

RAZGLEDI

MERITVE ELEKTRIČNE UPORNOSTI KOT SREDSTVO ZA UGOTAVLJANJE LASTNOSTI GRADIVA NA DOLOMITNIH OBMOČJIH

AVTOR

dr. Blaž Komac

Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Gosposka ulica 13, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija
blaz.komac@zrc-sazu.si

UDK: 551.435:552.54(497.4)

COBISS: 1.01

IZVLEČEK

Meritve električne upornosti kot sredstvo za ugotavljanje lastnosti gradiva na dolomitnih območjih
V prispevku je opisana uporaba geoelektričnih meritev v geomorfologiji. S pomočjo te razmeroma nove metode smo analizirali gradivo v dnu dolcev na dolomitnem površju v Žibršah pri Logatcu. Opisani rezultati raziskav so v glavnem primerljivi z že objavljenimi. Nova pa je razlaga posrednega vpliva tektonskih struktur na oblikovanost površja oziroma dolcev.

KLJUČNE BESEDE

geomorfologija, geoelektrične meritve, električna upornost, dolomit, Slovenija

ABSTRACT

Electrical resistivity measurements as a tool for ascertaining material characteristics in dolomite areas
In the article the use of geoelectrical measurements in geomorphology is described. The material in the bottom of dells was analyzed near Žibrše at Logatec in SW Slovenia. The results are comparable to the ones already published elsewhere. But the influence of indirect tectonic structure on relief development has been confirmed.

KEY WORDS

geomorphology, electrical resistivity measurements, electrical conductivity, dolomite, Slovenia

Uredništvo je prispevek prejelo 5. junija 2006.

1 Uvod

Po Slovenski kraški terminologiji (1973, 5) je dolec oziroma dolek majhna reliefna oblika, »... *plitva, do nekaj metrov globoka odprta suha dolinica, navadno v smeri največje strmine na pobočju, pogosta zlasti na dolomitih in dolomitiziranih apnencih* ...«. Dolci imajo konkaven prečni prerez in strma pobočja in običajno potekajo v smeri največje strmine. Zgoraj se začnejo s plitvo vdolbino ter so ozki in plitvi, navzdol se širijo in poglobljajo. Ponekod so usmerjeni prečno na pobočje zaradi navezanosti na tektonske linije ali na ostanke starega drenažnega omrežja. So brez stalnega površinskega vodnega toka, zato jih Gams in Natek (1981) opredelita kot fluviokraško reliefno obliko. Pogosti so v povirjih in na robu planot (Goudie 2004), kjer se »... *navadno poglobljajo v pobočje nad izviri potokov* ...« (Gams in Natek 1981, 23), lahko pa se iztečejo v ravnini, preidejo v kraški dol ali vrtačo (Gams 2003; Komac 2003; Mihevc 1986).

Domnevamo, da je dolec recentna reliefna oblika, ki je rezultat prilagajanja dolomitnega površja spreminjajočim se razmeram. Med dejavniki, ki vplivajo na razvoj, je pomembno razmerje med površinskim in podzemnim odtokom oziroma način vodnega odtoka. Pomembno vlogo imata tudi intenzivnost in vrsta preperevanja, zato na oblikovanje dolcev vplivata tudi podnebje in relief okolice.

Za oblikovanje dolca je pomembna korozija, kot sekundarni geomorfni proces pa tudi denudacija. Korozija je zaradi debele plasti prepereline, večje količine vode in njenega daljšega zadrževanja intenzivnejša na dnu kotanj kot na pobočjih. Posledica je diferenciacija ali degradacija površja, ki vedno poteka v smeri poglobljanja in povečevanja reliefne oblike. Iz majhnih začetnih razlik sčasoma nastane večja vdolbina in nazadnje povezano omrežje dolcev, ki je navezano na rečje ali na podzemni kraški vodni odtok (Komac 2005).

Predpostavko, da je krajevno pospešena korozija eden od temeljnih procesov oblikovanja dolcev, je predstavil Gams (1968). Pospešena korozija je predvsem posledica stekanja vode in njenega zadrževanja v debeli preperelini in prsti v dnu dolcev. Na to možnost so pokazale tudi kasnejše raziskave (Komac 2003), zato smo predpostavko preverili z meritvami električne upornosti (Komac 2005).



Slika 1: Meritve električne upornosti v dolcu 6. 4. 2005. Avtomobil je oddaljen približno 100 m.

2 Pomen korozije za oblikovanje površja

Geomorfni procesi v dnu dolca so odvisni od intenzivnosti preperevanja in s tem posredno od vlažnosti. Spremembe podnebja na korozijo ne vplivajo bistveno, saj je bilo kemično preperevanje dolomita tudi v hladnih obdobjih zelo pomemben, če ne celo temeljni geomorfni proces, po intenzivnosti primerljiv z najnižjimi vrednostmi korozije apnenca v tropskem podnebjju (Dixon in Thorn 2005).

Na pomen korozije na dolomitnih območjih opozarjajo številne kotanje, zapolnjene z rdeče-rjavo ilovico, ki so zelo pogoste tudi na slemenih (Komac 2005). Večinoma je kemični sediment (Gregorič 1969), deloma pa je tektonskega izvora. Tektonska glina nastane iz dolomita s trenjem in drobljenjem kamnine vzdolž notranje prelomne cone. Kasneje lahko pod pritiskom ob tektonskem premikanju pride do iztiskanja vode, pri čemer iz rumenega goethita nastane rdeči hematit oziroma iz rumene ilovice rdeča ilovica (Zupan 1989). Ilovica je ponekod sprana v špranje in razpoke vzdolž prelomov, kar je eden od dokazov za podzemsko pretakanje vode (Lapanje 2000). Debelina prepereline v dnu dolcev je odvisna tudi od litološke sestave dolomita oziroma vsebnosti lapornatih sestavin.

Večina korozije v dnu dolcev poteka zaradi debelejšje prsti oziroma prepereline v primerjavi s pobočji, hitrega odtekanja vode s strmih pobočij, daljšega zadrževanja vode v preperelini v dnu dolcev ter večje pretrosti in večje specifične površine kamnine v dnu dolcev kot na pobočjih. Korozija je odvisna predvsem od količine in načina odtekanja vode. Prepustnost podlage je poglavitni dejavnik, ki usmerja proces. Kolikšen del vode bo prešel do kamnine in povzročil korozijo, je bolj odvisno od prepustnosti kot od debeline gradiva. Sediment je na stiku s preperelo dolomitno podlago dobro prepusten. Ilovica ne preprečuje korozije v dnu dolcev, saj voda doteka vzdolž stika prepereline in kamninske podlage po dnu dolca ter skozi luknjice in razpoke v ilovici.

Na dolomitnih območjih je debelina prepereline odvisna tudi od lege. V kotanjah, v dnu dolcev, vrtač in suhih dolin pogosto presega pol metra, na pobočjih in slemenih pa meri od 20 do 30 cm (Gabric 1994).

Preperevanje karbonatnih kamnin je zaradi konzervativnega okolja lažje opazovati v kraških jamah kot na površju. Preperevanje poteka zlasti s selektivnim raztapljanjem, pri čemer agresivna voda odnaša ione raztopljene kamnine. Zato so v globino najbolj preperle stene jamskih rogov, ki jih zamaka prenicajoča ali mezeča voda, pa tudi stene, ki so v stiku z drobnozrnatimi naplavinami nekarbonatnega izvora in jih vlaži korozivna kondenzna voda. Način preperevanja je odvisen od litoloških razlik v kamnini in zlasti od strukture kamnine. Debele preperle cone ostanejo na stenah jamskih rogov, če nimajo stika s hitro tekočo vodo in če so zasičene s sigo ali z drobnozrnatimi jamskimi sedimenti (Zupan Hajna 2003).

Omenjena zakonitost ni splošno veljavna, saj je ilovica lahko tudi neprepustna za vodo. Na stenah Brezstope jame pri Povirju, ki je bila zapolnjena s sedimenti, so na primer ohranjene fasete. To je dokaz, da korozija apnenčaste stene daljši čas ni preoblikovala, četudi je bila blizu površja in v stiku s sedimenti (Mihevc 1996, 69).

Preglednica 2: Vrsta kamnine in globina preperle cone v nekaterih kraških jamah (Zupan Hajna 2003).

	kamnina	izmerjena globina preperle cone
Remergrund II	apnenec, dolomit	do 0,5 cm
Velika ledenica v Paradani	apnenec, dolomit	do 3 cm
Spodmol na Ždroclah	apnenec, dolomit	do 4 cm
Turkova jama	dolomit	do 4 cm
Renejevo brezno	dolomit	do 5 cm

3 Hipoteza o nastanku dolcev

Sklepamo, da so bili dolci najprej plitve vdolbine na površju, v katere se je sedimentirala rdeče-rjava ilovica. Vdolbina je nastala bodisi zaradi pretrtosti in s tem manjše odpornosti kamnine na korozijo ali pa zaradi spiranja delcev v nižje lege. V sedimentu je zastajala voda, kar je korozijo še krajevno pospešilo. Dovolj velika vdolbina je nato pritegnila površinsko in preperelinsko vodo iz okolice. To je na površju povzročilo denudacijo, vzdolž kamninsko-preperelinskega stika penikajoča voda pa je kamnino nadalje korodirala.

Debelina korozijskega ostanka korozije ni omejevala, saj korozija ni odvisna od transporta ali odnašanja sedimenta; temeljni omejitveni dejavnik je namreč prepustnost kamninske podlage in sedimentov. Dolomit je prepusten na robovih dna dolcev, kjer je razpokan, vzdolž prelomov pa je pretrt in neprepusten. Preperelina je prepustna blizu stika s kamnino, zato lahko tja doteka korozijsko aktivna voda s pobočij.

V vdolbini je nastala tudi prst, ki je s povečano produkcijo CO₂ prav tako pospešila korozijo. Korozija je lahko ponekod tudi za stokrat hitrejša kot v okolici (Habič 1981). Korozija, ki je tako intenzivna kot v Žibršah (Habič 1968; Komac 2005), bi površje v kvartarju teoretično znižala za več deset metrov, v holocenu pa najmanj za nekaj decimetrov. Proces bi torej površje v dnu dolcev lahko znižal za nekaj metrov.

Na podobne mehanizme razvoja kraškega površja v velikem merilu v tercijarju sklepa Šifrer (1997). Nastanek vzpetin in vmesnih podolij naj bi bil posledica zniževanja površja zaradi korozije. Pri tem naj bi zaradi majhnih začetnih razlik sčasoma prišlo do diferenciacije prej uravnanege reliefa: »... *Posamezni deli so v zniževanju zaostajali in se čedalje izraziteje dvigali iznad na široko uravnjenega površja ... velja to še posebej za Slavnik (1.028 m) in Vremščico (1.026 m), ... pa za Blegoš (1.562 m), Krim (1.107 m), Kum (1.219 m), Bohor (1.044 m), Orlico (698 m), Trdinov vrh (1.107 m), pa tudi za najvišje vrhove Vzhodnih Karavank s Paškim Kozjakom (1.272 m), Konjiško goro (1.012 m) in Bočem (979 m) ...*« Zaradi podnebne spremembe na koncu tercijarja pa naj bi »... *zaradi ustrezne izsušitve obsežnih delov ravninskega sveta ter s tem povezanega zastoja v pospešenem zniževanju ter uravnavanju površja obsežni deli ravninskega sveta postali fosilni ...*«.

4 Metoda

Opisane domneve smo preverili z meritvami električne upornosti v dnu in na pobočjih dolcev. Merili smo v Žibršah pri Logatcu ob različnih vodnih razmerah 6. in 15. aprila 2005. Metoda temelji na dejstvu, da ima suho gradivo večjo upornost, vlažno gradivo pa manjšo. Meritve smo izvajali z napravo *EarthImager*, ki jo sestavljajo upravljalna enota in trije kabli s po dvajsetimi merilnimi sondami. Električno upornost merimo tako, da merilne sonde položimo na kovinske stebričke, zabite v podlago na največ vsakih 6 m. Naprava omogoča enkratne ali zaporedne meritve vzdolžnih in prečnih prereзов. Naprava meri električni tok (*I*) v oddajni elektrodi in v sprejemnih elektrodah ter potencialno razliko (*V*) med dvema sprejemnima elektrodama. Meritev poteka tako, da naprava skozi eno od merilnih sond pošlje električni signal, ki ga druge bolj ali manj pridušenega zaznajo. Ker se postopek ponavlja, dokler signala ne oddajo vse sonde, traja posamezna meritev od 15 do 20 minut. Uporabili smo tri metode, in sicer dipol-dipol metodo, Schlumbergerjevo metodo in Wennerjevo metodo. Kot najprimernejša se je izkazala Schlumbergerjeva metoda, Wennerjeva metoda je manj primerna zaradi prevelikega zaokroževanja podatkov, metoda dipol-dipol pa zaradi njihovega premajhnega zaokroževanja (EarthImager 2003; Verbič in Gabrovec 2002).

Geoelektrične meritve so za analizo z vodo prepojenih sedimentov primernejše od georadarskih. Vlažni ilovica in glina, ki sta pogosti v dnu dolcev, dušita radarski signal, kar omejuje meritve. Toda meritve z georadarjem lepše kot geoelektrične meritve pokažejo meje med različnimi sedimenti (Živanović 2003).



BLAŽ KOMAC

Slika 2: Meritev električne upornosti prečnega prereza dolca v Žibršah 6. 4. 2005.

Preglednica 3: Značilne vrednosti električne upornosti.

podatki iz literature (AGI 2005; Electrical methods 2005; Duras ostali 2006)

podatki, pridobljeni z geoelektričnimi meritvami dolomitnega površja v Žibršah (Komac 2005)

snov ali gradivo	električna upornost (Ωm)	snov ali gradivo	električna upornost (Ωm)
morska voda	0,25	rdeče-rjava ilovica	0–200
voda	1–10	močno pretrt dolomit	200–1000
ilovica	1–100	pretrt ali močno razpokan dolomit	1000–2500
glinavec	1–500	razpokan dolomit	2500–3000
moker do vlažen pesek, prst, preperelina	20–200	trden, nerazpokan dolomit	nad 3000
porozen apnenec, pretrta kamnina, prelomna cona	100–1000		
peščenjak	50–10.000		
nepretrt apnenec	1000–1.000.000		
metamorfne kamnine	50–1.000.000		
vulkanske kamnine	100–1.000.000		
kraška jama, zrak	nad 3000		

S pomočjo grafičnega prikaza upornosti, izdelanega na podlagi meritev, ugotavljamo razporeditev električne upornosti v gradivu. Iz ugotovljenih razlik lahko sklepamo na vrsto prepereline oziroma na sestavo podlage. Naprava je primerna za iskanje kraških jam, ugotavljanje gladine talne vode, kamninske sestave ter za iskanje zakopanih cevi, rude (EarthImager 2003). Podatke smo umerili z meritvijo globine rdeče-rjave ilovice v vrtni v dnu dolca in meritvijo gole dolomitne površine.

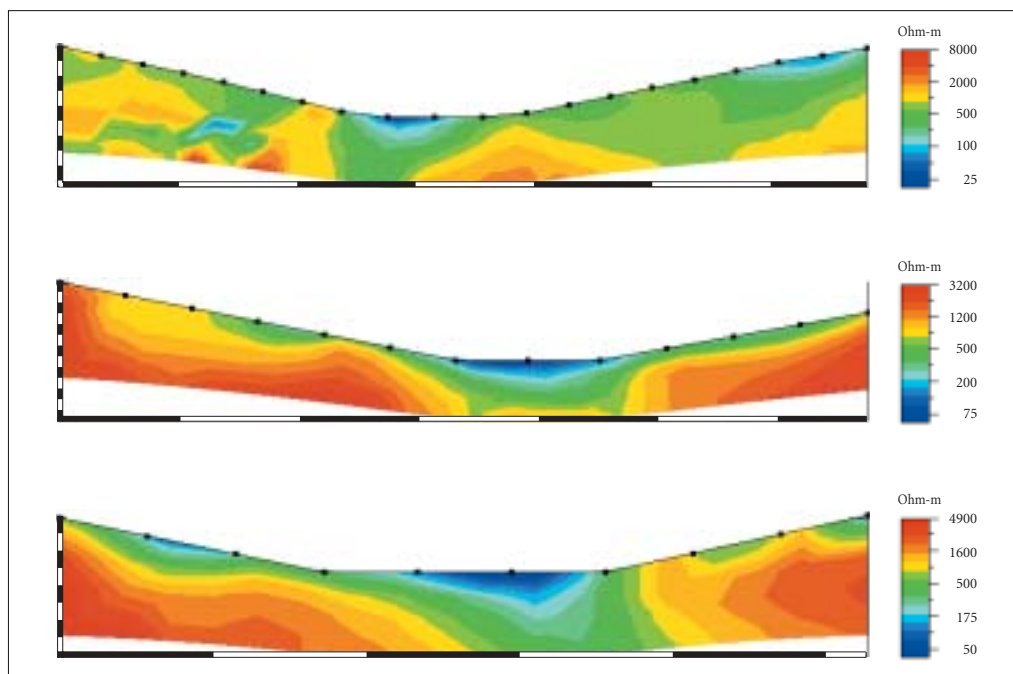
5 Meritve

V dolcu, ki ga prikazuje slika 1, smo 6. aprila 2005 naredili tri prečne prereze: prvega na 56., drugega na 76. in tretjega na 144. dolžinskem metru dolca.

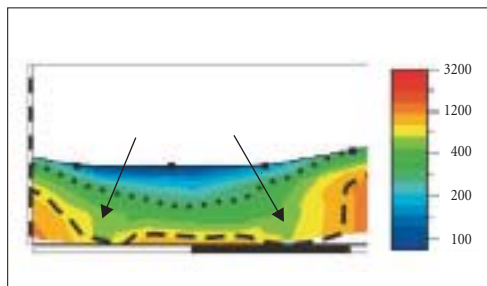
V dnu dolca je 2,5 m rdeče-rjave ilovice, ki jo prekriva plitva prst. Pobočja dolcev prekriva plitva prst. Gabrovec (1990) je v travnatem dnu dolca v Polhograjskem hribovju izmeril debelino prsti od 33 do 41 cm, na travnatem pobočju 20 cm in na gozdnem pobočju od 15 do 21 cm. Na gozdnati pobočni polici je bila prst debela 41 cm. Med naklonom površja in debelino prsti obstaja negativna linearna zveza.

Dno dolca, ki je zapolnjeno z ilovico, je zgoraj ožje kot spodaj, kar je posledica manjše pretrnosti kamnine oziroma slabše izraženosti preloma na površini. Zaradi večje izraženosti preloma v nižjih legah je povečana specifična površina koroziji izpostavljenih kamninskih delcev, večji pa je tudi pretok vode skozi preperelino (Komac 2003b). Potek preloma dokazuje poševen potek izolinij električne upornosti v prečnem prerezu (slika 3).

Posredni dokaz za stekanje korozivne vode po preperelini vzdolž stika prepereline in kamnine sta tudi poglobitvi oziroma zajedi na stiku skalnega dna dolcev z njihovimi pobočji, kar prikazuje slika 4.



Slika 3: Zaporedni prečni prerezi dna dolca, izmerjeni 6. 4. 2005 ob suhem stanju s Schlumbergerjevo metodo. Navpično merilo meri 1 m in vodoravno 5 m.



Slika 4: Korozijska zajeda oziroma močnejša preperelost kamnine ob straneh dolca je vidna v suhih razmerah s Schlumbergerjevo metodo. Navpično merilo meri 1 m, vodoravno 5 m, električna upornost je v Ωm .

Poglobljeno skalno dno na robovih skalnega dna dolca je najverjetneje posledica pospešene korozije zaradi združevanja tokov korozivno aktivne vode s pobočij ter vodnih tokov, ki tečejo vzdolž stika prepereline in matične osnove po dnu dolca. V prsti in v preperelini se ustvarjajo bolj in manj prepustna območja – voda lahko nekje v globino odteka v curku, drugje pa le pronica skozi sediment (Gams 1963b; Gams 1968).

Na podlagi meritev električne upornosti smo ugotovili, da je rdeče-rjave ilovica v dnu dolca od 2 do 2,5 m globoko. Ugotovitev smo potrdili z vrтанjem. S primerjavo meritev električne prevodnosti v dnu dolca z meritvami v kamnolomu smo ugotovili, da je meja med pretrto in razpokano kamnino pri vrednosti približno 1000 Ωm . Kamnina je bila v dnu dolca pretrta oziroma močno razpokana do globine od 1 do 5 m. Preperela ali razpokana kamnina z električno upornostjo približno 2500 Ωm je povprečno od 3 do 7 m globoko, v dnu dolca pa sega tudi v globino 12 m in več (prim. AGI 2005). To je še en posredni dokaz za potek preloma po dnu dolca oziroma za dejstvo, da je dolec nastal vzdolž preloma. Trdna in nerazpokana skalna podlaga v prerezih povečini ni vidna.

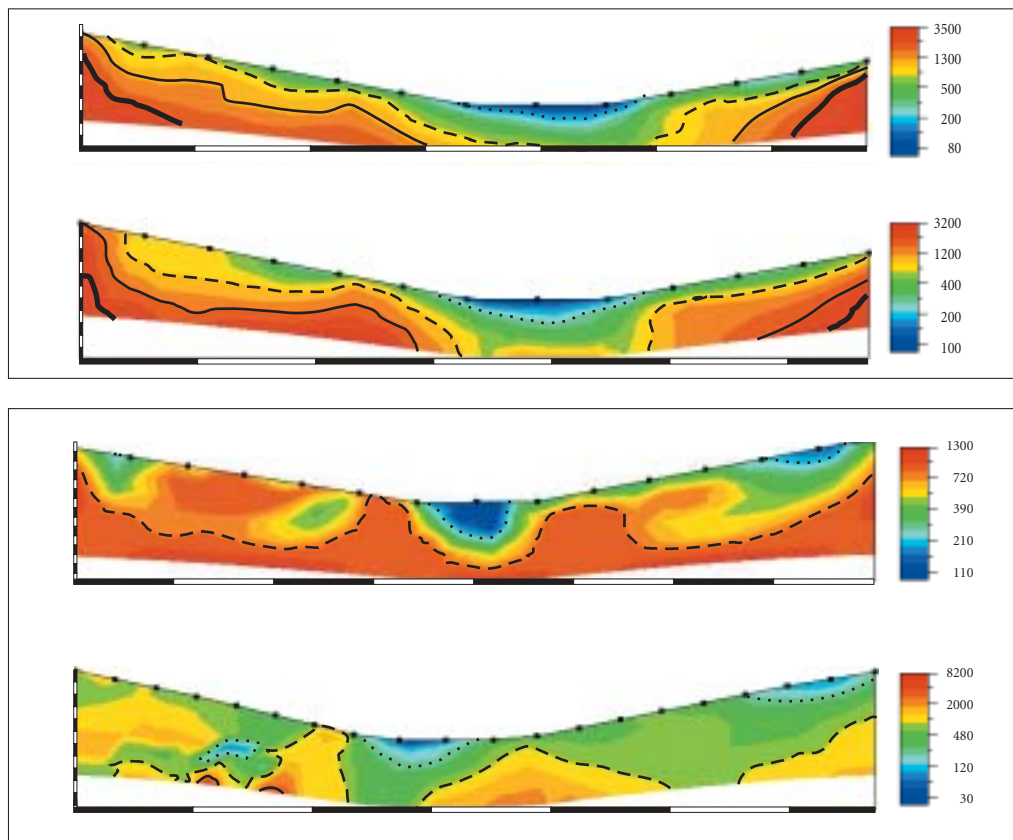
V prerezu (slika 3) je bila v vlažnih razmerah (slika 5 zgoraj, 15. 4. 2005) električna upornost nizka tudi v globini več metrov (največ 1485 Ωm). Nizka električna upornost v veliki globini kaže na prepojenost za vodo, kar je bližje površju dokaz za preperelost in pretrtost kamnine. Slednja se vzdolž prelomne ploskve v vseh smereh lahko zelo spreminja (Čar 2001). V suhih razmerah (slika 5 spodaj, 6. 4. 2005) je bila najvišja izmerjena električna upornost dvakrat višja od meritev v vlažnih razmerah (največ 3180 Ωm).

V prerezu (slika 3) je bila električna upornost v vlažnih razmerah zelo visoka (najvišja vrednost je nad 8000 Ωm). Tudi ta prerez sem izmeril še enkrat po obilnih padavinah 15. 4. 2005, ko je bila najvišja električna upornost nižja od 1300 Ωm .

Električna upornost oziroma vlažnost v razpokani in pretrti kamnini se močno spreminja. Na podlagi razlik med najnižjimi in najvišjimi vrednostmi v suhih oziroma vlažnih razmerah lahko sklepamo na stopnjo razpokanosti ali pretrtosti posameznih delov kamnine. V dnu dolca, kjer prevladuje ilovica, pa so spremembe električne upornosti neznatne. Njena vlažnost ostane tudi po daljšem sušnem obdobju nespremenjena.

Prečni prerez (slika 7 zgoraj) je usmerjen od jugozahoda (levo) proti severovzhodu (desno). Na severnem pobočju je preperelina debelejša kot na južnem. Tudi to je dokaz za krajevno pospešeno korozijo, ki je posledica daljšega zadrževanja vlage v prsti. Na sušnem pobočju, obrnjenem proti jugu, je kamninska osnova dosti bližje površju (3 m). Na desni strani dna je gradivo bolj prevodno oziroma glinasto kot na levi. To povezujemo z večjo strmino severnega pobočja, od koder površinska voda spira gradivo v dno dolca. Poleg tega je severno pobočje (desno) porašča travnik v zaraščanju, na južnem pobočju (levo) pa je gozd.

Korozija je najintenzivnejša v dnu dolca, kljub temu, da je retencijska kapaciteta prsti v dnu dolca praviloma manjša kot na pobočjih (Gabrovec 1994). Večja korozivnost je posledica stekanja vode v dno dolca in daljšega časa zadrževanja vode v preperelini v dnu dolca, pogosto pa tudi večje pretrtosti kamnine. Iz slike 5 je razvidno, da se z osuševanjem električna upornost ilovice bistveno ne poveča.

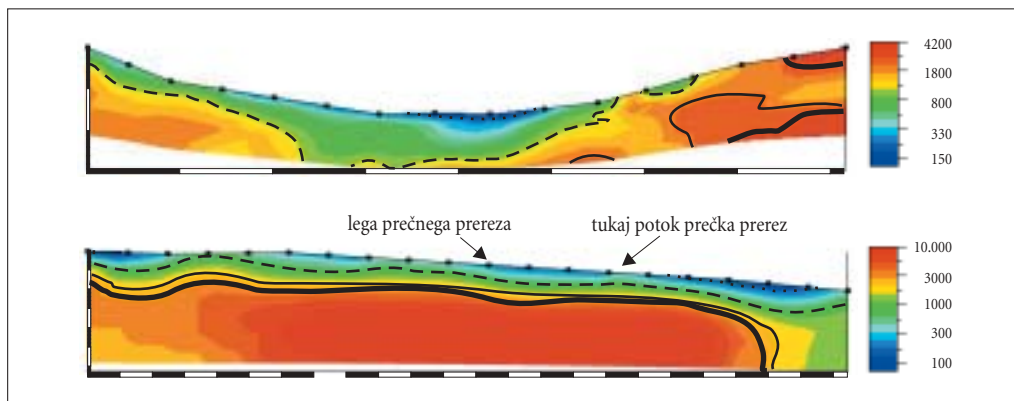


Sliki 5 in 6: Prečna prereza (glej zgornji in spodnji prerez na sliki 3) ob vlažnem stanju (sliki 5 in 6 zgoraj, 15. 4. 2005) in ob suhem stanju (sliki 5 in 6 spodaj, 6. 4. 2005). Uporabljena je bila Schlumbergerjeva metoda. Pikasta črna črta označuje mejo med rdeče-rjavo ilovico in preperelo kamnino, črtkana črta mejo med preperelo kamnino in močno razpokano kamnino, polna črta mejo med razpokano in močno razpokano kamnino, debela polna črta pa mejo med razpokano in nerazpokano kamnino. Navpično merilo meri 1 m, vodoravno 5 m, električna upornost je v Ωm .

To pomeni, da se vlaga v ilovici zadržuje razmeroma dolgo v primerjavi s preperelo in z razpokano kamnino. V dolcih v Žibršah je preperela in razpokana kamnina po padavinah prepojena z vodo do globine osem metrov in več. Razmere so najbolj spremenljive v zgornjem delu dolca, kjer je kamnina bolj preperela. Tam električna prevodnost v najglobljem delu po padavinah upade za osemkrat, od približno $8000 \Omega m$ na približno $1000 \Omega m$.

Prepustnost ilovice niti ni tako zelo pomembna za korozijsko delovanje vode v dnu dolca, saj je korozijsko aktivna tudi voda, ki v dno dolca doteka po pobočjih. Na veliko korozijsko kapaciteto prenikajoče vode kažejo številna območja preperele kamnine, ki so lahko zapolnjena z ilovico, ter se pojavljajo v obliki kotanj in žepov na pobočjih (globine do 1,5 m), v jamah (na primer v globini 3,5 m in premera 1 m) in tudi na slemenu Žibrš (pri kmetiji Tumle). Do 3 m debeli ilovnati žepi so tudi na pobočjih dolcev. Ilovica je bila v podzemske lege lahko sprana s površja, deloma pa je tektonskega izvora (prim. Zogovič 1966; Zupan 1989).

Na pobočjih dolcev so pogoste grbine. To so trdnejši deli kamnine, ki so odpornejši na korozijo. Iz njih lahko sčasoma nastanejo osamelci ali grbinasto površje (Puc 1985; Komac 2003; Komac in Gabrovcec 2003).



Slika 7: Vzdolžni prerez dolca, ki poteka vzdolž manj odpornih lapornatih plasti (spodaj) in prečni prerez čez isti dolec (zgoraj). Pikasta črna črta označuje predpostavljeno mejo med rdeče-rjavo ilovico in preperelo kamnino, ki je sredi dolca približno 2,5 m globoko. Debelino ilovice sem ugotovil z vrтанjem. Črtkasta črta označuje predpostavljeno mejo med preperelo kamnino in močno razpokano kamnino. Polna črta označuje predpostavljeno mejo med razpokano in močno razpokano kamnino, debela polna črta pa predpostavljeno mejo med razpokano in nerazpokano kamnino, ugotovljeno z merjenjem elektroprevodnosti trdne kamnine. Z rdečno je obarvan kamninski blok v zaledju izvira. Navpični in vodoravni merili merita 5 m, elektroprevodnost je v Ωm .

6 Sklep

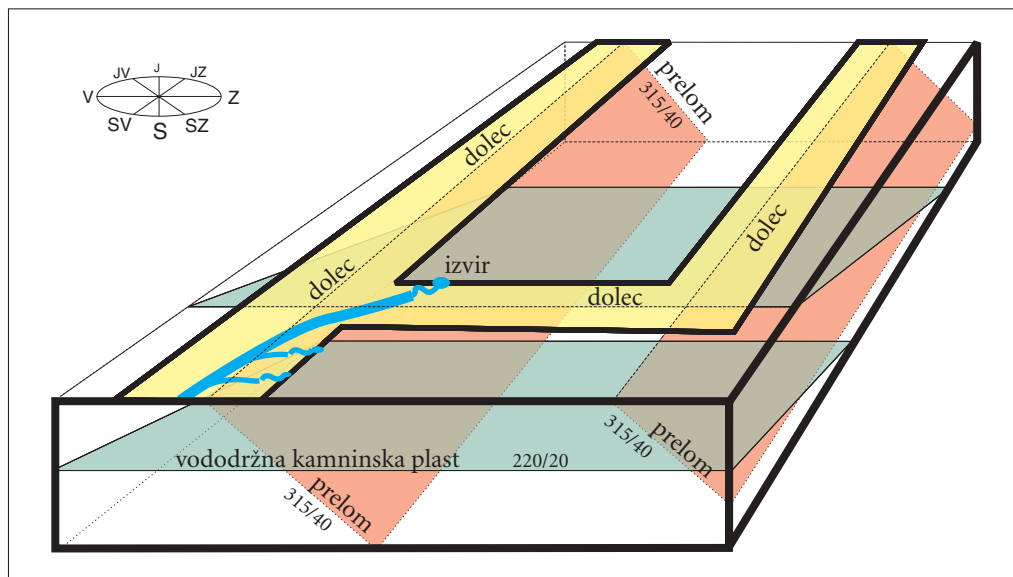
Analiza rezultatov meritev električne upornosti v dnu dolcev je potrdila hipotezo o pomenu korozije kot enem od temeljnih reliefotvornih procesov na dolomitnem površju.

Ugotovili smo, da voda po padavinah prepoji razpokan in pretrto dolomitno več metrov globoko. V odvisnosti od granulacijske sestave gradiva se voda v njem zadržuje različno dolgo. Najdlje se zadržuje v ilovici, ki je pogosta v dnu dolcev ali drugih manjših kotanj na pobočjih, pa tudi na slemenih.

Ob prepustni podlagi in krajevno pospešeni koroziji prevlada razčlenjevanje ali divergenca površja, ki sčasoma privede do poglobljanja dolcev oziroma povečevanja višinskih razlik. Dolci, ki imajo manjše zaledje ali pa njihovo dno ni pretrto, lahko sčasoma zastanejo v razvoju in obvisijo. Divergenca v razvoju površja je skupaj z veliko odvisnostjo razvoja površja od korozije eden od znakov nelinearnega ali kaotičnega razvoja geomorfne sistema (Phillips 1995), ki ga izravnavajo drugi procesi, kot je denudacija (Komac 2005).

Dolci na videz le skromno prispevajo h geomorfemu preoblikovanju površja. So rezultat začetnega razčlenjevanja površja. Čeprav je korozija razmeroma počasen proces, pa je njen dolgotrajni učinek razmeroma velik (Mihevc 2001). Proces pospešuje hiter dotok korozivne vode v preperelo ali pretrto kamnino po obilnih padavinah. Nedvoumen znak tega procesa so pogosti šibki kraški izviri na spodnjem delu mnogih dolcev (Gams 1968; Komac 2005). Dolci so tudi po mnenju Kaeublerja (1937) »... majhne akumulacijske doline recentnega izvira, pri oblikovanju katerih površinska erozija nima praktično nobene vloge...«.

Kartiranje (Komac 2003b, 15) in geoelektrične raziskave površja v Žibršah dokazujejo, da so nekateri dolci (na sliki 8 označeni z rumeno) usmerjeni vzdolž prelomov (rdeče), kjer je kamnina pretrta in manj odporna. Drugi dolci so usmerjeni vzdolž manj odpornih lapornatih plasti (zeleno), ki vpadajo v pobočje. Ker prelomi potekajo prečno na kamninsko sestavo, dolci razčlenjujejo površje v obliki mreže. Zaradi zaježitve ob klinastem stiku neprepustne tektonizirane kamnine in prav tako neprepustnih lapornatih kamninskih plasti je nastal stalen izvir.



Slika 8: Geološko-strukturalna podoba območja z dolci in lega izvira v Dolinah v Žirbšah.

7 Viri in literatura

- AGI 2005: Electrical resistivity side scanning using the supersting AGI resistivity meter.
- Badjura, R. 1953: Ljudska geografija, terensko izrazoslovje. Ljubljana.
- Čar, J. 2001: Structural bases for shaping of dolines. Acta carsologica 30-2. Ljubljana.
- Dixon, J. C., Thorn, C. E. 2005: Chemical weathering and landscape development in mid-latitude alpine environments. Geomorphology 67. Amsterdam.
- Duras, R., Hradecký, J., Pánek, T., Dušek, R. 2005: Využití geofyzikálních metod při analýze georeliéfu horských oblastí. Geografický časopis 57-3. Bratislava.
- EarthImager. 2003: 2D Resistivity and IP Inversion Software Instruction Manual, Različica 1.2.0, Advanced Geosciences Inc. Austin.
- Electrical methods 2005. Medmrežje: <http://www.cflhd.gov/agm/geoApplications/SurfaceMethods/93ElectricalMethods.htm> (8. 4. 2005).
- Gabrovec, M. 1990: Pomen reliefa za geografsko podobo Polhograjskega hribovja. Geografski zbornik 30. Ljubljana.
- Gabrovec, M. 1994: Relief in raba tal na dolomitnih območjih Slovenije. Doktorska disertacija, Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Gams, I. 1963b: Velo polje in problemi pospešene korozije. Geografski vestnik 35. Ljubljana.
- Gams, I. 1968: Geomorfološko kartiranje na primeru Rakitne in Glinic. Geografski vestnik 40. Ljubljana.
- Gams, I. 2003: Kras v Sloveniji v prostoru in času. Ljubljana.
- Gams, I., Natek, K. 1981: Geomorfološki zemljevid 1 : 100.000 in razvoj reliefa v Litijski kotlini. Geografski zbornik 21. Ljubljana.
- Goudie, A. S. 2004: Encyclopedia of Geomorphology. London.
- Gregorič, V. 1969: Nastanek tal na triadnih dolomitih. Geologija 12. Ljubljana.
- Habič, P. 1968: Kraški svet med Idrijco in Vipavo, prispevek k poznavanju razvoja kraškega reliefa. Dela Inštituta za geografijo 21. Ljubljana.

- Habič, P. 1981: Nekateri značilnosti kopastega krasa v Sloveniji. *Acta Carsologica* 9. Ljubljana.
- Kaebler, R. 1937: Die Tilke als junge Form des Kulturlandes. *Geog. Anz.* 38-16. Gotha.
- Komac, B. 2003a: Geomorfne oblike in procesi na dolomitu. Magistrsko delo, Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Komac, B. 2003b: Dolomitni relief na območju Žibrš. *Geografski zbornik* 43-2. Ljubljana.
- Komac, B. 2005: Dolec kot značilna reliefna oblika na dolomitnem površju. Doktorsko delo, Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Komac, B., Gabrovec, M. 2003: Some characteristics of dolomite relief in Slovenia. *Geografický časopis* 56-3. Bratislava.
- Lapanje, A. 2000: Hidrogeologija dolomitnega vodonosnika Mirne gore na severozahodu Bele Krajine. Magistrsko delo, Oddelek za geologijo Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Mihevc, A. 1986: Geomorfološka karta ozemlja Logaških Rovt. *Acta carsologica* 14-15. Ljubljana.
- Mihevc, A. 1996: Brezstropa jama pri Povirju. *Naše jame* 38. Ljubljana.
- Mihevc, A. 2001: Speleogeneza Divaškega krasa. Ljubljana.
- Penck, W. 1972: Morphological analysis of land forms. A contribution to physical geology. New York.
- Phillips, J. 1995a: Nonlinear dynamics and the evolution of relief. *Geomorphology* 14. Amsterdam.
- Puc, M. 1985. Babe in dedci. *Proteus* 47-5. Ljubljana.
- Slovenska kraška terminologija. Ljubljana, 1973.
- Šifrer, M. 1997: Površje v Sloveniji. Elaborat, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Ljubljana.
- Verbič, T., Gabrovec, M. 2002: Georadarske meritve na Triglavskem ledeniku. *Geografski vestnik* 74-1. Ljubljana.
- Zogović, D. 1966: Hidrogeološka uloga dolomita u dinarskom karstu. *Vesnik, inženjerska geologija i hidrogeologija* 6. Beograd.
- Zupan Hajna, N. 2003: Incomplete solution – weathering of cave walls and the production, transport and deposition of carbonate fines. *Postojna*.
- Zupan, N. 1989: Mineralogija tektonske gline v Pivki jami. *Acta carsologica* 18. Ljubljana.
- Živanovič, M. 2003: Primeri uporabe georadarskih raziskav v različnih kamninah. *Geološki zbornik* 17. Ljubljana.

8 Summary: Electrical resistivity measurements as a tool for ascertaining material characteristics in dolomite areas

(translated by the author)

The use of geophysical measurements in geomorphology has increased recently. They are useful for exploration of sediments and the understanding of relief development. The measurements of electrical resistivity are one of the most common as they enable the researcher to define the nature, structure and stratigraphy of the material.

The method is based on the fact that the materials differ according to the electrical resistivity. Its value may change considerably with changes in water content (drying, moistening) and with fracturedness. The best results are obtained when measurements are made in dry conditions, but the results shall be compared to the known or absolute values. In other case the measurements of known materials should be done before other measurements. The method is relatively fast and non-destructive, we can obtain linear data in the length of few hundred metres and the depth of few tenths of metres. The method can be used for determination of scree depth, investigation of permafrost, permeability of material and also determination of differences in carbonate rocks, such as limestone and dolomite.

The article describes the measurements of electrical resistivity that have been done in the Žibrše region near Logatec, SW of Ljubljana. The hilly region is built of fractured Triassic dolomite. The hills

are incised by dells (shallow linear depressions), formed mostly by corrosion and weak surface water flow. The electrical resistivity was measured in the cross-sections and long-sections of the dells.

It was found that the resistivity changes considerably (1 : 6) according to the moisture of the fractured rock and its fracturedness along the faults. Surprisingly, the changes of rock moisture reach the depth of about 15 metres, although dolomite is not so much karstified as limestone.

The measurements in dry conditions enabled us to prove the course of faults in the bottom of the dells. The movements along the faults make the dolomite rock disintegrate to sand, making it more prone to water penetration, corrosion and denudation. Due to fast corrosion there is about 2.5 m of water-saturated red-brown clay in the bottom of the dells.

The measurements of the electrical resistivity, together with the measurements of the spring water hardness, enabled us to confirm the significance of incision or divergence processes in today's Middle European geomorphic conditions.