

# RAZVOJ REČNEGA RELIEFA V SOTELSKO-SAVINJSKI POKRAJINI

Igor Bahar\*



## Povzetek

V prvem članku Geološke osnove reliefa je avtor predstavil novejša odkritja s področja kamninske sestave in tektonskih procesov, ki oblikujejo Sotelsko-Savinjsko pokrajino. V tem delu pa se bomo posvetili nastanku kopnega površja in oblikovanju rečne mreže. Rečna mreža je v tem delu Slovenije najprej nastala na akumulacijski ravnici, nato pa se je z dvigovanjem površja epigenetsko vrezala v lastne sedimente in nato v starejše kamnine. Pri obravnavi posameznih dejavnikov ovrednotimo vlogo selektivne in zadenjske erozije, razložimo nastanek ujetih meandrov, prebojnih dolin in pretočitev potokov. Na primeru Rudniške in deloma Trojanske antiklinale opišemo proces nastanka antiklinalnih dolin, ki se bočno širijo v sinklinalne doline, ter mehanizmov ki to omogočajo. Na primeru Virštanjskega potoka opišemo proces spreminjanja prvotnega epigenetskega rečnega omrežja v novejše konsekventno rečno omrežje, ki bolj ustreza sedanjim geološkim strukturam in kamninski sestavi. V sklepu je opisan razvoj rečnega reliefa od nastanka kopnega konec miocena ali na začetku pliocena do danes s predvidevanjem prihodnjega razvoja.

**Ključne besede:** rečni relief, akumulacija, selektivna erozija, epigenetsko in konsekventno rečno omrežje, pediplen, bočno širjenje dolin, pretočitve rek in potokov.

DEVELOPMENT OF THE FLUVIAL RELIEF IN THE SOTLA-SAVINJA LANDSCAPE

## Abstract

In the first article called 'The geological bases of the fluvial relief' the author presented the latest discoveries in the field of lithographical structure and tectonic processes that shaped the Sotla-Savinja landscape. In this article we will focus on the emergence of the land surface and the creation of the river network. The river network in this part of Slovenia was first created on the accumulation plain, and was later epigenetically carved into its own sediments, and even later into the older rocks, through the uplifting of the surface. When considering individual factors, I evaluated the role of selective and backward erosion, and explained the formation of trapped meanders, through valleys and decant streams. On the example of Rudniška and partly Trojanska anticline I described the process of formation of anticlinal valleys that extends laterally in syncline valleys and the mechanisms that make this possible. On the example of Virštanj stream, I described the process of change of the initial epigenetic river network into the recent consequent river network, which is more

\* Igor Bahar poučuje geografijo na II. osnovni šoli v Rogaški Slatini.  
igor.bahar@guest.arnes.si

*representative of the current geological structures and lithographical structure. In conclusion I described the development of the fluvial relief from the occurrence of land at the end of Miocene or early Pliocene until today with an anticipation of future development.*

**Keywords:** *fluvial relief, the accumulation, selective erosion, epigenetic and consequent river network, pediplain, lateral spreading of valleys, decant rivers and streams.*

## Nastanek prvotnega kopnega površja in oblikovanje prvotnega rečnega omrežja

Gams (1981, 35) navaja kar nekaj starejše literature, v kateri so zapisana mnenja o razvoju reliefa in nastanku sedanje rečne mreže. Večinoma so avtorji razlagali preteklo rečno mrežo s sinklinalnimi rekami, ki so bile kasneje pretočene v eni ali drugi smeri, čeprav je že Meze (1963, 104) priznal, da nikjer vzhodno od Celja ni našel pliocenskega proda Savinje. Za vse takšne razlage tudi novejša odkritja niso našla pritrdilnih dokazov (npr. Buser, 1979). Kljub temu bomo poskušali predstaviti prav to razlago in njene slabosti.

Današnje antiklinale in tonjenje geoloških struktur proti vzhodu, pa tudi skladno potekajoča slemenitev hribovij dajejo občutek, da so se morali iz morja najprej dvigniti nekakšni otoki in polotoki na zahodu, ki so segali daleč na vzhod v Panonsko morje. Medtem je morje po sinklinalah segalo še globoko v alpske pokrajine, na primer v današnjo Ljubljansko kotlino in v Bohinj, kjer imamo ohranjene morske sedimente in fosile iz istega obdobja. Najmlajše sedimentne kamnine, ki so nastale že v brakičnem morju, so sarmatijske in panonijske starosti. Danes jih najdemo le v jedrih sinklinal. Nazadnje naj bi se morje po sinklinalah umaknilo na vzhod proti Hrvaškemu Zagorju, kjer prevladujejo sladkovodni pliocenski sedimenti. Težava pri takšni razlagi nastanka površja je v tem, da danes nimamo na obravnavanem ozemlju nobenih sinklinalnih rek, ki bi tekle v tej smeri, ali njihovih sedimentov, ki bi dokazovali takšen nekdanji tok. Imamo le Šmarski, Zibiški, Golobinjski potok ter spodnjo Bistico pod Trebčami, ki pa so stranski pritoki glavnih pritokov, to je pritoki drugega reda, in ne kakšne glavne reke odvodnice. Tudi Voglajna, ki je od Nove vasi pri Šentjurju prav tako sinklinalna reka, teče v nasprotni smeri, kot naj bi tekla prvotna reka. Če bi se morje resnično umikalo po sinklinalah, bi se vanje izlivali tudi vsi pritoki iz antiklinal in bi glavne reke tekle proti vzhodu ali severovzhodu, kar pa ne drži. Če bi bile antiklinale otoki ali polotoki, bi pritoki sinklinalnih rek potekali od jedra antiklinal v dno sinklinal. Na našem območju pa potoki praviloma prečno prerežejo antiklinale in sinklinale, kot da jih tam sploh ne bi bilo (po Davisu insekventno rečno omrežje). Nobena reka ne more prerezati otoka ali polotoka od enega zaliva do drugega, še posebno če je jedro hriba iz erozijsko odpornih kamnin.

Takšna razlaga nastanka prvotnega kopnega reliefa je gotovo napačna. Paratetida je že v sarmatiju in panoniju (v mlajšem miocenu) začela razpadati na ločene brakične akumulacijske bazene, v katere so se zlivale večje reke. Smeri toka večjih alpskih rek nam kažejo v smer, kje so bili ti akumulacijski bazeni: za reko Savo v Posavini (lahko bi ga imenovali Posavinski zaliv), za reki Dravo in Muro v Podravini (lahko bi ga imenovali Podravinski zaliv). V geološkem izrazoslovju (Geologija Slovenije, 2009, 24 in 375) sta se za obe pokrajini uveljavila pojma »Savski in Dravski

jarek«. Površje v tej zgodnji fazi kopenskega reliefa je bilo zagotovo akumulacijsko, kar dokazujejo pliocenski sedimenti v Hrvaškem Zagorju ter v Senovški sinklinali in v Spodnjem Obsotelju (Aničić in Juriša, 1985). Reke so se z zasipavanjem morja podaljševale v vedno bolj plitvo morje in pri tem vijugale po lastnih naplavinah. Zato neotektonske strukture, ki so pod naplavinami morda že začele nastajati, v tistem času še niso imele opaznega vpliva na oblikovanje rečne mreže. Že sam vpad sarmatijskih in panonskih plasti v krilih in celo v jedrih sinklinal, ki je večinoma več kot  $40^\circ$  (Aničić, Ogorelec in Dozet, 2004), nam da vedeti, da se je večina gubanj površja zgodila v kasnejšem obdobju. To pa je v zadnjih petih milijonih let oziroma v obdobju, ko morja na našem ozemlju ni bilo več. Dokaz, da nastajanje geoloških struktur nima nikakršnega vpliva na akumulacijsko površje, imamo v Krški kotlini. Gosar, Komac in Poljak (2005, 30 in 31) so v Krški kotlini, ki je postpontijske starosti, našli dve globoki kotanji z debelino terciarnih sedimentov okoli 1600 in 2000 m, vmes pa so območja, kjer je debelina istih sedimentov le okoli 1000 m. Kljub temu se takšno različno intenzivno ugrezjanje nikjer ne kaže v sedanjem akumulacijskem površju.

Prvotni kopenski relief v Obsotelju in v vzhodnem delu Slovenije bi lahko primerjali z današnjim reliefom v Padski nižini, ki se z akumulacijo alpskih rek podaljšuje v Severni Jadran. Ta je v bistvu do črte Zadar – Ancona že zasuto morje, saj se je znova pojavilo šele ob ponovnem dvigu morske gladine po koncu zadnje ledene dobe. Kljub temu da geološke strukture pod morskim dnom že nastajajo, kar dokazuje potresna aktivnost, pa je večina površja akumulacijskega, prekritega z rečnimi in morskimi sedimenti, ki skrivajo geološke strukture in omogočajo prosto vijuganje rek neodvisno od njih (tam, kjer jih ljudje še niso omejili in regulirali). Tektonika je relativno počasen proces, precej počasnejši od akumulacije. Tudi če se je površje pod rečnimi sedimenti dvigalo ali spuščalo s hitrostjo recimo 3 mm na leto, je reka to z lahkoto izravnala ob vsakokratni poplavi, pri kateri je površje na novo prekrila s svojimi sedimenti. Dejansko se nižinske reke predstavljajo najprej zaradi akumulacije sedimentov v lastni strugi in šele sekundarno zaradi tektonike.

### Epigenetsko vrezovanje rečnega omrežja in ujeti meandri

Reka Sava ima od Hrastnika, prek Posavine do izliva v Donavo dinarsko smer. Svoje pritoke dobiva iz obeh strani pod kotom od  $45^\circ$  do  $90^\circ$  glede na njeno splošno smer. V pokrajinah s pretežno erozijskim površjem je ta kot bližje  $90^\circ$ . V akumulacijskem površju pa se glavna reka in pritoki z nasipavanjem sedimentov odrivajo drug od drugega in podaljšujejo svojo pot do sotočja, zato se zlivajo skupaj pod bolj ostrim kotom. Z bočno erozijo in s širjenjem najnižje ravnice ob reki se ta ostri kot sotočja zmanjšuje in znova približuje pravemu kotu.

Desni pritoki Save – Mirna, Krka in Kolpa – pritekajo iz približno zahodne–jugozahodne smeri in pri tem sledijo sinklinalam. Levi pritoki Save – Savinja pod Celjem, Sotla in Krapina s Krapinico – pritekajo iz približno severne smeri in prečkajo vse geološke strukture, kot da jih tam sploh ne bi bilo. Podobno razvejani kot glavni pritoki prvega reda so tudi njihovi pritoki – pritoki drugega reda. Takšna rečna mreža je lahko nastala samo z epigenetskim vrezovanjem, ki je razloženo v nadaljevanju. **Rečno omrežje se je najprej oblikovalo na nizkem akumulacijskem površju na lastnih sedimentih rek, ki so se podaljševale v plitvo morje. Ob kasnejšem**

**dvigovanju površja pa so se reke začele zarezovati v lastne sedimente, s čimer je površje postajalo vse bolj erozijsko. Ko so se enkrat poglobile v starejše erozijsko bolj odporne kamnine, je bil njihov splošni potek že določen (konzerviran) in so ga zato večinoma ohranile do danes.**

Placer (1999, 218) razlaga dolino reke Save med Ljubljano in Krško kotliino kot antecedentno. Pliokvartarni prod v Čolnišču nad Zagorjem in Završju pod Kumom je na višini 450 m nad današnjim nivojem reke Save, medtem ko je isti prod na Ljubljanskem polju in v Krški kotlini le malo dvignjen nad Savo. Placer to razlaga s kompresijskim klinom, v katerem naj bi nastajale in se dvigale Posavske gube. Vendar pa poteka Savska dolina večinoma vzdolžno po Litijski antiklinali, ki se je nekoliko bolj dvigala že zaradi guban in narivanj kot sosednji kotlini, ki sta zaostajali v dviganju ali se celo ugrezali. Na drugi strani pa imamo v Obsotelju dokaze, da so se po nastanku rečnega omrežja dvigale ne samo antiklinale, ampak tudi sinklinale, in da so se reke vrezale v vse te strukture. Zato se mi zdi za takšno vrezovanje rečne mreže primernejši izraz epigenetsko vrezovanje. Tudi Gams (1981) uporablja pojem prebojna dolina, kar pa je samo slovenski izraz za antecedentno dolino, to je tisti del rečne doline, ki se je ob dviganju antiklinale vrezal prečno na antiklinalo.

Nižinske reke meandrirajo ali vijugajo – tečejo v okljukih, saj jih v takšen podaljšan tok sili akumulacija sedimentov v lastni strugi. Na erozijskem površju reke vijugajo znotraj najnižje (poplavne) ravnice med dvema ježama (rečnima terasama). Reka se najprej zabije v eno ježo in jo s svojim tokom spodjeda (spodkopava). Pri tem naredi v ježi vdolbino v obliki ovinka, ki usmeri reko na drugo stran najnižje ravnice, kjer trči ob nasprotno ježo. Vzrok za takšno vijuganje je tudi akumulacija sedimentov v osrednjem delu najnižje ravnice med obema ovinkoma, kjer je tok reke najbolj počasen in plitev. Pred regulacijo rek so vse reke tekle v takšnih vijugah in se od ene povodnji do druge tudi stalno prestavljale znotraj najnižje ravnice. Tako so z bočno erozijo postopoma širile najnižjo ravnico (glej Bahar, 1985). V primeru epigenetskega vrezovanja reke v erozijsko odpornejše kamnine lahko nastanejo ujeti meandri, kakršni so znani iz Lahinje in Mirne (Leksikoni Cankarjeve založbe, Geografija, 123–124), najbolj slikoviti pa so iz Grand Canyon. Na prav takšne ujete meandre spominjajo prebojne doline Ločnice in Voglajne, ki jih je opisal Gams (1981), vendar pa je sam razložil njihov nastanek s pretočitvami, kar se mi zdi malo verjetno. V isto kategorijo bi lahko uvrstili tudi dolino Gračnice, katere potek se je epigenetsko ujel v triasne kamnine Litijske antiklinale.

## Zaporedje rečnih reliefnih oblik po nastanku

Rečni relief se razvija v določenem zaporedju, ki poteka od spodaj navzgor. Vzemimo, da stojimo skozi različna geološka obdobja na istem mestu, pokrajina okoli nas pa se spreminja zaradi dvigovanja površja. Katere zaporedne rečne reliefne oblike nastajajo na našem stojišču?

### Prevladujoč akumulacijski rečni relief

- Morska rečna akumulacija: morski tokovi raznašajo in razporejajo sedimente, ki jih je v morje zanesla reka. Morsko dno postaja vse plitvejše. V naši pokrajini je bil takšen relief prisoten v obdobju badenija.
- Brakična rečna akumulacija: na pretežno rečni akumulaciji v strugi reke se mešata rečna in morska voda. Bregovi reke so že večinoma

kopni svet. V naši pokrajini je bil takšen relief prisoten v obdobju sarmatija in panonija.

- Raven nižinski svet z rečno akumulacijo: v nižinskem toku rek te odlagajo sedimente v lastno strugo, ob poplavih pa tudi na poplavno ravnico. Ko se ta zapolni s sedimenti, se reke prestavijo na sosednji nižji teren. Ta del rečne doline bi lahko označili za spodnji akumulacijski tok reke. V naši pokrajini je bil takšen relief prisoten v spodnjem delu pliocena, danes pa bi ga lahko našli ob reki Savi jugovzhodno od Zagreba (Moslavina).

#### **Prevladujoč prehodni ali transportni rečni relief**

- Gričevje s prevladujočim transportom sedimentov v dolinskem dnu: ker reke v gričevju ne morejo več svobodno predstavljati svoje struge, se akumulacija kopiči v samem dolinskem dnu in reka teče po lastnih sedimentih brez možnosti erozije matične podlage. Zato se vsa energija reke porabi za transport. Ta del rečne doline bi lahko označili kot srednji transportni tok reke. V naši pokrajini imamo tipičen primer takšnega reliefa v dnu sinklinal ob Zibiškem potoku in spodnji Mestinjščici, pa tudi ob Golobinjskem potoku in ob sami Sotli. Tam so najmlajše miocenske kamnine ostale neerodirane kljub okoli 200 m visokemu dvigu reliefa od morske gladine, kjer so nastale. Ker se nahajajo v bližini lokalne erozijske baze, se erozija skoraj ne dogaja, vsa energija reke pa se porabi za transport erodiranega materiala po reki navzdol.

#### **Prevladujoč erozijski rečni relief<sup>1</sup>**

- Višje gričevje in hribovje s prevladujočo erozijo v dolinskem dnu: v hribovitem svetu reke prenašajo debelozrnate sedimente (prod), s katerimi kotalijo in udarjajo v razgaljene dele rečnega dna. Na takšnih mestih erodirajo matično podlago. Ta del rečne doline bi lahko označili kot zgornji erozijski tok reke. V obravnavani pretežno gričevnati in v manjši meri hriboviti pokrajini se takšen relief pojavlja povsod v povirju rek in potokov.
- Gorovje z omejeno erozijo v dolinskem dnu in s prevladujočimi pobočnimi erozijskimi procesi: v gorskem svetu je tekoče vode večinoma premalo ali pa tako hitro odteče, da nima večje erozijske vloge. Dna dolin so večinoma zapolnjena s sedimenti, v katerih reke in potoki večinoma poniknejo, ob visoki vodi pa kotalijo te sedimente navzdol po reki in imajo bolj transportno funkcijo. Matična podlaga je razgaljena le na nekaj mestih v strugi, kjer so brzice in slapovi. Mnogi deli teh dolin so bili temeljiteje ledeniško preoblikovani v času ledenih dob. V naši pokrajini še nimamo takih oblik reliefa, se pa to lahko zgodi v prihodnjih geoloških obdobjih ob nadaljnjem dvigovanju reliefa.

### **Selektivna erozija in nastanek današnjega reliefa**

Nosan (1963) in Kunaver (1974) navajata različno erozijsko odpornost kamnin v obravnavani pokrajini po vrstnem redu. V razdelku *Stratigrafski*

1 V tem pregledu sem se namenoma izognil pobočnim procesom, ki nastajajo zaradi preperevanja kamnin in naklona pobočij, ki so jih že prej ustvarile druge oblike erozije in tektonika. Več o učinkih pobočnih procesov v naši pokrajini so pisali Sore (1963), Radinja (1974) in Natek (1989). Prav tako nimam namena obravnavati kraških oblik reliefa, ki so jih doslej opisali Kunaver (1974), Bahar (2001), Zupan Hajna (2002) in Šeško (2007).

*stolpec kamnin* smo jo nekoliko poenostavili z uvrstitvijo vseh kamnin v tri stopnje erozijske odpornosti: erozijsko odporne, srednje erozijsko odporne in najmanj erozijsko odporne kamnine.

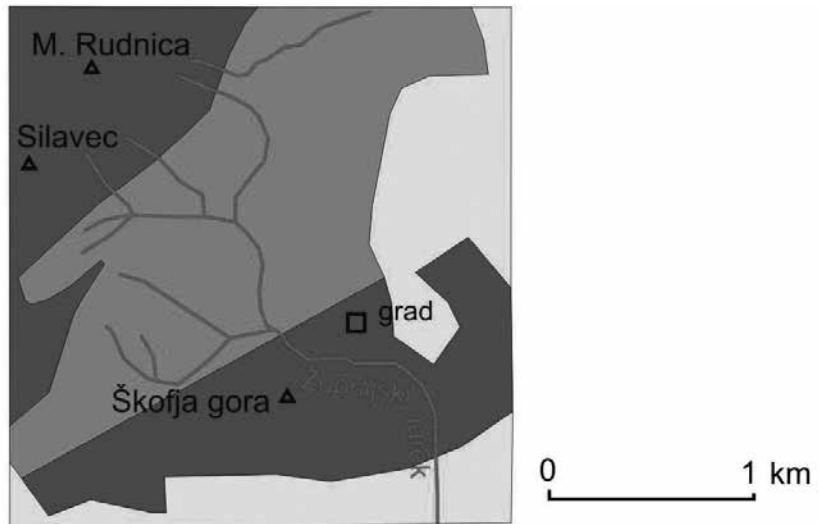
Z epigenetskim vrezovanjem rečne mreže so reke razgalile erozijsko različno odporne kamnine, ki so se pojavile v posameznih delih njihovega toka in oblikovale doline glede na okoliško erozijsko odpornost kamnin. Medtem ko je navpična erozija odvisna le od erozijske baze, je bočna erozija odvisna predvsem od erozijske odpornosti kamnin, to je od selektivne erozije. Vpliv selektivne erozije se kaže predvsem v širini dolin. V erozijsko odpornih kamninah so doline ozke in brez pritokov ali z redkimi, kratkimi in nerazvejanimi pritoki. V erozijsko neodpornih kamninah so doline široke in s številnimi zelo razvejanimi pritoki v obliki pahljače. Na območju Rudniške antikinale imamo več takšnih šolskih primerov, ki jih opisujem v nadaljevanju.

Slika 1:  
Oblikovanje rečne mreže v odvisnosti od  
odpornosti kamnin v Sotelsko-Savinjski  
pokrajini



Legendo znakov glej na sliki 2. Risal Anton Polšak.

Slika 2:  
Oblikovanje rečne mreže v odvisnosti od erozijske odpornosti kamnin na primeru Župnijskega jarka pri Podčetrtku



### Legenda barv in znakov:

	Erozijsko najbolj odporne kamnine (apnenci in dolomiti) - rečno kraški relief
	Erozijsko srednje odporne kamnine (vulkanske kamnine, konglomerati, peščenjaki, laporji in glinavci)
	Erozijsko najmanj odporne kamnine ali sedimenti
	Slivniško jezero
	Reke in potoki
	Os Trojanske in Rudniške antiklinale
	Os Laške sinklinale

### Komentar

Reke in potoki so si izdelali v erozijsko manj odpornih kamninah široka in razvejana povirja, v erozijsko bolj odpornih kamninah pa ozke doline z redkimi pritoki ali brez njih.

Med triasnimi kamninami prevladujejo karbonatne kamnine (apnenci in dolomiti), ki so erozijsko najbolj odporne. Vendar pa se med njimi (razen vulkanskih kamnin) ponekod pojavljajo tudi kremenovi peščenjaki in glinavci, ki so erozijsko srednje odporni. Na geološki karti te vrste kamnin niso ločene od karbonatnih kamnin kot samostojne enote, zato je treba erozijsko odpornost preveriti na terenu.

Najbolj tipične so doline Drobinskega potoka, Ločice in Jezerščice, ki tečejo v Voglajno, ter Dobljanskega in Vodiškega potoka, ki tečeta v Gračnico. Vsi ti potoki imajo svoja povirja v oligocensko miocenskih (egerijskih) peskih Rudniške antiklinale. Ti peski so erozijsko neodporni, zato so se v njih oblikovala široka in razvejana povirja. Le Drobinski potok prečka tudi erozijsko najbolj odporne triasne apnence, dolomite in vulkanske kamnine v jedru Rudniške antiklinale, kjer ima izrazito ozko in nerazvejano dolino. Drobinski potok, Ločica in Jezerščica, ki tečejo proti severu, prečkajo erozijsko srednje odporne badenijske sedimentne kamnine v

jedru Laške sinklinale, v katerih so doline večinoma ožje in brez pritokov ali z zelo kratkimi in nerazvejanimi pritoki. Doline se znova razširijo in združijo na južnem krilu Trojanske antiklinale okoli Gorice pri Slivnici in Slivniškega jezera, kjer se znova pojavijo na površju neodporni egerijski peski. Pri ponovnem prečkanju jedra Trojanske antiklinale okoli Prednje gore in Gradišča se doline v erozijsko odpornih triasnih vulkanskih kamninah znova povsem zožijo in so skoraj brez opaznih pritokov. Podobno je tudi pri Dobljanskem in Vodiškem potoku, ki se zlivata prek jedra Planinske sinklinale s srednje odpornimi badenijskimi sedimentnimi kamninami v Gračnico, ki teče že po mezozojskih kamninah Litijske antiklinale. (Glej zemljevida erozijske odpornosti kamnin.)

Selektivno erozijo je v marsičem narekovala tudi tektonika. V tem primeru so bili najpomembnejši najbolj aktivni prečni prelomi v smeri sever–jug, ob katerih so z geološkim kartiranjem dokazani tudi večmetrski premiki posameznih blokov kamnin med badenijskimi in sarmatijskimi sedimentnimi kamninami (Videc, 2003). Tektonskih prelomov ne smemo razumeti kot ravne prelomne ploskve, temveč kot bolj ali manj široka območja prepokanih in zdrobljenih kamnin. V takšnih conah zdrobljenih kamnin je lahko rečna erozija hitreje napredovala in poglobila dolino tudi v erozijsko najbolj odpornih kamninah. Zato lahko trdimo, da je za navpično erozijo pomembna le erozijska baza. Potek dolin po tektonskih prelomnicah ne pomeni, da je tektonika odločilno vplivala na oblikovanje rečnega omrežja v celoti, saj je prelomov povsod v izobilju, temveč je določala le »mikrolokacijo« posamezne doline.<sup>2</sup>

## Podaljševanje glavnih rek v doline bočnih pritokov

Na obravnavanem območju imamo kar nekaj primerov podaljševanja rek v doline bočnih pritokov. Običajno reka na nekem območju teče v bolj ali manj ravni smeri, le v povirnem delu priteka iz neke druge smeri, ki ustreza smeri pritoka. To pomeni, da je povirje glavne reke zamaknjeno za kot skoraj 90° glede na njen nadaljnji potek. Tudi tu je imela glavno vlogo pri nastanku takšnih zavutih dolin selektivna erozija v kombinaciji z zadenjsko erozijo.

Zadenjska erozija nastopi šele v pogojih erozijskega reliefa. Z njo se reke globinsko vrezujejo v površje in podaljšujejo svoje povirno območje na račun sosednjega porečja. Posledica so tudi pretočitve rek (več o tem v naslednjih razdelkih). V začetni fazi nastajanja kopenskega reliefa je bilo površje še akumulacijsko. Zato zadenjska erozija ni imela pomembnejše vloge pri oblikovanju osnovne rečne mreže.

Značilen je primer Mestinjščice, ki ima v večjem delu svojega toka smer od severozahoda proti jugovzhodu in pri tem prečka dve antiklinalni in dve sinklinalni strukturi. Severno od Mestinja se njena dolina pri Sv. Benediktu zelo zoži skozi greben zakraselih in erozijsko zelo odpornih litotamnijskih apnencev, ki poteka od Pijovcev proti Rodnam. To je tipična prebojna dolina, ki je nastala na južnem krilu Pletovarsko-Maceljske antiklinale bolj zaradi večje erozijske odpornosti in zakrasevanja, ne pa

<sup>2</sup> Imamo pa primere, ko poteka starejša rečna dolina v neposredni bližini izrazite mlajše prelomne cone v tako rekoč homogeni kamnini. Najlepši primer takšne doline je dolina Idrijce, ki kot »mačka okrog vrele kaše« v večjem delu svojega toka vijuga in celo kroži okrog Idrijskega preloma, v katerega segajo le njeni manjši (mlajši) pritoki Hotenja, Kanomljica in Ljubevščica.

## Nastanek antiklinalnih dolin in bočno širjenje antiklinalne doline v sinklinalno dolino

zaradi tektonskega dvigovanja površja. Severno od njega je široko povirje Mestinjščice v erozijsko malo odpornih miocenskih peskih. V takšnih pogojih se je Mestinjšica najbolj podaljšala in razširila povirje v nekoč levi pritok, ki bi ga lahko imenovali Tekočevski potok, ki danes nosi ime Mestinjščica. Za poimenovanje glavne reke ali potoka je edino pomembna količina vode v strugi, ki je odvisna samo od velikosti povirja, saj je količina padavin povsod približno enaka. Povirje potoka in s tem količina vode v strugi se lahko poveča z zadenjsko erozijo.

Podobne razmere lahko opazujemo tudi v povirju Dobljanskega potoka nad Škarnicami, v povirju Kosteljine nad Pregrado (Hrvaško Zagorje), v povirju Sotle nad Podčetrtkom in v reki Krapini (Hrvaško Zagorje), katere prvotni izvir je bil gotovo v reki Krapinici. Morda bi lahko v to kategorijo prišteli tudi potok Kozarica, to je levi pritok Voglajne v Šentjurju pri Celju, vendar so tam kamninska sestava in tektonske razmere dosti bolj komplicirane in bi bila takšna razlaga preveč poenostavljena.

Podaljševanje glavnih rek v doline bočnih pritokov dokazuje, da je razvoj rečnega omrežja v povirju rek dosti bolj spremenljiv kot pa v srednjem toku reke. Glavni razlog je selektivna erozija, z njo pa reke širijo svoje povirje v jedra in krila antiklinal. S takšnim podaljševanjem reke tudi spreminjajo relief iz epigentskega v konsekventnega – takšnega, ki je bolj v skladu s sedanjo kamninsko sestavo in geološkimi strukturami.

Na vzhodnem delu Rudniške antiklinale imamo na obeh krilih antiklinale dve dolini, ki potekata vzdolžno z geološkimi strukturami. To sta dolini Tinskega ter Slivja/Olimskega potoka, ki sta pritoka Mestinjščice oziroma Sotle. Obe dolini potekata skoraj v celoti v erozijsko neodpornih egerijskih peskih. Posebnost je Tinski potok, ki ima široko povirje v egerijskih peskih na južnem krilu antiklinale. Tam teče še pod imenom Dobrinski potok in prečka jedro antiklinale iz triasnih karbonatnih kamnin v ozki dolini med Žusmom in Rudnico ter nadaljuje svojo široko dolino z imenom Tinski potok po egerijskih peskih na severnem krilu antiklinale. Kako so lahko nastale takšne doline, ki jih Gams (1981) imenuje prebojne doline?

Pri dvigovanju površja so bile erozijsko neodporne egerijske plasti najprej razgaljene v jedru antiklinal. Takšne razmere lahko danes opazujemo v zahodnem delu Rudniške antiklinale okoli Kostrivnice in Voduc ter v vzhodnem koncu Trojanske antiklinale v porečju Ločnice. Prečni vodotoki izdolbejo v teh neodpornih kamninah široka in razvejana povirja, vzdolžni vodotoki pa široke antiklinalne doline, ki jih na obeh straneh omejujejo erozijsko odpornejše badenijske plasti, ki gradijo slemena gričevij. Ko si potok izdelata takšno vzdolžno antiklinalno dolino, jo z bočno erozijo (z meandriranjem) zlahka širi, saj ga k temu sili tudi slemenska ukrivljenost plasti v jedru antiklinale. Na primeru Ločnice južno od Šmarja pri Jelšah lahko opazujemo, kako je dolina že v izključno egerijskih peskih močno zavita – lahko bi rekli, da teče potok v širokih okljukih ali meandrih, ki pa so v tem primeru erozijskega nastanka. Ko reka enkrat nasede na triasno podlago erozijsko odpornih kamnin, je njena struga že določena, in reka si poglobi strugo vanje ob lokalnih prelomih. To lahko opazujemo v eni prebojni dolini prek triasne podlage Ločnice, v treh prebojnih dolinah Voglajne in eni prebojni dolini Dobrinskega oziroma Tinskega potoka.

Takšnim meandrom pravimo tudi ujeti meandri in jih najdemo tudi v nekaterih drugih slovenskih pokrajinah (Leksikoni Cankarjeve založbe, Geografija, 123–124).

Vzdolžne doline, ki so nastajale v sinklinalah, na primer dolina Zibiškega in Golobinskega potoka, z antiklinalnimi dolinami niso mogle in še vedno ne morejo »tekmovati«, saj se je teren tam počasneje dvigal in je bil venomer blizu lokalne erozijske baze. Zato v dnu sinklinal nikoli ni bilo kakšne posebne erozije in so se zato lahko ohranile sedimentne kamnine od sarmatija do panona in ponekod celo spodnjega pliocena. Z dviganjem sinklinal se je dvigala tudi lokalna erozijska baza in zato ni bilo niti posebne erozije niti akumulacije. Vsa energija potokov se je porabila zgolj za transport sedimentov iz višjega erozijsko aktivnejšega reliefa. Tako so bili v sinklinalah pod mlajšimi sedimentnimi kamninami »konzervirani« erozijsko najmanj odporni egerijski peski, v katerih so se pospešeno širila povirja potokov v antiklinalnih dolinah. Zato so sinklinalne doline manjše od antiklinalnih in se še naprej zmanjšujejo.

S tem pa razvoj antiklinalne doline še ni končan. Na primeru vzhodnega dela Rudniške antiklinale do reke Sotle lahko vidimo, da se s pojavljanjem erozijsko odpornih kamnin v jedru antiklinale ta še naprej širi, tako da sta se oblikovali dve ločeni vzporedni dolini v erozijsko neodpornih kamninah. Zaradi vpada plasti na obeh krilih antiklinale erozijsko odporne triasne plasti bočno odrivajo potoke v erozijsko neodporne egerijske peske. Tako bosta obe dolini ob dvigovanju površja napredovali v bočni smeri proti jedru Laške in Planinske sinklinale. S tem bo antiklinalna dolina Tinskega potoka v prihodnosti bočno povsem zavzela dolino Zibiškega potoka v jedru Laške sinklinale, antiklinalna dolina Slivja oziroma v nadaljevanju Olimskega potoka pa bo v prihodnosti povsem zavzela dolino Golobinskega potoka v jedru Planinske sinklinale. S tem bo razvoj antiklinalne doline dosegel svojo končno fazo. Takšen razvoj antiklinalne doline bi lahko poimenovali tudi bočno širjenje antiklinalne doline v sinklinalno dolino.

Če se torej antiklinalne doline širijo na račun sinklinalnih, so bile sinklinalne doline nekoč večje in njihovi potoki pomembnejši. Kljub temu pa so bili ti vodotoki še vedno pritoki pritokov ali pritoki drugega reda, torej po pomenu precej majhni. Zaradi vztrajanja površja okoli erozijske baze sinklinalne doline v svojem najnižjem delu tudi niso bile erozijsko aktivne in so zato v najboljšem primeru stagnirale v svojem razvoju.

## Bočno prestavljanje rek po čelih antiklinal

Bočno širjenje antiklinalnih dolin v sinklinalne doline ni edini proces, pri katerem se rečne doline bočno prestavljajo. Enak proces se dogaja tudi na čelih antiklinal, ki tonejo v mlajše erozijsko manj odporne kamnine. Najlepši primer takšnega razvoja imamo na reki Sotli med Sedlarjevim in Staro vasjo na Bizeljskem. V tem delu rečnega toka naredi Sotla ovinek, s katerim bi »se rada« izognila Orliški antiklinali in erozijsko bolj odpornim kamninam v njej. Zaradi tonjenja Orliške antiklinale in erozijsko najbolj odpornih kamnin proti vzhodu se je reka med poglobljanjem najprej prestavljala proti vzhodu v erozijsko manj odporne kamnine, kjer pa se je končno ujela v prebojno (antecedentno) dolino med Orlico in Cesarskim brdom.

## Pretočitve ali obglavljanja rek in potokov

Pretočitve vodotokov so v sedanjem rečnem omrežju zelo redke in nenavadne pojave, ki ne more vplivati na obstoječe rečno omrežje, temveč gre bolj za »prerivanje« v povirju potokov okoli poteka razvodnice. To pa je značilno za vse razvodnice. Za alpske pokrajine so bile v ledenih dobah značilne zelo lahko opazne pretočitve, ki so bile posledica zajezitve odtoka iz stranskih dolin z napredovanjem ledenikov po glavnih dolinah, vendar pa v naši pokrajini takih razlogov nismo imeli.

Starejši avtorji od Rakovca do Gamsa (glej Gams, 1981, 35) so razvoj rečnega omrežja razlagali s pretočitvami rek, ki se danes zdijo neverjetne. Prvotne reke naj bi tekle v eno smer, današnje pretočene reke pa kar v nasprotno smer in pri tem se seveda opuščen dolina z rečnimi sedimenti ni ohranila. Po geološkemu načelu aktualizma (G. C. Fuchsel, 1761) bi se morali enaki procesi kot v preteklosti dogajati tudi v sedanjosti in obratno. Vendar pa pogojev za kakšno bolj opazno pretočitev v naši pokrajini ne najdemo.

Gams (1981, 35) omenja možnost »avtopiraterije« Voglajne pri Črnllici in jo navaja kot izjemen primer na slovenskem ozemlju. Po mojem je nizko sedlo med dvema meandroma Voglajne z imenom Preskočina nastalo nekoliko drugače. Preskočina leži v erozijsko neodpornih kamninah, medtem ko sta obe prebojni dolini Voglajne južno od nje v erozijsko odpornih kamninah. Če bi Voglajna pred vstopom v predzadnjo prebojno dolino med Gradiščem in Prednjo goro bolj akumulirala sedimente in če bi po drugi strani pri Črnllici s pritokom ali z bočno erozijo erodirala Preskočino, bi lahko prišlo do samopretočitve in skrajšanja toka Voglajne za en ujeti meander. Pri nižinskih rekah je bilo takšno skrajševanje toka reke (meandrov) pogost pojav, saj z njim nastajajo mrtvi rokavi ali mrtvice. Takšne naravne samopretočitve pa so v današnjem času zaradi regulacije rek manj pogoste.

Še največ možnosti za današnje pretočitve rek vidim na razvodnici med porečjema Sotle in Voglajne. Najbolj izrazit primer je pri kraju Cerovec pri Šmarju, ki je okoli 2 km jugozahodno od Šmarja pri Jelšah. Na razdalji samo 300 m tečeta ena mimo druge v nasprotnih smereh Ločnica, ki je v povirju Voglajne, in Globoški potok, ki je v povirju Šmarskega potoka oziroma Sotle. Med obema bližnjima dolinama je okoli 80 m višinske razlike, obe dolini pa sta v erozijsko neodpornih egerijskih peskih. Globoški potok, ki teče v zgornjem toku v jedru komaj opazne Teharske antiklinale, je pritok sinklinalnega Šmarskega potoka, Ločnica pa vijuga nad jedrom Trojanske antiklinale. Do pretočitve v tem primeru lahko pride, vendar pa bodo posledice na poteku razvodnice tako neznatne in malo opazne, da o kakšnem spreminjanju osnovne rečne mreže ne moremo govoriti. Podobne primere navajata tudi Meze (1963, 108–109) in Kunaver (1974, 73 in 76, 74–75).

Zakaj je sploh prišlo do takšne opazne višinske razlike med povirjema obeh porečij? Obe imata skupno erozijsko bazo na sotočju Save in Sotle, ki je v višini okoli 135 m. Vendar je pot vode iz Ločnice prek Voglajne, Savinje in po Savi do sotočja s Sotlo dolga okoli 105 km, vode iz Globoškega potoka prek Šmarskega potoka, Mestinščice in Sotle do sotočja s Savo pa le okoli 59 km (izmerjeno s kilometrskimi razdaljami po Atlasu Slovenije, 1 : 50.000). Razlika v dolžini tokov je kar 46 km ali skoraj

dvakratna. Energija transporta in erozijska sposobnost sta odvisni tudi od vzdolžnega naklona struge potoka in ne samo od količine vode. Zato je toliko manj razumljivo, zakaj Sotelsko porečje, ki je na skupni razvodnici več 10 m nižje od Voglajnskega porečja, ne pretoči več potokov na svojo stran. Imamo celo nasproten primer. Že Kunaver (1974, 76, 74) je odkril zanimivo pretočitev pri Lekmarju, kjer je pritok Ločnice iz porečja Voglajne presenetljivo pretočil povirje Zibiškega potoka. Tudi v tem na prvi pogled nerazumljivem primeru si pri razlagi pomagamo s tektoniko in selektivno erozijo. Zahodni del Sotelsko-Savinjske pokrajine se dviguje hitreje kot vzhodni in zato ustvarja kljub daljši razdalji do erozijske baze večjo erozijsko energijo. Zraven tega pa imata Ločnica in njen pritok lokalno erozijsko bazo v erozijsko najmanj odpornih egerijskih peskih, medtem ko se Zibiški potoki zaman trudijo z erozijo v srednje odpornih badenijskih in sarmatijskih konglomeratih, peščenjakih in laporjih, v erozijsko najmanj aktivni pokrajini – na dnu sinklinalne doline. O erozijski neučinkovitosti v sinklinalnih dolinah pričajo tudi pogoste poplave in celo ob sušah mokrotno dno dolin, na primer v Pristavški dolini ob izlivu Zibiškega potoka v Mestinjščico.

Meze (1963, 109) in Kunaver (1974, 76, 74) razlagata skrajševanje Zibiškega potoka s strani Babne reke, ki je pritok Tinskega potoka: Babna reka je z zadenjsko erozijo prerezala sleme Tinskega slemena in segla v območje sinklinalne zahodno od doline Zibike in jo s tem skrajšala, saj naj bi prvotno segala vse do Resevne. S tem spoznanjem sta oba moja predhodnika že odkrila enega od mehanizmov bočnega širjenja antiklinalnih dolin v sinklinalne. Tako Ločnica s svojim levim pritokom iz Trojanske antiklinalne kot Tinski potok z Babno reko iz Rudniške antiklinalne »kradeta zemljo« sinklinalni dolini Zibiškega potoka. Druga dva načina, opisana v prejšnjih razdelkih, sta:

- podaljševanje pritokov v antiklinalne doline in širjenje povirij v antiklinalnih dolinah,
- bočna erozija v antiklinalni dolini, s katero se ta zaradi selektivne erozije širi na račun sinklinalne doline.

## **Spreminjanje epigenetskega rečnega omrežja v konsekventno rečno omrežje**

Konsekventno rečno omrežje je tisto, ki ustreza sedanjim geološkim strukturam in kamninski zgradbi (primerjaj Geografski terminološki slovar, 181).

V bistvu pri zgoraj opisanih procesih sploh ne gre za klasično pretakanje potokov ali rek v smislu obglavljenja ali spreminjanja njihove smeri, kot je to v primeru alpskih ledeniških zajezev. V naši pokrajini se pretočitve, če jih sploh lahko imenujemo tako, ne dogajajo kot enkratni epohalni dogodek, temveč gre za počasno in dolgotrajno, skoraj neopazno napredovanje enega povirja na račun drugega – za »preirvanje« povirij okoli poteka razvodnice. Tako lahko razumemo tudi podaljševanje glavnih rek v doline bočnih pritokov, kot je bilo opisano v enem od prejšnjih razdelkov.

Najlepši primer spreminjanja (transformacije) nekdanjega epigenetskega rečnega omrežja v bodoče konsekventno rečno omrežje imamo v dolini Virštanjskega potoka. Virštanjski potok je povsem »normalen« desni pritok reke Sotle, ki se zлива vanjo pod kotom okoli 45°, kar kaže še na njegov nastanek v akumulacijskem reliefu, ko sta se Sotla in Virštanjski potok

z akumulacijo sedimentov odrivala in podaljševala svoj tok do skupnega sotočja. V svojem osrednjem toku prečka Virštanjski potok Planinsko sinklinalo in kaže, da je povsem verjetno še ostanek prvotnega rečnega omrežja iz pliocena. V srednjem toku ima nekoliko višjo dolino od sosednjega Golobinjskega potoka, ki je v celotnem toku sinklinalni potok. Zato na območju Verač in Virštanja nima levih pritokov, kar kaže na napredovanje Golobinjskega potoka. Toda povirje Virštanjskega potoka je na južnem krilu Rudniške antiklinale v erozijsko neodpornih egerijskih peskih, kjer pa je njegovo povirje zelo neenakomerno razvito. Pritoke dobiva samo še z južne strani iz Javoršice, manjkajo pa mu zahodni, severni in vzhodni pritoki. Njegova dolina je okoli 50 m višja od sosednjih dolin: Slivja na vzhodu, Sotenskega potoka (pri Primožnem) na severu in Loškega potoka (pri Glažuti) na zahodu. Na tem primeru lahko ugotovimo, da se vzdolžne antiklinalne doline v erozijsko neodpornih kamninah povečujejo na račun prečnih dolin, ki prečkajo različne geološke strukture in erozijsko različno odporne kamnine. Če »zavrtimo film nazaj«, lahko sklepamo, da je bilo porečje Virštanjskega potoka tako v povirju kot v srednjem toku nekoč bistveno večje, da pa se je v sedanji čas že močno zmanjšalo. Ob nadaljevanju teh procesov bo Virštanjski potok najprej izgubil celotno povirje na račun Slivja – Olimskega potoka in pritokov Tinskega potoka. Ko mu bo zmanjkalo vode iz povirja, ga bo v srednjem toku pretočil še Golobinjski potok. Še kasneje pa bo Slivje – Olimski potok z bočnim širjenjem antiklinalne doline povsem zavzel še dolino sinklinalnega Golobinjskega potoka. Na tem primeru bi lahko končali s sklepom, da se na ravni pritokov drugega reda dogaja transformacija rečnega omrežja iz prvotnega epigenetskega v konsekventno omrežje pritokov, ki bolj ustreza današnjim geološkim strukturam in razporeditvam erozijsko različno odpornih kamnin.

## Sklep

Sedanji kopenski relief se je začel oblikovati konec miocena (brakična sedimentacija) in najkasneje na začetku pliocena (sladkovodna rečna sedimentacija), ko se je morje umaknilo in se je na uravnanim akumulacijskem površju oblikovalo prvotno rečno omrežje, ki se je podaljševalo z akumulacijo rečnih sedimentov v morske zalive – pediplen. Glavna reka prvotnega rečnega omrežja je bila Sava, ki se je zlivala v »Posavinski zaliv« oziroma v »Savski jarek« in je že od vsega začetka tekla navzdol od Hrastnika v dinarski smeri, od severozahoda proti jugovzhodu. Njeni levi pritoki – to so pritoki prvega reda: Savinja, Sotla in Krapina – so pritekali v Savo iz severne smeri, to je pod ostrim kotom, ki ustreza akumulacijskemu površju. Podobno razvejani so bili tudi pritoki teh pritokov oziroma pritoki drugega reda.

V drugi polovici pliocena se je tudi v vzhodnem delu Posavskih gub začelo intenzivno tektonsko preoblikovanje, s katerim so nastajale antiklinalne in sinklinalne strukture, ob tem pa se je površje v celoti dvigovalo, saj so se v manjši meri dvigale tudi sinklinalne. Posledica tega dvigovanja je bilo vrezovanje prvotne rečne mreže najprej v lastne akumulirane sedimente, nato pa epigenetsko tudi v starejše plasti. Značilen je potek levih pritokov reke Save (prvega reda) prečno na današnje geološke strukture, ki jih ob času nastanka prvotnega rečnega omrežja še ni bilo. Veliko intenzivnejše so se reke vrezovale v antiklinale, kjer se je površje dvignilo za več 100 m nad ravni sinklinal, ki so tudi v teh novih pogojih ostale blizu lokalne erozijske baze in jih je erozija zelo malo preoblikovala. Zato so se v sinklina-

lah ohranile plasti iz sarmatija in panonija, ponekod pa tudi iz spodnjega pliocena (v Senovški sinklinali in v ostalih sinklinalah na območju Hrvaškega Zagorja).

Z epigenetskim vrezovanjem rečne mreže v starejše kamnine so bile razgaljene erozijsko zelo različno odporne kamnine, kar je bila podlaga za selektivno erozijsko preoblikovanje rečnih in potoških dolin. V erozijsko najmanj odpornih egerijskih peskih so se oblikovala široka razvejana povirja, medtem pa so se v srednje in najbolj erozijsko odpornih kamninah oblikovale ozke doline s skromnimi pritoki ali celo brez njih. Predvsem je opazno spreminjanje rečne mreže v povirnih delih rek in pritokov, medtem pa se srednji deli rek in potokov niso tako očitno spreminjali in kažejo še prvotni potek. V tej fazi so v erozijsko najmanj odpornih egerijskih peskih nastale tudi povsem antiklinalne doline, v katerih so potoki širili svoje doline in v njih meandrirali, pri tem pa se epigenetsko ujeli v erozijsko odpornejše kamnine v slemenu antiklinale. Tako so nastale značilne prebojne (antecedentne) doline Ločnice – Voglajne in Dobrinjskega – Tinskega potoka. Podobne prebojne doline lahko najdemo tudi na Gračnici, Mestinjščici in Sotli.

V današnjem času se rečno omrežje postopoma spreminja iz epigenetskega v konsekventno, to je v takšno, ki je bolj v skladu s trenutnimi geološkimi strukturami in potekom erozijsko različno odpornih kamnin. Spreminjanje poteka pod vplivom selektivne erozije v povirnem delu rek in potokov, predvsem na pritokih drugega reda, manj ali nič pa v srednjem delu rek in v pritokih prvega reda, ki še vedno kažejo prvotni potek. Te spremembe se kažejo v podaljševanju glavnih dolin v doline nekdanjih pritokov, v pretočitvah v bližini razvodnice in v bočnem širjenju antiklinalnih dolin na račun sinklinalnih dolin. Konsekventni relief bo prevladal, ko se bodo antiklinalne doline na ravni pritokov drugega reda bočno povsem razširile v sinklinale. Gotovo pa bodo pritoki prvega reda in tudi nekateri pritoki drugega reda še naprej potekali prečno na vse nastajajoče strukture ne glede na bodoča tektonska preoblikovanja.

Zahvaljujem se prof. dr. Juriju Kunaverju in dr. Antonu Polšaku za skrben pregled besedila, popravke in pomoč pri končnem oblikovanju tega članka.

## Literatura

(glej tudi seznam literature v prvem članku na str. 91–93)

1. Bahar, I., 2001, Odkrili smo novo kraško jamo. Rogaške novice, 30. marec 2001, 24–25, Rogaška Slatina.
2. Gams, I., 1981, Nastanek prebojnih dolin južno od Šentjurja pri Celju. Geografski vestnik 40/1, letnik 53, 31–37. Ljubljana.
3. Kunaver, J., 1974, Nekatero morfološke značilnosti reliefa v nizkem terciarnem svetu med Voglajno in Sotlo. Voglajnsko-Sotelska Slovenija, 65–79. Geografsko društvo Slovenije ter skupščini občin Šmarje pri Jelšah in Šentjur pri Celju, Ljubljana.
4. Meze, D., 1963, H geomorfologiji Voglajnske pokrajine in Zgornjega Sotelskega. Geografski zbornik 8, 77–120, Ljubljana. Dostopno na [http://giam.zrc-sazu.si/zbornik/GZ\\_0801\\_077-118.pdf](http://giam.zrc-sazu.si/zbornik/GZ_0801_077-118.pdf).
5. Natek, K., 1989, Vloga usadov pri geomorfološkem preoblikovanju Voglajnskega gričevja. Geografski zbornik 29, 38–77, Ljubljana. Dostopno na [http://giam.zrc-sazu.si/zbornik/GZ\\_2901\\_037-077.pdf](http://giam.zrc-sazu.si/zbornik/GZ_2901_037-077.pdf).

6. Radinja, D., 1974, Usadi na Sotelskem v pokrajinski luči. Voglajnsko-Sotelska Slovenija, 81–93. Geografsko društvo Slovenije ter skupščini občin Šmarje pri Jelšah in Šentjur pri Celju, Ljubljana.
7. Sore, A., 1963, Zemeljski plazovi na Zgornjem Sotelskem. Geografski zbornik 8, 121–155, Ljubljana. Dostopno na [http://gjam.zrc-sazu.si/zbornik/GZ\\_0801\\_121-154.pdf](http://gjam.zrc-sazu.si/zbornik/GZ_0801_121-154.pdf).
8. Šeško, S., 2007, Osameli kras v Kozjanskem regijskem parku. Diplomsko delo, 161 s. Univerza v Ljubljani, FF, Oddelek za geografijo, Ljubljana. Dostopno na [http://geo.ff.uni-lj.si/pisnadela/pdfs/dipl\\_200707\\_saska\\_sesko.pdf](http://geo.ff.uni-lj.si/pisnadela/pdfs/dipl_200707_saska_sesko.pdf).
9. Zupan Hajna, N., 2002, Osovniška jama, jama osamelega krasa Vzhodne Slovenije. Acta Carsologica 31/3, 75–87. ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje krasa, Postojna. Dostopno na <http://carsologica.zrc-sazu.si/?stran=issue&volume=31&issue=3>.