

KOROZIJA PRI VERTIKALNEM PRENIKANJU VODE

(Z 2 SLIKAMA)

CORROSION DURING VERTICAL WATER PERCOLATION

(WITH 2 FIGURES)

JANJA KOGOVŠEK

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. JANJA KOGOVSEK, višji razisk. sodel.
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU
Titov trg 2
66230 Postojna
Jugoslavija

Izvleček

UDK 551.311.24.053(24)(497.12)

Kogovšek Janja: Korozija pri vertikalnem prenikanju vode.

Študij vertikalnega prenikanja vode je pokazal na višjo stopnjo korozije na Krašu (do $320 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$) v primerjavi z Notranjskim krasom (do $260 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$). Vendar pa je intenzivnost korozije odvisna predvsem od količine padavin. Meritve korozijskega učinka vodnih valov curkov v Planinski jami kažejo na premosorazmerno odvisnost med masnim pretokom raztopljenih karbonatov in volumskim pretokom prenikle vode. Ustrezna prepustnost vodnikov omogoča tudi odnašanje drobnih trdnih delcev, tako da nastopa pri vertikalnem prenikanju dvojni doprinos k zakrasevanju.

Abstract

UDC 551.311.24.053(24)(497.12)

Kogovšek Janja: Corrosion during vertical water percolation.

The study of vertical water percolation showed higher rate of corrosion on classical Karst (up to $320 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$) compared to this one on Notranjski kras (up to $260 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$). But the corrosion intensivity depends mostly on precipitation quantity. The measures of water pulses corrosion effect in Planinska jama showed proportional dependence between mass discharge of dissolved carbonates and volume discharge of percolated water. Corresponding aquifers permeability renders possible the transport of thin particles, thus there is double effect of karstification during the vertical percolation.

UVOD

Osnovna značilnost krasa, zakrasevanje, je dinamično dogajanje, ki vključuje tudi učinkovanje vertikalno prenikajoče vode v danem karbonatnem masivu z značilno pretrostjo kamnine, razpokami in prelomi ter značilnim vegetacijskim pokrovom, pod vplivom klimatskih razmer s temperaturnimi in padavinskimi nihanjem. Rezultat medsebojnega učinkovanja vseh teh številnih faktorjev je korozijsko preoblikovanje krasa, ki se mu pogosto pridružuje še na korozijo vezana erozija. Glavno vlogo pri teh procesih ima nesporno voda. Količina in razporeditev padavin, ki sta značilna za posamezno klimatsko področje, vplivata na preskrbljenost krasa z vodo. Z vse večjo industrializacijo in vzporedno vse večjimi količinami odpadnih snovi tudi v zraku, pa bomo morali računati tudi z vse bolj onesnaženimi padavinami in njihovim dodatnim korozijskim učinkom. Prst in vegetacija sodelujeta pri produkciji in odmiranju organskih snovi in tako pri nastajanju CO_2 , kot končnem produktu razgradnje, ki skupaj z vodo uravnava korozijsko raztapljanje pri prenikanju vode skozi karbonatne kamnine.

KOROZIJA PRENIKAJOČE VODE

Padavinska voda lahko že na zelo kratki poti prenikanja raztopi znatne količine karbonatov. I. G a m s (1967) je izmeril v prenikli vodi v spodmolu Groblje pri Stari vasi, kjer penika voda le skozi 1—2 m debel strop, celokupno trdoto do $196 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$. Mi smo v jami Vilenici že takoj za vhodom, ko jamski strop ne dosega niti 10 m, zabeležili karbonatno trdoto $245 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$. Ob koncu turističnega dela, ko debelina stropa dosega približno 130 m pa $275 \text{—mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$. Na vmesnih točkah smo večkrat zabeležili tudi nekoliko višje vrednosti. Te meritve, kot tudi meritve v drugih jamah jasno kažejo, da prihaja do pomembnega raztapljanja karbonatov verjetno že kar na meji med prstjo in matično kamnino, kjer zaradi medsebojnega učinkovanja nastaja plast drobnih delcev kamnine, ki omogoča večjo kontaktno reakcijsko površino. Pri ustreznih hidrodinamičnih pogojih pretakanja pa voda te delce delno lahko odnaša tudi s seboj, kar potrjuje suspenz v prenikli vodi. Nadaljnje raztapljanje ali izločanje na poti prenikanja pa je odvisno od pogojev, ki vladajo v karbonatnem masivu. Močna prelomljenost, razpokanost in pretrtost kamnine, ki omogočajo dobro prezračevnost karbonatnega masiva, sprožijo pri prenasičeni prenikajoči vodi izločanje. Obratno pa pretakanje po bolj ali manj zaprtem sistemu vodnikov onemogoča izločanje. Iz tega sledi, da količina raztopljenih karbonatov nikakor ni odvisna od debeline karbonatnega masiva, skozi katerega penika, ampak predvsem od pogojev, ki pogojujejo produkcijo in raztapljanje CO_2 v vodi ter načina prenikanja. O različnih načinih prenikanja je že poročal M. B a k a l o w i c z (1979).

V podzemeljskih jamah, ki nam omogočajo opazovanje prenikajoče vode, srečamo drobna enakomerna kapljanja kot tudi manjše in izdatnejše curke, ki so lahko stalni ali pa se pojavljajo le občasno. V Planinski jami je pri manjših curkih znašalo razmerje med minimalnim in maksimalnim pretokom 1:100, pri večjih pa 1:1000 (P. H a b i č & J. K o g o v š e k, 1980). Gostoto curkov in njihovo izdatnost pogojuje poleg količine in razporeditve padavin ter vpliva vegetacije tudi zgradba jamskega stropa, ki pa se že na kratkih razdaljah lahko zelo razlikuje.

Meritve karbonatne, kalcijeve in magnezijeve trdote v različnih jamah našega krasa so pokazale precejšnje razlike na opazovanih področjih, čeprav

Tabela 1

Jama	Karbonatna trdota ($\text{mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$)	
	minimalna	maksimalna
Planinska jama	100	260
Postojnska jama — Pisani rov	86	180
Predjama	150	245
Škocjanske jame	90	315
Vilenica	140	330
Divaška jama	100	320
Dimnice	80	285
Pivka jama	115	260

že v posamezni podzemeljski jami srečamo celo paletu trdot prenikle vode, ki izvirajo predvsem iz različnega načina prenikanja in sezonskega nihanja trdot. Pri kapljanjih in curkih, ki jim karbonatna trdota preko leta sezonsko niha, smo zabeležili najvišje vrednosti septembra, oktobra in novembra, ko se končuje obdobje rasti in prično izdatne jesenske padavine po daljšem sušnem obdobju intenzivno spirati jamski strop. Redna letna vzorčenja, ponekod pa tudi le občasna, so podala maksimalne in minimalne karbonatne trdote, oz. stopnje korozije, ki so dane v določenih jamah in so razvidne iz tabele 1.

Opazno višje trdote prenikle vode v jamah na Krasu govore za višjo stopnjo korozije. Vendar pa nižje letne padavine na teh območjih rezultirajo v manjši zalogi vode v zaledju curkov, tako da se stalno ohranjajo le drobna kapljanja, izdatnejši curki pa niso stalni. Verjetno prav te ekstremne spremembe v zaledju curkov vplivajo na velika nihanja karbonatne trdote, oz. stopnjo korozije.

Za kolikor toliko točno sliko učinka korozije v določenem času bi potrebovali zvezno merjenje pretoka pa tudi trdot, ki so merilo odnešenih raztopljenih karbonatov, na izbranem reprezentativnem območju. Šele tako dobljene vrednosti bi nam omogočile izračun korozijskega učinka na posameznih področjih krasa, ki bi jih lahko primerjali.

Dogajanje pri vertikalnem prenikanju vode med letom bi lahko razstavili na obdobja velikih dogajanj, ko gre za skokovite spremembe tako pretoka kot trdot z znatnim korozijskim učinkom in obdobja zveznega dogajanja manjših sprememb in enakomernega, manjšega korozijskega učinka. Podrobno spremljanje takih značilnih dogajanj nam da dragocene podatke o korozijskem dogajanju.

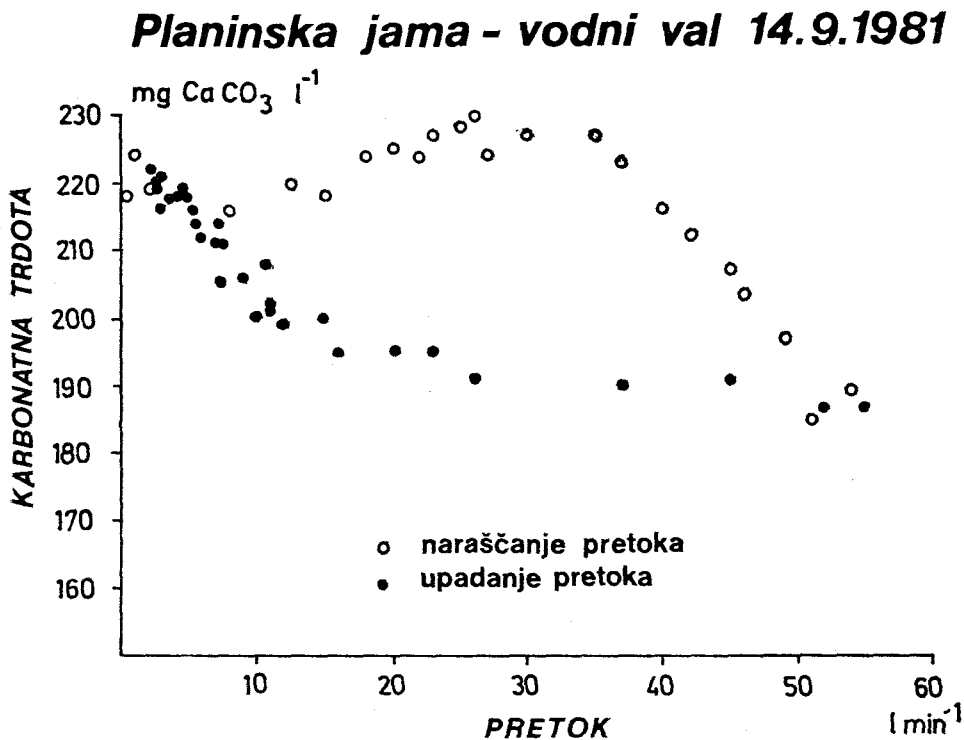
Opazovanje takih, tako imenovanih vodnih valov, reakcij curka v jami na znane padavine na površju, smo izvedli v Planinski jami. Zvezne meritve pretoka ter pogostne meritve karbonatne, kalcijeve in magnezijeve trdote so nam omogočile izračun učinka korozije v takem elementarnem dogodku. Hkrati pa so nam redne meritve suspendiranega materiala, ki ga je tudi nosila prenikajoča voda, podale še informacijo o odnašanju trdnih delcev pri vertikalnem prenikanju.

Voda ima torej aktivno vlogo pri kemijskem raztapljanju karbonatov, hkrati pa služi kot transporter raztopljenih karbonatov, kot tudi drobnega suspendiranega materiala, ki je bil v našem primeru kar v 80 % karbonaten. Koncentracija suspenza v prenikli vodi je v vodnem valu naraščala z naraščajočim pretokom, ko je imela voda največjo moč. Podobno prinašanje suspenza smo opazili tudi v drugih jamah. Do tega transporta prihaja predvsem pri curkih z ustrezno prepustnostjo dovodnih vodnikov, ki pogojujejo dovolj velike pretoke z ustrezno transportno močjo vode. Drobna razpoka, ki jo voda z raztapljanjem postopoma širi, kasneje lahko postane prepustna tudi za majhne trdne delce. Tako bi lahko rekli, da pri vertikalnem prenikanju korozija utira pot transportu trdnih delcev, ki poleg korozije dodatno prispeva k zakrsevanju.

KOROZIJA VODNIH VALOV V PLANINSKI JAMI

Vodni val curka 1 v Planinski jami 19. 5. 1978, ki ga je sprožilo 45 mm padavin je dosegel maksimalni pretok 80 l min^{-1} . Karbonatna trdota je sočasno z naraščujočim pretokom upadala do $145 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ in po upadanju pretoka zopet narasla na $195 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$. Koncentracija suspendiranih delcev, ki jih je voda nosila s seboj, je dosegla vrednost 255 mg l^{-1} , nato pa je upadala. V osrednjem delu vodnega vala, ki obsega 17 ur, je preteklo skozi omenjeni curek 41 m^3 vode, ki je nosila 6,8 kg raztopljenih karbonatov (kot CaCO_3) in 5,9 kg suspendiranega materiala. Pri tem curku sta bila v vodnem valu korozija in transport trdnih delcev približno enakovredna (J. Kogovšek, P. Habič, 1981).

V poletnem obdobju, ko je malo padavin in je evapotranspiracija znatna, so zaloge vode v zaledju curkov minimalne. V tem obdobju padavine na površju pogosto ostajajo brez reakcije pretokov v jami. Ker pa se zaledje curkov le nekoliko polni, lahko prve nekoliko izdatnejše padavine sprožijo vodni val v jami. Tak vodni val smo spremljali pri curkih 1 in 6. Dne 20. 8. 1981 je 21 mm padavin nad jamo pri curku 1 povečalo pretok na $1,5 \text{ l min}^{-1}$, pri curku 6 pa na



Sl. 1. Odvisnost karbonatne trdote od pretoka ob naraščanju in upadanju pretoka v vodnem valu

Fig. 1. Dependence of carbonate hardness of discharge during the discharge increase and decrease in water pulse

4,5 l min⁻¹. Skozi curek 1 je priteklo le nekaj sto litrov prenikle vode, skozi curek 6 pa približno 1000 litrov. Karbonatna trdota je s pretokom celo nekoliko porasla in ni prišlo do upada, kot v izdatnejših vodnih valovih spomladi in jeseni. Izgleda, da so padavine v zaledju curka povečale hidrostatični pritisk le toliko, da je potisnil staro zastajajočo vodo iz zaledja curkov.

Sledilo je 47 mm padavin 1. 9. 1981, na katere je curek ponovno reagiral in dosegel maksimalni pretok 30 l min⁻¹, ki pa nam ga žal ni uspelo vzorčevati. Skozi curek je preteklo 3,8 m³ vode. 17 mm padavin 10. 9. 1981 je imelo le šibko reakcijo pretoka; 39 mm dežja, ki je padel 13. in 14. 9. 1981 pa je sprožil izrazitejši vodni val z maksimalnim pretokom 55 l min⁻¹. Karbonatna trdota je z vrednosti 220 mg CaCO₃ l⁻¹ upadla do 185 mg CaCO₃ l⁻¹, nato pa z upadajočim pretokom zopet dosegla izhodno vrednost. Sorazmerno visoka vrednost najnižje dosežene karbonatne trdote v primerjavi z drugimi vodnimi vali (143 mg CaCO₃ l⁻¹), govori za mešanje nove in zastajajoče vode v zaledju curka, oz., da nova voda še ni izpodrinila vse stare vode, ki se je zadrževala v jamskem stropu od spomladanskega dežja in so se ji pridružile le še manjše količine vode poletnih neviht. V jamo je priteklo 12 m³ vode, ki je s seboj prinesla 2,3 kg raztopljenih karbonatov. Iz slike 1 so razvidne višje vrednosti karbonatne trdote ob naraščanju pretoka v primerjavi ob upadanju pretoka ob sicer enakih pretokih. Tako dvojno obnašanje, ki smo ga opazili tudi v drugih valovih bo potrebno še podrobneje razjasniti.

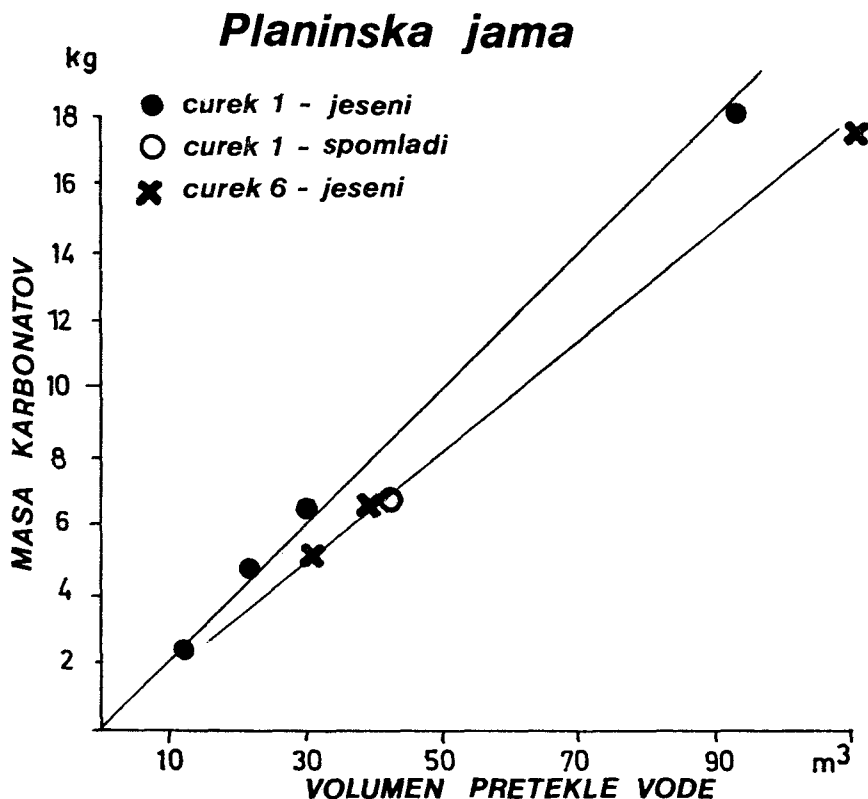
Bistveno drugačna slika pa nastopa ob prvem izdatnem jesenskem deževju. Karbonatna trdota dosega v tem obdobju maksimalne vrednosti. Izdatne padavine (150 mm) z začetkom 8. 10. 1980, so sprožile pri curku 1 močno povečanje pretoka (do 100 l min⁻¹) in upad karbonatne trdote od 230 na 143 mg CaCO₃ l⁻¹. Dvoje manjših padavin je po dveh dneh sprožilo še dva manjša vodna valova, (J. Kogovšek, 1982). Rezultati meritev in izračunane vrednosti količine prenikle vode in korozijsko odnešenih karbonatov v vodnih valovih pri curkih 1 in 6, so razvidni iz tabele 2 in slike 2.

Tabela 2

Vodni val	curek	padavine mm	maks. pretok l min ⁻¹	količina pren. vode m ³	količina raztopljenih karbonatov kg
19. 5. 1978	1	45	80	42	6,8
20. 8. 1981	1	21,5	1,5	400	
20. 8. 1981	6	21,5	4,5	1	
14. 9. 1981	1	39	55	12	2,3
8. 10. 1980	1	150	100	90	18
8. 10. 1980	6	150	110	110	17,5
11. 10. 1980	1	23	50	22	4,8
11. 10. 1980	6	23	75	39	6,6
12. 10. 1980	1	29	60	30	6,4
12. 10. 1980	6	29	90	31	5,1

Kot je razvidno iz slike 2, je učinek korozije dokaj premosorazmeren količini vode. Odstopanje smo zabeležili pri curku 1, ko smo pri vodnem valu spomladi, ko nastopajo najnižje trdote med letom, izračunali nekoliko manjši korozijski učinek. Karbonatna trdota v vodnih valovih tudi pri pretokih 100 l min^{-1} in več ni upadla pod $140 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$. Tako nosi v celoletni bilanci korozije curkov levji delež prav korozija in spremljajoča erozija v času vodnih valov.

Linearno odvisnost med volumskim pretokom vode in masnim pretokom raztopljenih karbonatov so za izvire in reke ugotavljali že številni raziskovalci; za Veliki Obrh in Logaščico je to odvisnost podal I. G a m s (1980). P. H a b i č (1968) pa ugotavlja, da je za množino raztopljene kamnine zelo pomembna množina vode, medtem ko so trdote voda drugotnega pomena. Pri kraški cirkulaciji raztopi padavinska voda velik delež karbonatov že na kratki poti prenikanja. Pri zbiranju take vode v večje tokove, je njena nadaljnja korozijska sposobnost, če ne pride do kakšne bistvene spremembe pogojev, majhna. Do



Sl. 2. Odvisnost mase korozijsko odnešenih karbonatov od volumna pretekle vode v opazovanih vodnih valovih

Fig. 2. Mass dependence of corrosionally transported carbonates on the volume of percolated water in observed water pulses

večjih sprememb prihaja ob izdatnejših padavinah, ko padavinska voda razredčuje kraško vodo in povečuje korozijski potencial. Podobno pa lahko vplivajo tudi nekraški pritoki z nizkimi trdotami.

SKLEPI

Različne klimatske in vegetacijske razmere ob danih značilnostih kamninske zgradbe karbonatnega masiva, skozi katerega prenika voda, vplivajo na različno stopnjo korozije na posameznih območjih. Karbonatna trdota na Krasu dosega vrednost do $330 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$, na Notranjskem krasu pa do $260 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$. Letna nihanja razmer na površju (padavine, temperatura, vegetacija) pogosto vplivajo na sezonsko nihanje trdot med letom. Vendar pa na potek korozije odločilno vpliva način prenikanja vode.

Pri vertikalnem prenikanju obsega letno dogajanje obdobja velikih sprememb ob izdatnih padavinah z znatnimi korozijskimi učinki in obdobja enakomernega dogajanja, ko gre za opazno manjši prispevek h koroziji. Tako ob jesenskem deževju raztopi prenikajoča voda curka 1 v Planinski jami v dveh dneh tudi do 18 kg karbonatov, v poletnem sušnem obdobju ob minimalnih pretokih pa le 120 g.

Celoletna količina karbonatov, ki jih raztopi prenikajoča voda tega curka znaša od 230 do 430 kg. Ta količina je sorazmerna letni količini prenikle vode. Tudi spremljanje vodnih valov je pokazalo linearno odvisnost med korozijsko odnešenimi karbonati in preteklo preniklo vodo, tako da lahko splošno, da je korozijski učinek pri vertikalnem prenikanju odvisen predvsem od količine vode.

LITERATURA

- Bakalowicz, M., 1979: Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et la carstification. Thèse, 1—296.
- Gams, I., 1967: Faktorji in dinamika korozije na karbonatnih kamninah slovenskega dinarskega in alpskega krasa. Geografski vestnik 38, 11—68, Ljubljana.
- Gams, I., 1980: Poglavitni dejavniki kemične erozije na krasu po svetu. Geografski vestnik 52, 3—15, Ljubljana.
- Habič, P., 1968: Kraški svet med Idrijco in Vipavo. 1—243, Ljubljana.
- Habič, P., Kogovšek, J., 1980: Vertikalno prenikanje vode v krasu na primerih Planinske in Postojnske jame. Zbornik referatov 6. jug. simp. o HIG, knjiga 1, 199—207, Portorož.
- Kogovšek, J., 1982: Vertikalno prenikanje v Planinski jami v obdobju 1980/81. Acta carsologica X, 107—125, Ljubljana.
- Kogovšek, J., Habič, P., 1981: Preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame. Acta carsologica IX, 129—148, Ljubljana.

CORROSION DURING VERTICAL WATER PERCOLATION

Summary

Between Classical Karst on Notranjsko Karst the hardness measurements in general indicate different corrosion degree. Carbonate hardness on Classical Karst reaches $330 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$, while on Notranjsko at the most $260 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$. The seasonal oscillations of percolated water are conditioned by precipitation and temperature oscillations and the vegetation growth during the year. However the course of corrosion is greatly influenced by the manner of water percolation as we meet in short distances in the same cave a whole palette of different hardnesses. Observation of water pulses in Planinska jama indicated that the annual going on includes the periods of big changes during the abundant precipitations with considerable corrosion effects and the periods of constant happening when the corrosion contribution is noticeably smaller. During the water pulses the quantity of corrosionally transported carbonates is straight proportionate to percolated water and thus we can generalize that the corrosion effect during the vertical water percolation mostly depends on the quantity of water.