

TRANSPORT REČNIH SEDIMENTOV SKOZI KRAŠKO
PODZEMLJE NA PRIMERU ŠKOCJANSKIH JAM

UNDERGROUND FLUVIAL SEDIMENTS TRANSPORT AS AN
EXAMPLE FROM ŠKOCJANSKE JAME (KRAS, SLOVENIA)

ANDREJ KRANJC

Referat na Simpoziju o kraškem površju

Postojna, 12.—14. junija 1985

Paper presented on the Symposium of karst surface

Postojna, June 12—14, 1985

Naslov — Address

mag. ANDREJ KRANJC, viš. raziskovalni sodelavec
Inštitut za raziskovanje krasa, ZRC SAZU
Titov trg 2
66230 Postojna
Jugoslavija

Izvleček

UDK 551.312.3.051:551.442(497.12—14)
551.442(497.12—14):551.312.3.051

**Kranjc Andrej: Transport rečnih sedimentov
skozi kraško podzemlje na primeru Škocjanskih jam**

Na podlagi objavljenih podatkov in na podlagi lastnih opazovanj skuša avtor predstaviti pomen transporta trdnih delcev skozi Škocjanske jame. Trdne delce prenaša Reka v obliki lebdečega tovora (3 500 m³ letno) in v obliki peska ter proda (20 000 m³ letno). Prispevek podaja podrobnejše značilnosti te plavine. Intenzivnost erozije, določene s pomočjo rečnega transporta, v porečju Reke, primerja z intenzivnostjo erozije na Pivki.

Abstract

UDC 551.312.3.051:551.442(497.12—14)
551.442(497.12—14):551.312.3.051

**Kranjc Andrej: Underground fluvial sediments
transport as an example from Škocjanske jame (Kras, Slovenia)**

According to published data as well as to personal observations the author tries to show the importance of solid transport through Škocjanske jame. This material is transported by Reka river as suspended load (3 500 m³ per year) and as bed load (20 000 m³ per year). Detailed characteristics of the transport material are added. The intensity of erosion in the Reka river basin is compared to that one in the basin of Pivka river.

TRANSPORT REČNIH SEDIMENTOV SKOZI KRAŠKO PODZEMLJE NA PRIMERU ŠKOCJANSKIH JAM

Rečni jamski sedimenti so sedimenti, ki jih je v kraškem podzemlju, kjer so lahko posebni sedimentacijski pogoji, odložila tekoča voda. Vodni tok prenaša trdni tovor na različne načine: del tovora kotali in vleče po dnu struge, del se ga premika skokoma (oboje skupaj predstavlja rinjeno plavino), del tovora pa v vodi lebdi (lebdeča plavina oziroma lebdeči tovor ali suspenz).

Vodni tok lahko tovor skozi jamo zgolj prenaša (transport brez odlaganja), lahko pa ga tudi odlaga, sedimentira (transport z odlaganjem). Transport brez odlaganja poteka pod pritiskom, ko nobeno zrno kamnine ne more obstati na mestu, transport z odlaganjem pa predstavlja ravnotežje med pretokom in tovorom.

Gradivo, ki predstavlja plavino v kraškem podzemlju, ima v glavnem naslednje vire:

- prod in pesek iz karbonatnih kamnin, v katerih je jama;
- netopni ostanek apnenca, v katerem je jama;
- netopni ostanek klastičnih kamnin nad podzemeljskim sistemom;
- erodirano gradivo s sosednjih klastičnih kamnin.

Zgornji del porečja Reke, do Cerkvenikovega mlina, ki je 7,4 km pred ponorom v Škocjanske jame, obsega 331 km². Od tega je 60 % površja na vododržnih kamninah, 28 % na prepustnih (karbonatnih) kamninah in 12 % na nevezanih sedimentih. Povprečna nadmorska višina tako določenega dela porečja Reke je 572 m, povprečni naklon površja pa 14° (Rojšek 1983).

Absolutni mesečni in letni odtok močno kolebata. Srednji pretok Reke je 8,95 m³ s⁻¹, najmanjši 0,16 m³, največji pa 387 m³. Nalivi povzročajo nenadne in silovite poplavne valove, ki se posebno močno odražajo v Škocjanskih jamah in v podzemlju dalje navzdol ob Reki. Voda lahko naraste za okoli 80 m v Škocjanskih jamah, za 100 m v Kačni jami ter za 93 m v Labodnici (ZVSS 1978; Rojšek 1983; Mihevc 1983; Boegan 1938).

Od Bistriške kotline do Škocjanskih jam — ta del je predvsem pomemben za transport gradiva skozi Škocjanske jame — meri Reka dobrih 30 km in ima 2,9 ‰ padca. Podzemeljski del toka ima okoli 7 ‰ padca, več v začetnem delu (16 ‰ med Škocjanskimi jamami in Labodnico), manj pa proti izlivu v morje (od Labodnice do morja le še 1,5 ‰).

Škocjanske jame merijo vsega skupaj dobrih 5 km, od tega je 2,7 km podzemeljske struge Reke (Šerko & Michler 1952). Tako je realni, ne povprečni, padec Reke v Škocjanskih jamah, med Mahorčičevo jamo in Martelovim jezerom, kar 35 ‰ (D. R. 1984). Seveda naklon struge v podrobnostih ni enakomeren, ampak se izmenjujejo strmejši odseki (slapovi in brzice) s položnejšimi ali celo ravnimi odseki.

Struga podzemeljske Reke (često je to vsa »jama«) je široka 3—15 m. Njeno dno je pretežno izdolbeno v živi skali, le manjši odseki so prekriti z rečnimi nanosi. V glavnem so grobozrnati sedimenti odloženi v sami strugi ali tik nje, v zatišnih krajih in više nad strugo pa se pojavljajo vedno bolj drobnozrnati sedimenti. Kjer je dovolj velik rov in primerno oblikovan, dobimo na enem prerezu ves spekter sedimentov.

Tak primer je ustje Czoernigove jame. V zatišni kot pod ustjem odlaga Reka najrazličnejše plavje ter zelo grob prod in balvane. Slabo zaobljeni apnenčevi balvani merijo do 30—40 cm v dolžino, vmesni prodniki iz flišnega peščenjaka pa do 15 cm. Podoben, le malo manj grob sediment sega v ustje Czoernigove jame, kakih 5 m nad gladino nizke vode. Ta prehaja navzgor v drobnejši prod in preko peska v peščeno-ilovnati sediment, ki prekriva samo dno Czoernigove jame.

Voda Reke nosi obe vrsti plavja — lebdeči tovor (suspenz) in rinjeni tovor (pretežno prod). Nekaj lebdečega tovara nosi Reka tudi ob najnižjem vodnem stanju, čeprav je ta količina malenkostna v primerjavi s količino ob visoki, močno kalni vodi. Razmerje med najmanjšimi in največjimi količinami lebdečega tovara je okoli 1 : 1350.

Vsakodnevna opazovanja tekom slabih treh let (1909—1911) kažejo, da je bila največja količina lebdečega tovara v izvirih Timava 1 930 g suspenza na 1 m³ vode, pred ponorom v Škocjanske jame pa okoli 2 000 g/m³. Sicer naj bi bila voda 70 % dni v letu »popolnoma čista«, povprečna količina lebdečega tovara pa je 22,8 g/m³ (Boegan 1938; Timeus 1912). Tudi sam sem občasno opazoval lebdeči tovor v Reki (31 opazovanj v letih 1980—1984) in še zdaleč nisem dobil tako visokih maksimalnih količin, največ 48 g/m³. Verjetno nisem

nikoli zajel vzorca v pravem trenutku, razlike pa so lahko tudi zaradi različnih metod tako vzorčevanja kot tudi merjenja. Pač pa sta kljub vsemu presenetljivo blizu povprečka — $22,8 \text{ g/m}^3$ iz let 1909—1911 in $17,3 \text{ g/m}^3$ po mojih opazovanjih (razlika znaša 24 %).

Pri svojih opazovanjih ne ločim posebej organskega in anorganskega lebdečega tovora, vendar moram pripomniti, da je ob nizkih vodah, ko je voda sicer že na videz močno onesnažena, delež organskega suspenza okoli 70 %. V primeru nizkih voda torej ne gre toliko za transport naravno zdrobljene kamnine, ampak predvsem za organske drobce, ki so v veliki meri rezultat človekovega onesnaževanja (Kranjc 1983).

Reka dobiva največ lebdečega tovora s flišnega dela porečja. Občasna opazovanja kažejo, da imajo pritoki s fliša povprečno trikrat večje količine lebdečega tovora na volumsko enoto vode, kot pa sama Reka. Glede na povprečni pretok lahko računamo, da prenaša Reka letno skozi Škocjanske jame okoli 6 000 t grobega lebdečega tovora (delci nad 0,001 mm), kar predstavlja, po podatkih ZVSS (1978), 12 % vsega hribinskega materiala, kar se ga letno sprostí v porečju Reke. Preračunano na ploskovno enoto je to okoli 30 t/km^2 letno s flišnega dela porečja.

Ob sedimentiranju bi dalo 6 000 t lebdečega tovora okoli $3 500 \text{ m}^3$ kompaktne »jamske ilovice« s specifično težo 1,7. Kot zanimivost naj dodam, da meri prvi, ravni del Tominčeve jame v sklopu Škocjanskih jam okoli $3 300 \text{ m}^2$ Ves ta prostor prekriva jamska ilovica. Če bi bila odložena povprečno 1 m na debelo, bi to predstavljalo približno enoletno količino lebdečega tovora Reke.

Lebdeči tovor, ki ga Reka danes odlaga, sodi v sediment, ki je po granulaciji melj in blato (Shepard 1954).

Na podoben način sem pred leti (Kranjc 1982) opazoval količino lebdečega tovora, ki ga odnaša Pivka skozi Postojnsko jamo. Ob srednji količini lebdečega tovora 16 g/m^3 bi bil povprečni letni pretok lebdečega tovora skozi Postojnsko jamo 3 058 t oziroma $11,4 \text{ t/km}^2$ na leto. Te količine so okoli dvakrat manjše od količin v Reki in lahko predpostavljamo za porečje Reke tudi temu primerno večjo erozijsko intenzivnost. Pač pa sem v potoku Lokva na Pivki, potok ponika v Jamo pri Predjami, dobil toliko večjo vrednost lebdečega tovora: 57 g/m^3 v povprečju in maksimum $969,5 \text{ g/m}^3$. Te vrednosti so že bolj podobne tistim iz Škocjanskih jam, kar je po eni strani tudi razumljivo, saj tako Reka kot tudi Lokva pripadata Jadranskemu povodju in imata veliko večji erozijski potencial, kot pa Pivka.

Vezni člen oziroma prehod med lebdečim tovorom in prodom predstavlja pesek. Tako imenovane »peščene sipine« iz podzemlja ob Reki sodijo po velikosti zrn v skupino od drobnega peska do drobnega proda. Drobní pesek je odložen predvsem v više ležečih rovih, ki jih današnja poplavna voda le zelo redko doseže. V nižjih rovih, vključno z Labodnico, pa je bolj grobozrnat peščen sediment.

To pomeni, da je pesek tudi glede odlaganja prehodni člen: drobní pesek Reka tako kot lebdeči tovor pretežno nosi s seboj proti morju, drobní prod pa sodi že med sedimente, ki jih Reka redno odlaga, s čimer pa seveda ni rečeno, da jih obenem ne prenaša dalje. Glede na to, da se ta tip sedimenta odlaga pri hitrosti vode okoli $0,01\text{--}0,1 \text{ m s}^{-1}$, je zgornja ugotovitev povsem

razumljiva. Drobní pesek in melj (hitrost toka pod $0,01 \text{ m s}^{-1}$) se lahko usedata le ob najnižjih vodah, ko je pretok minimalen, ali pa v zatišnih stranskih rovih, ki jih zalije poplavna voda, a skožnje ne teče. Ker pa nizka voda praktično ne nosi sedimentov, nam ostane predvsem druga varianta. Sortiranost peska v Škocjanskih jamah in v Kačni jami je slaba, kar kaže na »hudourniški« tip toka. Bolje sortirani rečni nanosi se pojavijo šele v Labodnici.

Reka prenaša tudi razmeroma veliko, vsaj za kraške reke, proda. V njeni površinski strugi je preko 90 % prodnikov iz flišnega peščenjaka, ostalo so kremenovi in karbonatni prodniki. S prestopom na apnenca se prične to razmerje hitro spreminjati: pod Škofljami je delež apnenčevih prodnikov 20 %, v Mahorčičevi jami 30 %, v Kačni jami pa že 60 %. Istočasno se v podzemlju vzdolž toka Reke tudi zmanjšuje velikost prodnikov. Največji dotok apnenčevega drobirja v strugo Reke je torej takoj za prestopom na apnenca, še posebej v soteski pod Škofljami in v začetnem delu Škocjanskih jam. Zaradi tega in pa zaradi povečanega strmca v podzemlju voda flišne prodnike še hitreje drobi in melje v pesek. To dokazuje tudi dejstvo, da postajajo prodniki vedno manjši, vendar se ob tem bistveno ne veča indeks zaobljenosti. Glede na splošni trend manjšanja prodnikov lahko računamo, da ta granulacijska skupina nekje med Kačno jamo in med Labodnico sploh izgine. Prod se odlaga, ko pade hitrost vode v Reki na $50\text{--}140 \text{ cm s}^{-1}$.

Če primerjamo podatke o fosilni akumulaciji na krasu, ki jih je navedel D. Radinja (1967), ob predpostavki, da je bila ob odložitvi ta akumulacija podobne sestave, kot današnji prod v Reki, s temi iz Reke, lahko domnevamo, da predstavljajo ohranjeni kremenovi (silikatni) prodniki od 5—10 % nekdanjega prodnega nanosa, vmesni pesek pa bi bil lahko tudi rezultat razpadanja flišnih prodnikov. 20—30 % nanosa, takšen je delež karbonatnih prodnikov v današnjemrodu, pa bi lahko odstranila korozija.

Pri preučevanju podzemlja ob Reki pa ne smemo upoštevati le njenega sedanjega transporta trdnih delcev in sedimentov, ki so ohranjeni v podzemlju, ampak vse sedimente, ves tovor, ki ga je Reka v teku razvoja prenesla skozi Škocjanske jame, to je ves reliefni primanjkljaj v neprepustnem delu njenega porečja, od tistega časa dalje, ko je prenehala teči po površju. Z vidika rečnega transporta je porečje kraške ponikalnice zaprto, z enim samim izhodom — skozi podzemlje.

Po podatkih Zveze vodnih skupnosti (ZVSS 1978, 6/12) se s 150 km^2 neprepustnega dela porečja Reke sprostí letno $59\,280 \text{ m}^3$ hribinskega materiala oziroma kamninskega drobirja. Preračunano na površino je to $359 \text{ m}^3/\text{km}^2$ letno. Od tega pride letno v strugo Reke okoli $24\,100 \text{ m}^3$ (41 %) oziroma okoli $160 \text{ m}^3/\text{km}^2$ letno. Ta količina predstavlja lebdeči in rinjeni tovor in obenem je to približna količina tovara, ki ga Reka letno prenese skozi Škocjanske jame.

Glede na prejšnje navedbe bi Reka prenašala letno slabih $4\,000 \text{ m}^3$ lebdečega tovara ter dobrih $20\,000 \text{ m}^3$ peska in proda, in to le z neprepustnega sveta. Če upoštevamo delež karbonatnih prodnikov v Škocjanskih jamah, približno 30 %, lahko rečemo, da prenaša v današnjem stanju Reka skozi Škocjanske jame letno vsega skupaj okoli $30\,000 \text{ m}^3$ gradiva, zdrobljene kamnine. Če si, zgolj za ilustracijo, predstavljamo, da bi taki pogoji trajali 10 000 let, kar v razvoju neke pokrajine ne pomeni veliko, bi v tem času Reka odnesla skozi

podzemlje 300 milijonov m³ gradiva — to pa je volumen okoli 350 m široke (pri vrhu), 170 m globoke in 10 km dolge doline. Ponavljam, da je to le primer za predstavo velikostnega reda dogajanj, nikakor pa to ni podatek. Če letni odtok trdnega gradiva razporedimo enakomerno po vsem neprepustnem delu porečja Reke, dobimo znižanje površja za 0,16 mm letno — tudi to zgolj za ilustracijo.

Vsekakor pa ti podatki nedvomno kažejo na močan vpliv erozije, mehanske erozije, ne kraške, to je erozije, o kateri v okviru geomorfologije krasa ne govorimo veliko. Brez dvoma je imela ta erozija tudi močan vpliv na razvoj Škocjanskih jam, saj voda skozi nje ni tekla le nekaj deset tisoč let, ampak vsaj nekaj sto tisoč let.

LITERATURA

- Boegan, E., 1938: Il Timavo. Pp. 1—251, Trieste.
- D. R., 1984: Večje Škocjanske jame. Delo, 28. 5. 1984, p. 14, Ljubljana.
- Kranjc, A., 1982: Erozija v porečju Pivke. Geogr. vestnik, 54, 9—17, Ljubljana.
- Kranjc, A., 1983: Recentni fluvialni sedimenti v Škocjanskih jamah. Mednar. simp. Zaščita krasa ob 160-letnici turist. razvoja Škocjanskih jam, 27—31, Sežana.
- Mihavec, A., 1983: Onesnaževanje Kačne jame. Mednar. simp. Zaščita krasa ob 160-letnici turist. razvoja Škocjanskih jam, 57—59, Sežana.
- Radinja, D., 1967: Vremenska dolina in Divaški kras. Geogr. zbornik, 10, 159—269, Ljubljana.
- Rojšek, D., 1983: Hidrogeografske značilnosti in degradacija porečja Notranjske Reke in Škocjanskih jam. Mednar. sim. Zaščita krasa ob 160-letnici turist. razvoja Škocjanskih jam, 52—56, Sežana.
- Shepard, F. P., 1954: Nomenclature based on sand-clay ratios. Jour. Sed. Petrology, 24, 151—158.
- Timeus, G., 1912: Indagini sulle torbide del Timavo (V: Ricerche sul Timavo inferiore). Pp. 23—29, Trieste.
- Zveza vodnih skupnosti Slovenije, 1978: Vodnogospodarske osnove Slovenije. Pp. 1—16/2, Ljubljana.

UNDERGROUND FLUVIAL SEDIMENTS TRANSPORT AS AN EXAMPLE FROM ŠKOCJANSKE JAME (KRAS, SLOVENIA)

Summary

Notranjska Reka river has a basin of about 300 km², 60 % of it on the impermeable rocks. Mean annual discharge is 8.95 m³s⁻¹, with minimum 0.16 m³ and maximum 387 m³.

The surface stream, between Ilirska Bistrica and the ponor into Škocjanske jame has 2.9 ‰ of gradient. Underground part of river bed is more steep, 7 ‰ in average, more in the first part (16 ‰ to the pothole Labodnica) and less in the second part (1.5 ‰ between Labodnica and Adriatic Sea). Real gradient in Škocjanske jame is even 35 ‰.

Reka transports through the karst underground both kinds of solid transport, suspended material and bed load. The mean quantity of suspended material in Škocjanske jame is 22.8 g/m³ of water, with maximum about 2 000 g/m³. One can say that Reka carries about 6 000 t of suspended material (above 0.001 mm) per year through Škocjanske jame, that is about 30 t/km² per year from the impermeable rocks. Suspended material presents about 12 ‰ of all the weathered material in the river basin of Reka.

This means that the river Reka has nearly twice as much of suspended material as Pivka river has. The last mentioned transports through Postojnska jama of about 3 000 t per year, that is about 11.4 t/km²/year and has 16 g of suspended material per m³ of water in average. But the erosion in near lying Lokva brook basin (belonging also to the Adriatic Sea catchment area) is similar to that of Reka: 57 g/m³ of suspended material, with observed maximum of 970 g/m³.

Reka transports relatively a lot of gravel too. On the impermeable rocks gravel consists of flysch sandstone pebbles (90 ‰) mostly the rest are silicious and carbonate ones. Downstream, on the limestones, the rate of carbonate pebbles increases: 20 ‰ in the beginning of the gorge, 30 ‰ in Mahorčičeva jama (first part of Škocjanske jame), and 60 ‰ in Kačna jama, few km downstream of Škocjanske jame.

From impermeable rocks it comes to the river bed of Reka about 24 000 m³ of material per year (160 m³/km² year). About 20 000 m³ of this material is in the form of gravel. If we add to this amount also the input of carbonate pebbles from the carbonate terrains, we can say that Reka transports annually about 30 000 m³ of weathered rocks through Škocjanske jame. Without doubt this transport plays an important role as mechanical erosion in underground Reka's channels.

Just for illustration — in 10 000 years this means 300 millions of m³, which is the volume of 350 m wide (on the top), 170 m deep, and 10 km long valley.