklinalu Vršina (1004) od reducirane sinklinalne Crnogorski krš (805). Duž njegovog pružanja (SZ-JI) razvijene su dvije duboko usječene doline, jedna sa zapadne, a druga s istočne strane bila. Na geološkoj karti (slika 1c) duž ovog rasjeda uočen je kontakt lijaskih (J_1) vapnenaca sinklinalne Vršina s naslagama lijasa (J_1) i dogera (J_2) reducirane sinklinalne Crnogorski krš. Istočno od Dulibe rasjed nema nastavaka niti prema geomorfološkim kao ni geološkim podacima.

Rasjed morfološki indiciran strmo odsječenom padinom (karakterističnim pokazateljem rasjeda) označen je indeksom 3 (slika 1b). Pretpostavljen je samo u kraćem dijelu pružanja u području gornjeg toka Krčića. U nastavku prema Dulibi morfološki nije odražen. Terenskim kartiranjem je praćen i na ovom potezu. Promatrani rasjed ima morfološki nastavak istočno od Dulibe s pružanjem SI-JZ. Pretpostavljen je na osnovi slijede-



LEGENDA:
LEGEND:



Slika 1
Text Fig. 1

1. Koljениčaste anomalije dolina
2. Paralelni tip erozijske mreže
3. Zone spajanja više dolina
4. Niz paralelnih dolina nižeg reda
5. Odsječene padine (kontrasni reljef)
6. Manje kontrasni reljef
7. Anomalije dolina u obliku luka
8. Naglašeno suženje dolina
9. Centrifugalni tip erozijske mreže
10. Rasjed ustanovljen geomorfološkom analizom reljefa
11. Kvarter — deluvij — prašinate gline s kršjem
12. Kreda — vapnenci
13. Gornja jura — malm, a) vapnenci, b) dolomiti
14. Srednja jura — doger — vapnenci
15. Donja jura — lijas — vapnenci i zaglinjeni vapnenci
16. Gornji trijas — laminirani dolomiti
17. Rasjed ustanovljen terenskim kartiranjem
18. Lomna zona
19. Geološka granica — normalna i transgresivna
20. Os antiklinale, sinklinale
21. Položaj sloja
22. Značajniji krški izvor

A — Geotektonska jedinica Krčić
 B — Geotektonska jedinica Podinarje
 C — Geotektonska jedinica Dinara

1. Knee-shaped anomalies of dolines
2. Paralel type of erosion pattern
3. Junction zone of several dolines
4. Line of paralel dolines of lower order
5. Cut-off slopes (contrast relief)
6. Lower contrast relief
7. Arch-shaped anomalies of dolines
8. Pronounced narrowing of dolines
9. Centrifugal type of erosion pattern
10. Fault found out by geomorphological analysis of relief
11. Quarternary — Diluvium — Dusty clays with debris
12. Cretaceous — Limestones
13. Upper Jurassic — Malm, a) limestones, b) dolomites
14. Middle Jurassic — Dogger — Limestones
15. Lower Jurassic — Liassic — Limestones and clayey limestones
16. Upper Triassic — Laminated dolomites
17. Fault found out by terrain mapping
18. Fracture zone
19. Geological boundary — normal and transgressive
20. Axis of an anticline, syncline
21. Stratum dip and strike
22. Major karst springs

A — Geotectonic structure Krčić
 B — Geotectonic structure Podinarje
 C — Geotectonic structure Dinara

ćih pokazatelja: — nizom paralelnih dolina višeg reda, zatim zonorn spajanja više dolina, kao i paralelnim tipom erozijske mreže. Radi se od dvije međusobno približno paralelne doline viših redova.

U dijelu pružanja istočno od Dulibe, rasjed s oznakom 3 odvaja dolomite gornje jure — malim (J_2) u sjeverozapadnom krilu od malmskih vapnenaca, te na njih transgresivnih vapnenaca donje krede (K_1) u jugoistočnom krilu (slika 1c). Jugoistočno od doline, duž koje je pretpostavljen rasjed označen brojem 3, usječena je njoj paralelna dolina uzduž koje je pretpostavljeno pružanje rasjeda 7. Međutim, na terenu je dio trase ovog rasjeda zabilježen u zoni kontakta vapnenaca malma (J_2) i donje krede (K_1). Njegovi nastavci prema SI i prema JZ na terenu nisu registrirani. Duž izdvojenog dijela trase rasjeda došlo je do horizontalnog pomaka geološke granice malma i donja kreda. Spomenuti horizontalni pomak morfološki nije odražen.

Rasjed označen brojem 4 pretpostavljen je na temelju morfološki vrlo slabo izražene doline prvog reda, koja u svom krajnjem nizvodnom dijelu ima oštro izraženu koljeničastu anomaliju, dok mu jugoistočni nastavak završava u zoni spajanja doline Dulibe i gornjeg toka Krčića. Osnovna dolina, budući da je prvog reda, nema nikakve pritoke. Vjerojatno je predisponirana rasjedom. Njezin nastanak treba pripisati tektonici, dok je faktor erozije u drugom planu, jer je smješten u vodopropusnoj sredini gdje površinsko tečenje nije od značaja. Na geološkoj karti (slika 1c) ovaj se rasjed može pratiti do rasjeda 3. Duž njega su u kontaktu vapnenci lijasa (J_1) s vapnencima dogera (J_2). Pravac pružanja je SZ—JI, odnosno paralelno pružanju rasjeda 2. Treba naglasiti da je geološkim kartiranjem, ustanovljen nastavak tog rasjeda na južnom krilu antiklinale Krčić, dok istovremeno morfološki nije izražen. U tom dijelu svog pružanja odvaja iste naslage kao i u sjevernom krilu.

Dva međusobno paralelna rasjeda označeni brojevima 5 i 5a smješteni su u južnom krilu antiklinale Krčić. Pružanje im je SSZ—JJI. Morfološki su dobro odraženi u reljefu. Duž njih su razvijene dvije paralelne doline, djelomično usječene u dolomite gornjeg trijasa ($T_3^{2,3}$) u nizvodnom, odnosno lijaskim (J_1) vapnencima u uzvodnom dijelu. Uzduž ovih rasjeda došlo je do pomaka osi antiklinale Krčić u krajnjem sjevernom dijelu, kao i do pomaka geološke granice između naslaga gornjeg trijasa i lijasa (slika 1).

Na potezu od izvora Krčić sve do ušća Dulibe, povremeni vodotok Krčić je duboko usječen u kanjonsku dolinu strmo odsječenih bokova, generalnog pravca pružanja ZSZ—IJI. Na osnovi ovakve morfologije ovim dijelom doline može se pretpostaviti pružanje rasjeda s oznakom 6. Geološkim kartiranjem je ustanovljeno da je cijeli južni bok doline rasjedna zona navedenog pravca pružanja koja se može pratiti do rasjeda 4 na zapadu, te istočno od izvora Krčića prema Suhom polju.

Rasjed označen oznakom 8 (slika 1b) pretpostavljen je na osnovu strmo odsječene padine, generalnog pružanja S—J, u dužini od približno 2,5 km. Dalje, u smjeru sjevera, njegovo pružanje nije morfološki definirano. Štoviše, može se zapaziti, prema geomorfološkoj karti (slika 1b), da se tu mogu pretpostaviti rasjedi pravca pružanja SI—JZ. Ovi su rasjedi označeni brojevima 9, 10 i 11.

Na geološkoj karti (slika 1c) rasjed 8 pruža se dalje prema sjeveru, presijecajući rasjede pravca pružanja SI—JZ. Na tom potezu ovim su rasjedom odvojeni vapnenci dogera (J_2) od dolomita malma (J_3). Prema podacima prethodnih autora (Grimani, 1966 i Pavičić, 1983) ovaj rasjed predstavlja granicu između geotektonskih jedinica Podinarje i Dinara, pri čemu je tektonska jedinica Podinarje relativno spušten blok u kojem su sačuvane neerodirane naslage malma i donje krede.

Dolina Duliba je u razmatranom dijelu terena morfološki najmarkantnija. Karakteristični su strmo odsječeni bokovi doline, posebno u gornjem i donekle u srednjem dijelu toka, koji je usječen u dolomite malma (J_3). Stijena je u bokovima najčešće zdrobljena, tako da se elementi položaja slojeva vrlo rijetko mogu mjeriti. Dubina ureza na ušću u Krčić (gdje je izgrađena brana kako materijal nošen povremenim bujicama ne bi zapunjavao dolinu Krčića), iznosi 80 metara. Približno 1 km uzvodno usjek je 45 metara, dok u najsjevernijem dijelu toka dosiže i 100 metara (slika 1b). Tamo ima obilježje kanjona.

U dnu doline duž srednjeg i donjeg dijela odložen je nevezani nesortirani aluvijalni krupnoklastični materijal nezobljenih bridova, koji je očito rezultat intenzivne erozije uzrokovane povremenim bujičnim tečenjem. U gornjem dijelu toka aluvijalnog materijala praktički nema zbog intenzivnog bujičnog tečenja, koje doslovno »opere« korito. U nekim dijelovima korita u samom dnu, ali i bokovima, stijena je zdrobljena do milonitizirana, što ukazuje na pružanje rasjeda uzduž doline. U srednjem dijelu toka registrirane su manje površine dobro vezanih kvartarnih brečokonglomerata na nivoima od 15 do približno 30 m iznad današnjeg nivoa dna doline. Ove kvartarne naslage upućuju na zaključak da se usijecanje događalo u fazama relativno mirnog režima, u kojim je dolazilo do dijageneze erodiranog materijala, čiji se ostaci danas nalaze na bokovima doline na različitim visinama. Ovi ostaci kvartarnih brečokonglomerata, zbog malog površinskog rasprostranjenja, nisu prikazani na geološkoj karti. Činjenica da su u bokovima duž korita, a posebno u donjem dijelu toka, zapažena zdrobljena do milionitizirana stjena, koja se uz prekide prati duž cijelog toka. Ova pojava posebno je izražena na lijevom boku približno 1,5 km uzvodno od ušća u Krčić. Na osnovi iznesenog može se duž doline pretpostaviti pružanje neotektonski aktivnog rasjeda koji je vjerojatno predisponirao stvaranje doline. U geološkom odnosno stratigrafskom smislu nema posebnog značaja, jer je u dvije trećine pružanja (SJ) smješten u malmskim dolomitima (J_3). U krajnjem južnom dijelu došlo je duž ovog rasjeda do stratigrafskog skoka, budući da su u kontaktu vapnenci malma (J_3) s vapnencima dogera (J_2) odnosno lijasa (J_1). Može se pretpostaviti da je dolina Dulibe u geološkom smislu vrlo mlada, odnosno da je njen razvoj započeo u starijem kvartaru (pleistocen), jer su u bokovima nađeni pleistocenski brečokonglomerati. Pleistocenska starost ovih naslaga određena je na temelju ekvivalentnih naslaga u Kninskom polju (Grimani, 1966).

Prema geološkim podacima (slika 1c) poprečni rasjed 3 presjeca dolinu Dulibe bez horizontalnog pomaka jednog ili drugog rasjeda. Na temelju geomorfološke analize nema elemenata prema kojima bi se ovaj rasjed mogao kontinuirano produžiti preko doline. Isto tako geološki od-

nosi duž doline Duliba upućuju na zaključak da je uzdužni rasjed mlađi i neotektonski aktivan, no bez većeg horizontalnog pomaka koji bi mogao biti registriran na terenu.

ZAKLJUČAK

Na primjeru krškog terena površine 30 km², smještenom približno 14 km istočno od Knina, provedena je geomorfološka analiza reljefa. Na temelju geomorfoloških pokazatelja, pretpostavljeno je pružanje rasjeda koji u reljefu imaju morfološki odraz. U fazi terenskog obilaska veliki dio pretpostavljenih rasjeda je potvrđen, a ustanovljeni su i rasjedi koji morfoloži nisu odraženi. Na osnovi geomorfološke obrade, terenskog kartiranja kao i podataka prethodnih autora, na ovom dijelu terena su u dodiru tri veće geotektonske cjeline: Krčić, Podinarje i Dinara. Pri tom tektonska jedinica Podinarje predstavlja relativno spušten blok. To je utvrđeno geološkim i geomorfološkim kartiranjem.

Unutar jedinice Podinarje morfološki je značajna dolina Duliba uzduž koje se na više mjesta vide tragovi rasjedanja generalnog pružanja S—J. Osim toga, u bokovima doline registrirane su pojave pleistocenskih brečokonglomerata. Ove naslage su ujedno i jedini reperi prema kojima bi bilo moguće pretpostaviti relativnu starost rasjeda u neotektonskom smislu. Prema iznesenom može se zaključiti da je dolina Duliba razvijena u relativno spuštenom bloku u kojem su sačuvane dolomitne i vapnenjačke naslage malma kao i vapnenci donje krede. Razvoj doline je vjerojatno predisponiran postojanjem rasjeda i neotektonskih pokreta u njegovoj zoni. Pored tektonike značajnu ulogu su odigrali faktori intenzivne fluvijalne, a u vrijeme pleistocenskih oledbi i glacijalne erozije, jer je zapaženo i recentno odlaganje velikih količina krupnoklastičnog materijala u najnižvodnijem dijelu povremenog toka. Otvoreno je pitanje odnosa rasjeda 1 i 3 u smislu određivanja mlađeg ili starijeg u slijedu nastajanja. Prema geomorfološkim pokazateljima, kao i iznesenim geološkim podacima može se zaključiti da je rasjed uzduž doline Duliba presjekao poprečni rasjed 3, no horizontalni pomak nije posebno izražen, da bi ga na terenu bilo moguće registrirati. Na osnovu iznesenog može se zaključiti da metoda geomorfološke analize reljefa može poslužiti kao korisna nadopuna geološkim podacima kod istraživanja strukturno-tektonskih, a posebno neotektonskih odnosa u krškim terenima.

Primljeno: 15. 12. 1984.

LITERATURA

- Grimani, I., Šikić, K. i Šimunić, A. (1966): Osnovna geološka karta SFRJ, list Knin 1: 100.000, Savezni geološki zavod Beograd.
- Grimani, I., Juriša, M., Šikić, K., Šimunić, A. (1966): Tumač osnovne geološke karte SFRJ, list Knin, Savezni geološki zavod Beograd.
- Pavičić, A. (1983): HE Krčić — idejni projekt geološke podloge, Knjiga 3/2, Fond struč. dok., br. 246, Geološki zavod Zagreb.
- Pavičić, A., Fritz, F. (1984): Razvitak doline Krčić, Fond struč. dok., br. 315, Geološki zavod Zagreb.

Some Results of the Application of Geomorphological Analysis of the Relief in Karst Terrains

J. Kapelj

A part of the karst terrain, 30 km, of the aerial extent and situated about 14 km to the east from Knin, has been subjected to the geomorphological analysis of the relief. The geomorphological indicators implied the strike directions of faults which reflected in the relief morphology. Most of these supposed faults were confirmed by field investigations. Some other faults, not reflected in the terrain morphology, were also found out. On the basis of geomorphological data, terrain mapping and results of the previous authors, three larger geotectonical units are distinguishable in this part of the terrain: Krčić, Podinarje and Dinara. In this case, the unit Podinarje and is the relatively downthrown block. This was ascertained by morphological and geological methods.

Within the unit Podinarje, dolina Dulibe is morphologically significant feature. In several places along this dolina, the faulting of the strike direction north-south can be traced. There are also occurrences of Pleistocene breccio-conglomerates at the sides of Dulibe dolina. These sediments are at the same time the only marks to imply the relative age of faulting. On the basis of these elements, it is possible to conclude that this Dulibe dolina was developed in the relatively downthrown block, in which the dolomitic and calcareous deposits of the Malm, and Lower Cretaceous limestones are preserved. Development of this dolina is probably predisposed by younger fault-tectonics. Besides tectonics, the intensive fluvial erosion and glacial erosion at the time of Pleistocene ice ages, had the significant effect, too, since the recent deposition of the large amount of coarse-clastic material in the most downstream part of the periodical flow was noticed.