

NARAVNO ČIŠČENJE SANITARNIH ODPLAK
PRI VERTIKALNEM PRENIKANJU V PIVKI JAMI

NATURAL PURIFICATION OF SANITARY SEWAGE DURING
THE VERTICAL PERCOLATION IN PIVKA JAMA

JANJA KOGOVŠEK

Izvleček

UDK 556.32:614.777(497.12:24 Pivka jama)

Janja Kogovšek: Naravno čiščenje sanitarnih odpadkov pri vertikalnem prenikanju v Pivki jami

Prispevek podaja rezultate meritev odpadne komunalne vode pri prenikanju skozi 40 m debel zakrasel strop Pivke jame. Ob dani količini in kvaliteti odpadkov prihaja ob nizkih pretokih na poti prenikanja do učinkovitega samočiščenja; slabši učinek pa nastopa ob večjih pretokih, ko voda spira tudi organski suspenz iz usedline z dna greznice, ki ima sicer vlogo nekakšnega filtra.

Abstract

UDC 556.32:614.777(497.12:24 Pivka jama)

Janja Kogovšek: Natural purification of sanitary sewage during the vertical percolation in Pivka jama

The results of waste communal water measurements during the percolation through 40 m thick karstified roof of Pivka jama are dealt with. At known quantity and quality of sewage at low discharges the autopurification is efficacious on the way of percolation; at bigger discharges the effect is worse as the water washes the organic suspension from the cess-pit bottom which otherwise acts as a filter.

Naslov — Address

mag. Janja KOGOVŠEK, dipl. ing. kem., višja razisk. sodelavka
Inštitut za raziskovanje krasi ZRC SAZU
Titov trg 2
66230 Postojna
Jugoslavija

UVOD

Voda z ne preveliko količino razgradljivih odpadkov, se na dovolj dolgem poteku v odsotnosti zaviralnih učinkov, že lahko sama očisti do določene mere. Leta 1974 je skupina hidrologov pod vodstvom N. Preke in N. Preka-Lipoldove (1976) preučevala procese samočiščenja podzemeljske Pivke. Ugotovili so, da se samočiščenje v kraških podzemeljskih vodnih tokovih nemoteno odvija in da je odvisno predvsem od časa zadrževanja vodne mase v podzemlju. Čeprav je tu izključen ugoden vpliv fotosinteze, poteka razgradnja nekoliko hitreje kot pa v statičnih pogojih spremljanja razgradnje v stekleničkah BPK. Tako se Pivka v Planinski jami pojavlja že kot čista oligosaprobnna reka. Leta 1976 sta raziskovala procese v onesnaženem podzemeljskem toku Pivke tudi B. Sket in F. Velkovich (1981). Med drugim sta ugotovila, da se večina parametrov, ki kažejo na onesnaženost, do Pivke jame že močno zmanjša, medtem ko je odstotek organskih snovi v finejši frakciji sedimenta vzdolž vsega podzemeljskega toka približno enak. Pivka pa ima v podzemlju očitno še nekaj neznanih odtokov in pritokov, ki tudi vplivajo na njeno kvaliteto.

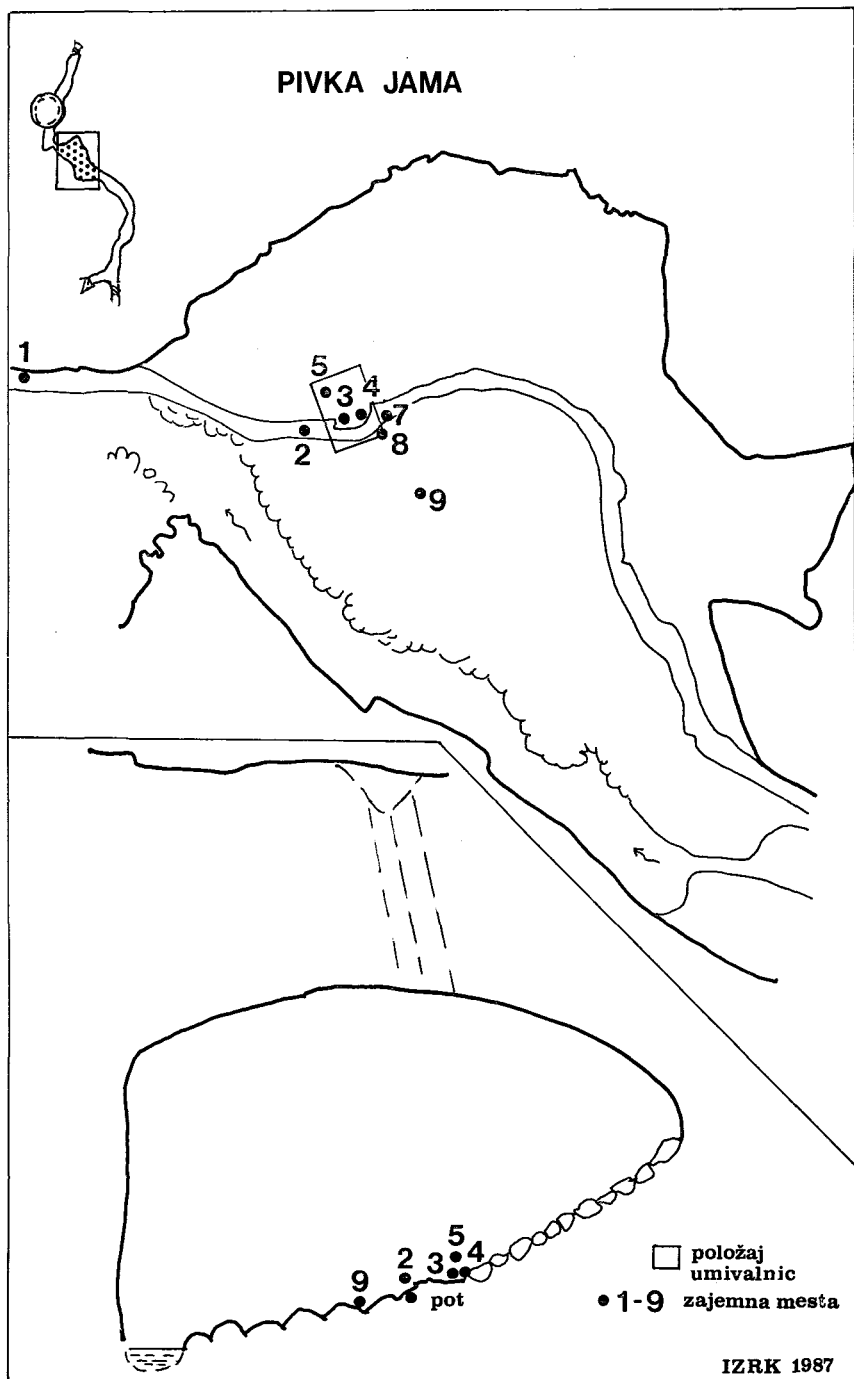
Naša naloga pa je bila ugotoviti, do kakšne mere se očisti odpadna komunalna voda pri vertikalnem prenikanju v krasu. Zato smo spremljali naravno čiščenje pri vertikalnem prenikanju odpadkov iz sanitarij in umivalnic kampa Pivke jame skozi 40 m debel jamski strop.

V turističnem kampu pri Pivki jami so do nedavna imeli sanitarije z umivalnicami v vrtači tik nad jamo. Odplake so se najprej zbirale v dvoprekatni greznici pod umivalnicami, od tam pa odtekale direktno v skalo. Ob novejši razširitvi kampa so speljali odplake iz te greznice v čistilno napravo s prezračevalnikom, ki leži v približno 100 m oddaljeni vrtači. Tja se stekajo tudi odplake iz novih sanitarij. Iz slike 1 je razviden položaj starih sanitarij na površju in opazovanih curkov v jami, ki kaže, da gre za sorazmerno direkten odtok vode v navpični smeri, tako da znaša dejanska pot prenikajoče vode nekaj več kot 40 m.

METODE DELA IN ANALIZE

Vzorke vode smo v začetku zajemali na raznih krajih v Pivki jami, kasneje pa smo se omejili na curke in kapljanja na ožjem območju pod sanitarijami, kjer prenika skozi strop onesnažena voda. Hkrati smo vzorčevali tudi odplake v greznici.

Pretok smo merili s štoparico in menzuro, temperaturo, specifično električno prevodnost in pH pa z WTW merilci na samem mestu vzorčevanja. Karbonatno trdoto, kemijsko potrebo po kisiku (KPK), biokemijsko potrebo po kisiku (BPK₅) ter vsebnost kloridov, nitratov in o-fosfatov smo določali v labo-



Sl. 1. Položaj umivalnic in sanitarij ter zajemnih mest v jami.
 Fig. 1. The situation of washrooms and sanitations and sampling points in the cave.

ratoriju še isti in naslednji dan. Vse te metode smo izvedli po standardnih metodah, ki so opisane v Standard Methods for the Examination of Wastewater (1975) in v Deutsche Einheitsverfahren für Wasser und Abwasser Analyse (1986).

Debelino jamskega stropa smo izračunali ob poznavanju nadmorskih višin površja in dna jame ter z meritvami višine stropa z meteorološkimi baloni (I. Kenda, A. Mihevc, J. Kogovšek). Ta znaša na točkah opazovanih curkov v direktni razdalji 37 do 41 m.

SPREMEMBE ODPADNE VODE PRI VERTIKALNEM PRENIKANJU

Prva opazovanja v letih 1982 in 1983

V namočenem obdobju 1981/1982 smo vzdolž naravnega dela in umetnega rova Pivke jame zabeležili številna kapljanja ter nekaj izdatnejših curkov. V sušnem obdobju so pretoki močno upadli, nekateri curki pa so celo presahnili. Na ponovne padavine so reagirali različno hitro. Iz slike 2 so razvidna nihanja pretoka, karbonatne trdote in spec. el. prevodnosti preko leta na štirih izbranih značilnih mestih. Opazni so nizki pretoki čez poletje in višji ob jesenskem in spomladanskem deževju. Izstopalo je le kapljanje na točki 3, kjer smo zabeležili poleti višje pretoke, kar je bil prvi pokazatelj, da gre za nek poseben vir te vode.

Karbonatna trdota že omenjenih štirih kapljanj je dosegala preko leta vrednosti od 100 do 250 mg $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$, kar je posledica različnega načina prenikanja, pa tudi različno intenzivnega izločanja sige že na samem stropu. Opazno je tudi manj ali bolj izrazito sezonsko nihanje karbonatne trdote. Magnezijeva trdota je nizka (do 10 mg $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$), kalcijeva pa približno enaka karbonatni trdoti, podobno kot v Postojnski jami (J. Kogovšek, 1987). Specifična el. prevodnost teh curkov se je gibala pod $500 \mu\text{S cm}^{-1}$, razen curka 3, ki je od julija do novembra imel višje vrednosti (do $600 \mu\text{S cm}^{-1}$), ob sicer nespremenjeni karbonatni trdoti, iz česar sklepamo, da na tem mestu prenika skozi strop onesnažena voda.

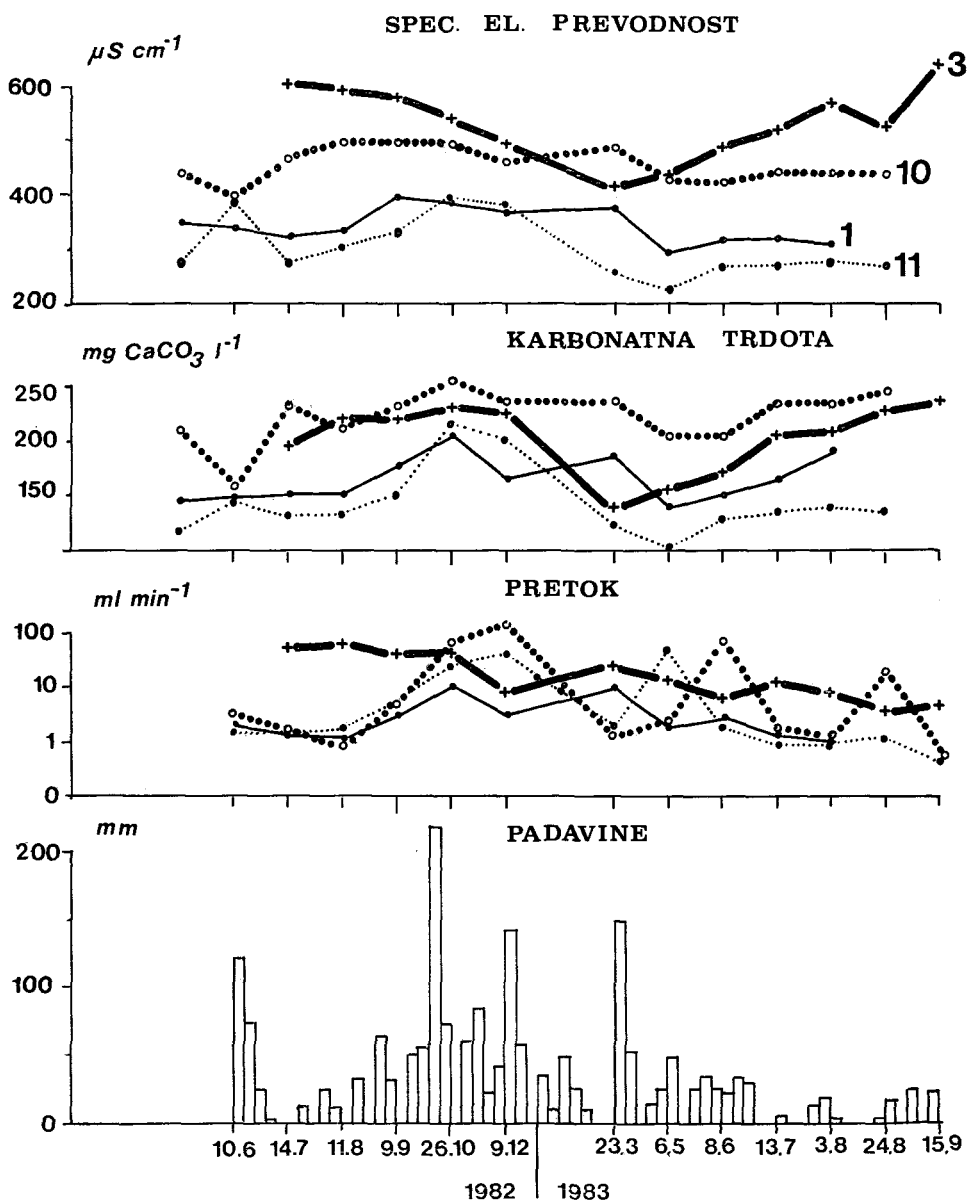
Pri nadaljnjih opazovanjih smo povečali število vzorčnih mest na območju curka 3, vzorcem pa smo določevali še BPK_5 in vsebnost nitratov, kasneje pa še vsebnost kloridov in o-fosfatov ter KPK. BPK_5 je dosegala izven turistične sezone vrednosti pod $2 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, kar pa se kasneje ni več ponovilo. Sočasno smo zabeležili koncentracijo nitratov do 30 mg l^{-1} ter povišane koncentracije o-fosfatov in kloridov.

NARAVNI VODNI VAL

S spremljanjem naravnega vodnega vala, predvsem na vzorčnem mestu 3, smo želeli spoznati prevodnost tega vodnika, kot tudi način reagiranja na padavine.

V začetku septembra 1982 je padlo nad Pivko jamo 31 mm dežja, ki je povzročil reakcijo pretokov in kapljanj vzdolž cele jame. Dne 23. 9. 1982 smo na vzorčnem mestu številka 3 spremljali vodni val, ki ga je sprožilo 37 mm

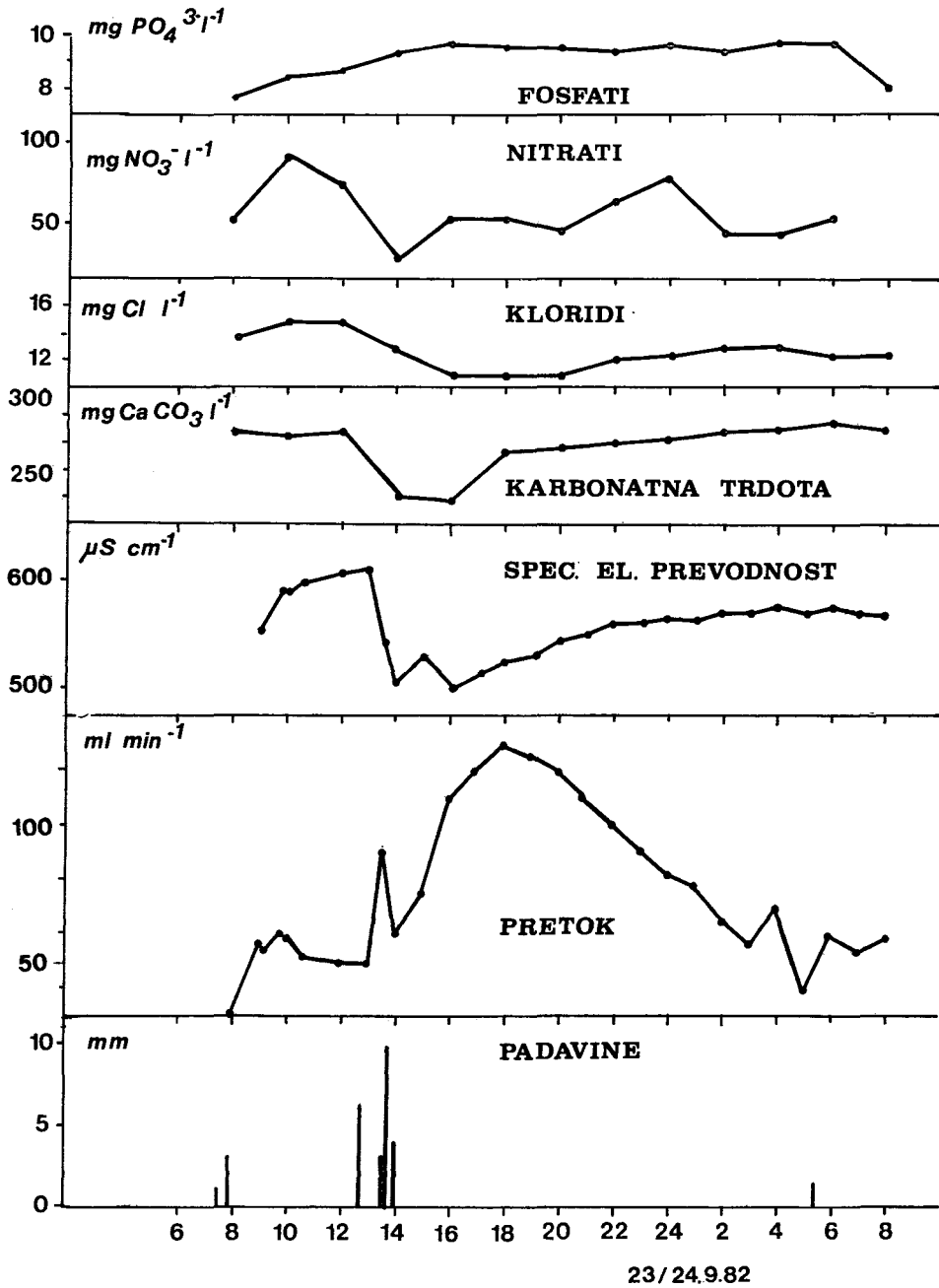
PIVKA JAMA



Sl. 2. Rezultati meritev na izbranih značilnih mestih vzdolž cele jame v letih 1982 in 1983.

Fig. 2. The measurement results on the characteristic points along the whole cave in the years 1982 and 1983.

PIVKA JAMA - naravni vodni val



Sl. 3. Naravni vodni val na vzorčnem mestu št. 3 jeseni 1982.
 Fig. 3. Natural water pulse on the sampling point no. 3 in the autumn 1982.

dežja. Prvih 6 mm padavin, ki so padle od 7. do 8. ure, se odraža tudi v začetnem porastu pretoka v vodnem valu, ki je padavinam sledil s približno 1-urno zakasnitvijo, kot je razvidno iz slike 3. Nadalnjih 23 mm intenzivnih padavin pa je izoblikovalo obsežnejši vodni val, ki je svoj vrh s 130 ml min^{-1} dosegel šele 4 ure za padavinami, čeprav je reakcija v tako namočenih razmerah sledila takoj. Bližnja drobna kapljanja so takoj reagirala, prepustnejši kanal 7 pa šele takrat, ko so ostali curki dosegli maksimalne pretoke, nakar je sledilo njegovo hitrejše upadanje do presahnitve. Očitno gre za različno prepustnost odvodnih kanalov vrtače.

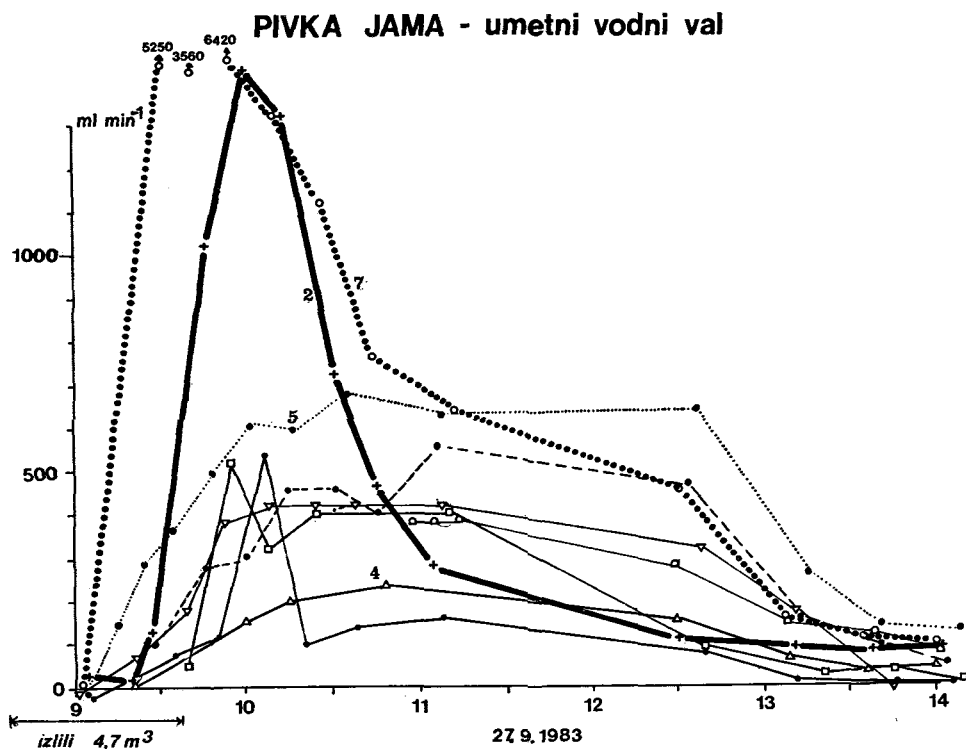
Vzporedno z merjenji pretoka smo na vzorčnem mestu številka 3 zajemali tudi vzorce za kemično analizo. Specifična električna prevodnost in karbonatna trdota sta ob sočasnem naraščanju pretoka upadali in obratno, kot smo že ugotavljali za curke v Planinski jami (J. K o g o v š e k, P. H a b i č, 1981). Ob prvem sorazmerno majhnem povečanju pretoka smo pri spec. el. prevodnosti, kloridih in nitratih, nekoliko pa tudi pri o-fosfatih, zabeležili najprej porast njihovih koncentracij, kar pripisujemo začetnemu spiranju jamskega stropa, oz. pretoku bolj koncentrirane odplake. Kasnejše upadanje koncentracij pa razlagamo kot posledico močnega razredčenja odplake v greznici z meteorno vodo. Pri kloridih je v vrhu vodnega vala prišlo do opazne razredčitve, ki pa je nismo zabeležili tudi pri nitratih in o-fosfatih, kar govori za manj uspešno spiranje v vodnem valu. BPK_5 , ki je dosegala vrednosti do $1,5 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, se je v vrhu vodnega vala še znižala. Pri tem je voda v greznici v času naliva vsebovala $28 \text{ mg Cl}^{-1} \text{ l}^{-1}$, $28 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{ l}^{-1}$, $\text{BPK}_5 = 15,3 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, nižjo koncentracijo nitratov v primerjavi s preniklo vodo, zato pa večjo vsebnost NH_4^{+} .

SLEDILNI POSKUS

Z opisanimi opazovanji in meritvami smo opredelili območje, kjer prenika v jamo umazana voda, spoznali pa smo tudi različno prepustnost prevodnikov. S sledilnima poskusoma iz starih in novih sanitarij pa smo želeli ugotoviti, od kod se steka odpadna voda, ki se pojavlja v jami: ali iz greznice starih sanitarij ali iz iztoka iz nove čistilne naprave ali morda od obeh. Za sledilo smo izbrali dodatno vodo, poskusa pa smo izvedli v obdobju nizkih, ustaljenih, minimalnih pretokov. Deset dni pred poskusom ni bilo padavin.

Pri prvem sledilnem poskusu, dne 27. 9. 1983, smo iz starih sanitarij v 1 uri izlili $4,7 \text{ m}^3$ vode. Izlita voda je v jami na predvidenem območju že po približno 30 min sprožila naraščanje pretoka opazovanih curkov. Najmočneje in najhitreje sta reagirala curka 7 in 2, ki sta že po 15 min po končanem izlitju dosegla maksimalni pretok. Tudi curek 5 ter nekaj bližnjih curkov, ki so bili pred poskusom, pa tudi sicer, pretežno suhi, so oblikovali daljše vodne valove, kar nakazuje njihovo omejeno prepustnost. Umetno povzročni pretoki so prikazani na sliki 4.

Celotna količina vode, ki je med poskusom pritekla v jamo, je znašala približno 1 m^3 , kar pomeni približno 20 % vse vlite vode. Seveda moramo upoštevati, da se pretoki po 5 urah opazovanja, ko smo zaključili z meritvami, še niso vrnili na izhodno vrednost in je iztekanje trajalo še dan ali več. Vendar



Sl. 4. Oblikovanje umetnih vodnih valov pri curkih v jami v prvem sledilnem poskusu septembra 1983.

Fig. 4. Formation of artificial water pulses at the trickles in the cave during the first tracing experiment in September 1983.

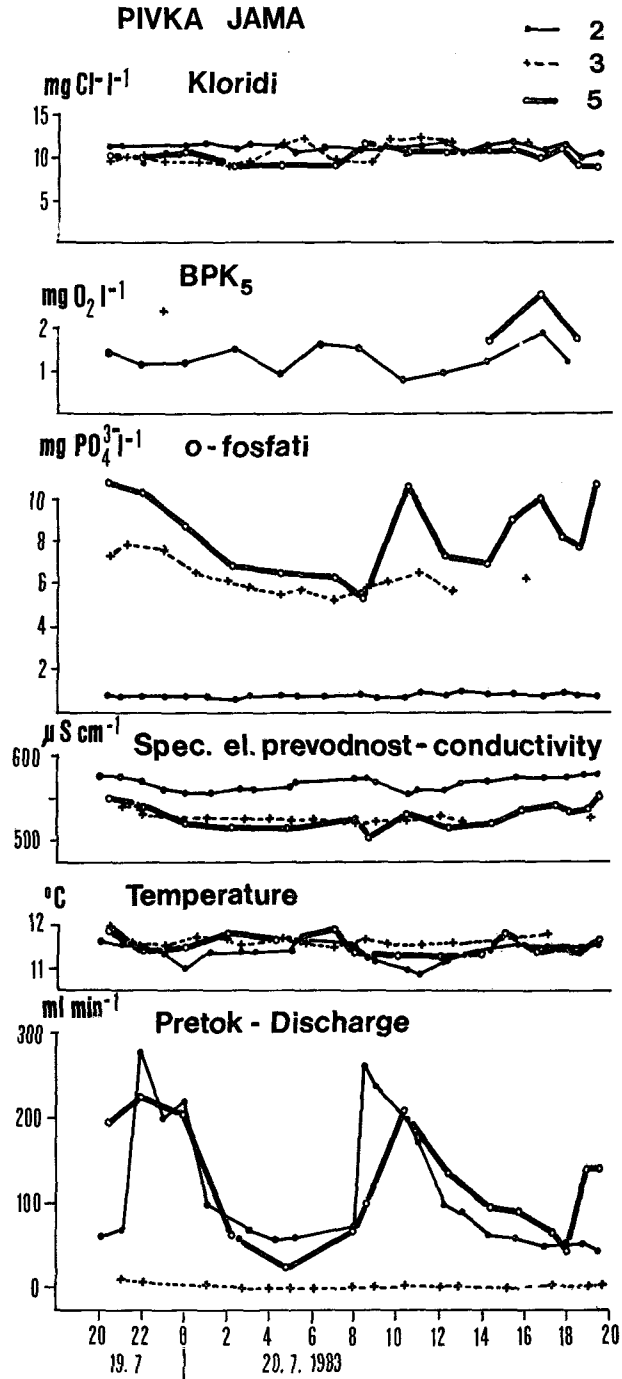
pa bi tudi z upoštevanjem teh količin priteklo v jamo le okrog 50 % vlite vode. Zelo verjetno je zaradi hitrega dotoka v greznico in počasnega prenikanja v jamo prišlo do močnejšega odtekanja v čistilno napravo. Tak odtok pa je pri običajni uporabi sanitarij verjetno redek.

Pri drugem sledilnem poskusu smo iz novih umivalnic v 1 uri izlili 9 m^3 vode. Tedaj v jami nismo opazili povečanega pretoka prenikajoče vode. Zato sklepamo, da se odpadna voda na opazovano območje v Pivko jamo steka le iz starih sanitarij.

Celodnevno opazovanje prenikanja odpadne vode

S 24-urnim opazovanjem curkov v Pivki jami smo skušali ugotoviti, kako se odraža poraba vode v starih umivalnicah in sanitarijah na treh curkih v jami.

V sušnem juliju 1983, ko je v prvih treh tednih padlo le 7,8 mm dežja, tako da je bila izključena reakcija curkov na padavine, smo v 24 urah vsako uro



Sl. 5. Rezultati celodnevnega opazovanja značilnih curkov v jami poleti 1983.
 Fig. 5. The results of one day observations of characteristic trickles in the cave in summer 1983.

merili pretok, temperaturo in spec. el. prevodnost ter vzorčevali vodo na treh mestih v jami, kjer smo že s predhodnimi opazovanji ugotovili onesnaženo preniklo vodo. V turističnem kampu je bilo v tem času 350 gostov, vendar ocenjujemo, da jih je stare umivalnice uporabljalo približno 1/3.

Meritve pretokov so pokazale, da se je kapljanje na opazovani točki 3 le neznatno spreminjalo: opazno pa sta nihala curka 2 in 5, ki sta dosegla maksimalni pretok pri 280 oz. 230 ml/min⁻¹. Če primerjamo s prvim sledilnim poskusom, ko sta prevodnika 2 in 5 delovala verjetno s polno zmogljivostjo, dosegala pretok do 1400 oz. 650 ml/min⁻¹ in se je voda hkrati odtekala tudi po najbolj prepustnem vodniku, laže razumemo bistveno drugačne pogoje pretakanja v tem primeru. Maksimalni pretok sta curka dosegla med 21. in 24. uro ter med 8. in 11. uro, kar se sklada s sorazmerno majhnim zaostankom za maksimalno porabo vode v umivalnicah in sanitarijah v jutranjih in večernih urah.

Podobno kot pretok se je tudi temperatura curka 3 le minimalno spreminjala; pri curkih 2 in 5 pa je ob maksimalnih pretokih upadla temperatura za 0,6° C. Meritve spec. el. prevodnosti in vsebnosti kloridov niso pokazale opaznejših nihanj. Spremljanje o-fosfatov in BPK₅ je podalo manjše onečiščenje sicer izdatnejšega curka 2, medtem ko sta curka 3 in 5 dosegala znatno višje vrednosti (slika 5).

Redna vzorčevanja prenikle odpadne vode

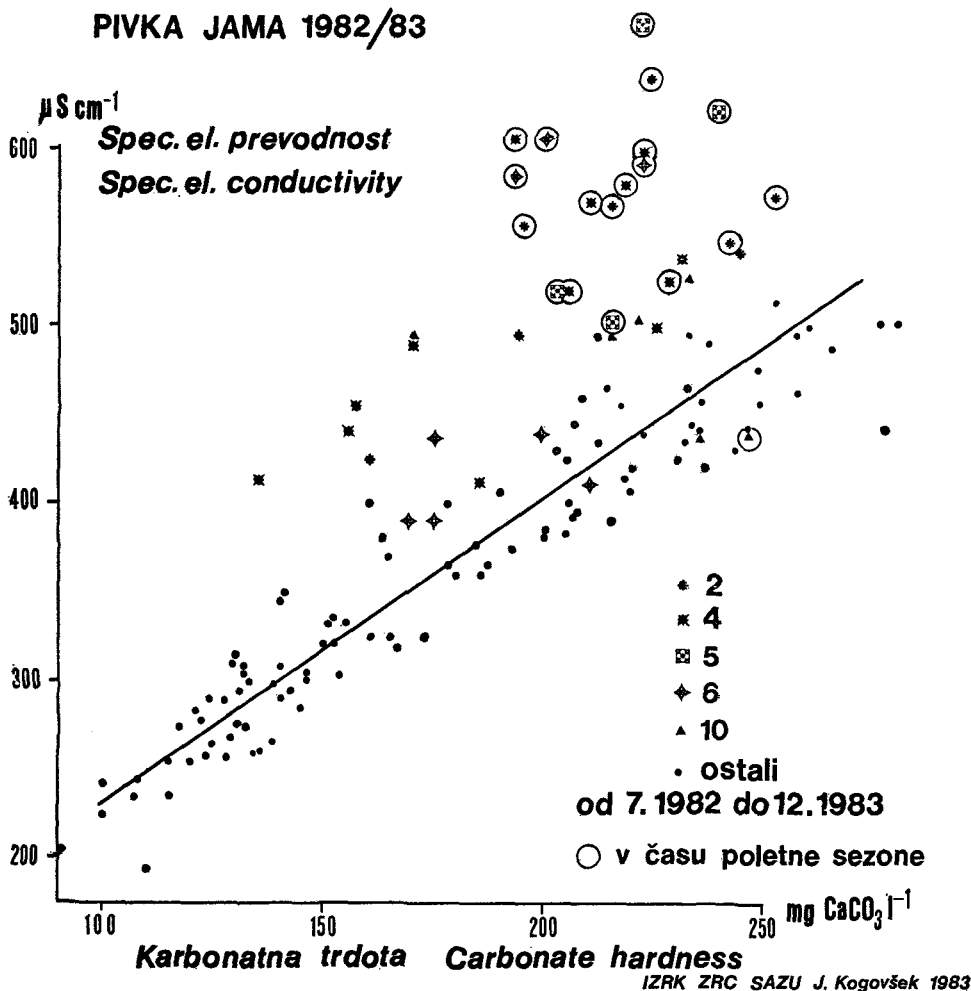
Doslej smo ugotovili vir onesnažene odpadne vode na površju in območje pritoka onesnažene vode v jami. Zanimiva pa je tudi primerjava karbonatne trdote s spec. el. prevodnostjo prenikle vode na območju onesnaženja in na drugih vzorčnih mestih v jami. Pokazala je odklone pri onesnaženi prenikli vodi v poletni sezoni, kar je razvidno iz slike 6. Curki čiste prenikle vode izkazujejo bolj ali manj linearno odvisnost med karbonatno trdoto in spec. el. prevodnostjo, medtem ko dosegajo onesnaženi curki višjo spec. el. prevodnost pri določeni karbonatni trdoti. V našem primeru je meritev spec. el. prevodnosti služila kot hiter pokazatelj onesnaženosti.

Nadaljnja opazovanja v letih 1983 in 1984 so obsegala mesečno spremljanje kvalitete curkov in kapljanj v jami. Hkrati smo v turistični sezoni 1984 vzorčevali tudi vodo v greznici. Začetne meritve pretoka, temperature, spec. el. prevodnosti, o-fosfatov, kloridov in BPK smo dopolnili še z določitvami nitratov in KPK. Slika 7 prikazuje našete meritve na štirih značilnih mestih.

Curek na točki 1, ki je izven našega opazovanega območja onesnažene vode, nam je služil za primerjavo, tako glede pretoka kot indikatorjev onesnaženja. Na samem opazovanem območju pa je bilo običajno aktivnih 5 do 6 curkov, ki so dosegali od julija do vključno septembra maksimalne vrednosti pretoka. Da gre pretežno za odpadno preniklo vodo je razvidno iz padavinskega diagrama, saj v tem obdobju pade le malo padavin, ki curkom v jami v glavnem ne povečajo pretokov in izcejajoča voda iz jamskega stropa tako le neznatno razredčuje odpadno preniklo vodo.

Pri opazovanih curkih je spec. el. prevodnost dosegala od junija do oktobra povišane vrednosti; najmanjše povišanje smo zabeležili pri curku 2. Očitno je to odraz manj onesnažene vode tega curka, kar potrjujejo tudi meritve o-fos-

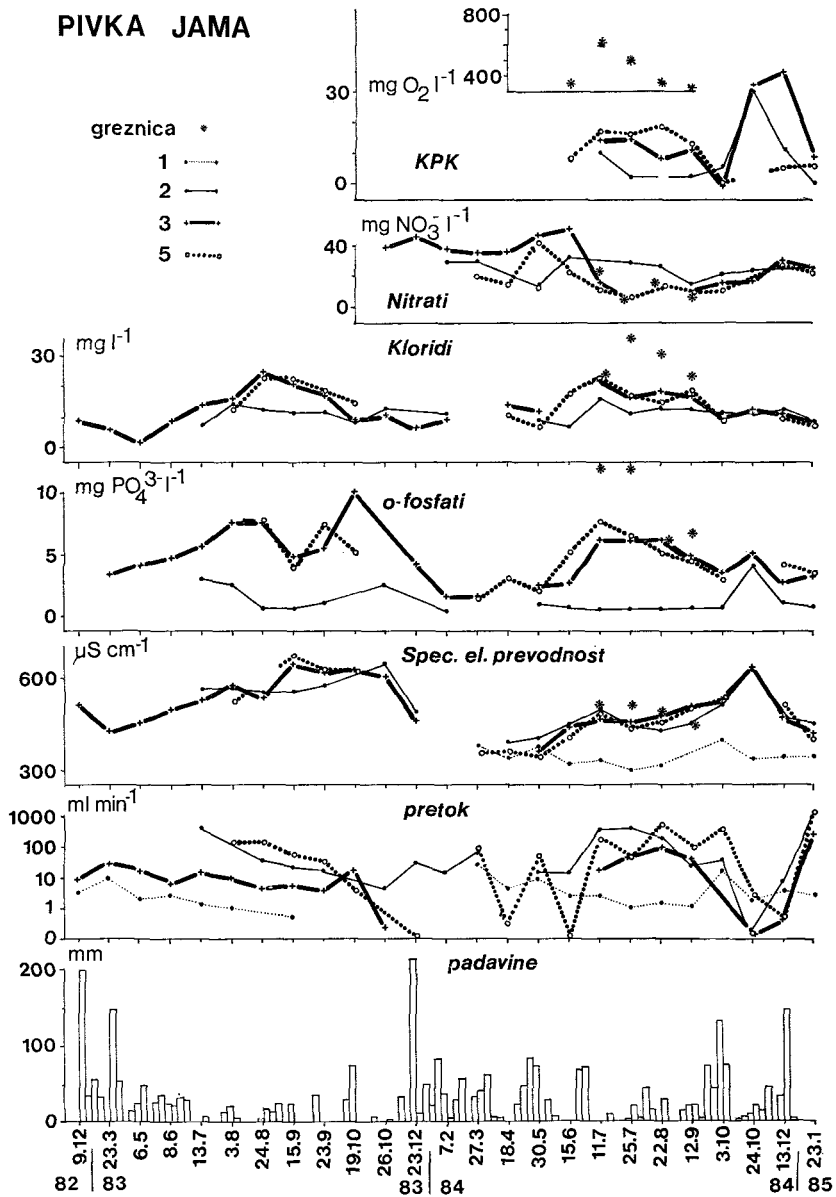
PIVKA JAMA 1982/83



Sl. 6. Specifična električna prevodnost čiste in onesažene prenikle vode v odvisnosti od karbonatne trdote.

Fig. 6. Specific electric conductivity of pure and polluted percolated water dependant on carbonate hardness.

fatov, kloridov ter KPK in BPK₅. To nakazuje učinkovitejšo filtracijo, oz. učinek čiščenja v jamskem stropu. V splošnem so opazne višje vrednosti spec. el. prevodnosti v sezoni 1983 v primerjavi s sezono 1984, kar pa zaenkrat še ne moremo pojasniti, ker v letu 1983 nismo vzorčevali vode v greznici; karbonatne trdote, ki bi bila tudi lahko vzrok, pa nismo redno merili, tako da ni možna ustrezna primerjava. Spec. el. prevodnost pa je bila običajno le malo višja kot pri curkih v jami.



Sl. 7. Rezultati meritev značilnih curkov v jami v letih 1983 in 1984.

Fig. 7. The measurement results of the characteristic trickles in the cave in the years 1983 and 1984.

Izhodna koncentracija o-fosfatov odpadne vode v greznici je dosegala poleti 1984 do $12,2 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{ l}^{-1}$. Pri curkih v jami smo v istem času zabeležili najvišje vrednosti (do $7,7 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{ l}^{-1}$) pri curkih 3 in 5, opazno nižje pa pri curku 2. V času izven sezone, ko ni več sveže odpadne vode in prihaja ob jesenskem in spomladanskem dežju do intenzivnega spiranja, koncentracija o-fosfatov ni padla pod $1,5 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{ l}^{-1}$. Pri tem ima pomembno vlogo usedlina v greznici, saj padavinska voda, ki priteka v greznico, prenika skozi in se pri tem obogati z razpoložljivimi komponentami.

V obdobju 11. 7. do 12. 9. 1984 smo v prenikli vodi v jami zabeležili do 50% zmanjšanje koncentracije o-fosfatov. Občasne vzporedne meritve celokupnih fosfatov so pokazale na minimalne razlike med o-fosfati in celokupnimi fosfati. Zato smo se tudi odločili za enostavnejše določevanje o-fosfatov.

Odpadna voda v greznici je dosegala do $35 \text{ mg Cl}^{-} \text{ l}^{-1}$, prenikla voda v jami pa od 15 do $22 \text{ mg Cl}^{-} \text{ l}^{-1}$, pri čemer je zopet odstopal curek 2, ki je dosegal nižje vrednosti. V času izven sezone pa je koncentracija kloridov padla pod $10 \text{ mg Cl}^{-} \text{ l}^{-1}$. Če primerjamo koncentracijo kloridov v greznici in prenikli vodi, prihaja pri curkih 3 in 5 do 60% odstranitve kloridov, na točki 2 pa kar do 71%.

Nitrati kažejo na drugačno situacijo kot smo jo zabeležili pri o-fosfatih in kloridih. V času turistične sezone so bile koncentracije nitratov v greznici in v prenikli vodi na točkah 3 in 5 približno enake, medtem ko smo na točki 2 zabeležili višje vrednosti. V splošnem višje koncentracije nitratov pa smo zabeležili izven sezone, ko so prevladovali nižji pretoki. Verjetno večji pretoki ob večji hitrosti prenikanja pomenijo slabšo oksidacijo v jamskem stropu. Sicer pa se nakazuje širše območje onesnaženosti z nitrati, kar je, kot izgleda, posledica akumulacije, oz. daljšega zadrževanja nitratov v karbonatnem masivu jamskega stropa. V grobem ocenjena količina nitratov, ki se spira iz jamskega stropa, precej presega količino, ki se injicira iz greznice. Vendar pa so v nitratih v prenikli vodi v jami zajeti tudi nitrati, ki nastajajo z oksidacijo amonijaka, ki ga odpadna voda v greznici vsebuje precej. Zato sklepamo, da obstaja v predrtim karbonatnem jamskem stropu učinkovito prezračevanje.

Tudi visoke vrednosti KPK odpadne vode v greznici ($320\text{--}620 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$) in hkrati nizke vrednosti v dekantirani prenikli vodi (pod $20 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$) govore za intenzivne oksidacijske procese v času prenikanja, ki znaša po oceni do nekaj ur. Pri tem smo poleti 1984 zabeležili pri curkih 3 in 5 od 95 do 98% čiščenje (glede na KPK), pri curku 2 pa skoro 100%. Curek 2 je dosegal podobno kot pri o-fosfatih in kloridih tudi pri KPK nižje vrednosti.

Tudi analize BPK₅ so pokazale učinkovito čiščenje, saj je BPK₅ od 100 do $260 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, kolikor je znašala pri odpadni vodi iz greznice, upadla na poti do jame na vrednost pod $2,8 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, kar pomeni 98—100% čiščenje. Slabše čiščenje pa nastopa ob večjih pretokih, ko prihaja do spiranja organskega suspenza in se odpadna voda zadržuje v jamskem stropu krajši čas. Zato moramo pri naših določitvah KPK in BPK₅ v takih primerih zaradi nereprezentativnih vzorcev računati na napako, ki ima za posledico nekoliko slabši učinek čiščenja, kot pa izhaja iz naših meritev.

V skupino k curkom 3 in 5 bi po stopnji onesnaženosti prenikle vode uvrstili še curke 4, 7, 8 ter curek 9, ki sicer odraža nekoliko močnejšo filtracijo. Rezultati meritev so razvidni iz tabele 1.

Tabela 1:

Datum	Pretok (ml min ⁻¹)	Tempe- ratura (°C)	µScm ⁻¹	KPK (mg O ₂ l ⁻¹)	BPK ₅	NO ₃ ⁻ (mg l ⁻¹)	Cl ⁻	O-PO ₄ ³⁻
Zajemno mesto 1								
18/ 4 1984	4	6,6	347	—	—	7	8	0,03
30/ 5 1984	9	9,8	378	—	—	9,6	6	0,01
15/ 6 1984	2,5	11,2	316	—	—	3,1	4	0,02
11/ 7 1984	2,8	11,8	328	—	—	8,0	6	0,01
25/ 7 1984	1	11,7	295	—	—	9,0	6	0,01
22/ 8 1984	1,5	11,1	309	—	—	3,6	8	—
3/10 1984	18	—	392	—	—	4,9	5	0,22
24/10 1984	1,6	10,4	331	—	—	0,2	5	0,03
13/12 1984	3,5	3,0	343	—	—	9,9	6	0,02
23/ 1 1985	3	2,8	335	—	—	—	—	—
Zajemno mesto 2								
30/ 5 1984	14	9,4	397	—	—	12,8	8	0,8
15/ 6 1984	13	10,6	441	—	1,0	34	6	0,7
11/ 7 1984	320	11,2	477	9,7	1,0	—	15	0,76
25/ 7 1984	360	11,4	431	2,4	0,2	29	10	0,68
22/ 8 1984	160	11,1	419	—	0,5	27	11	0,78
12/ 9 1984	20	11,0	444	2,3	—	14,6	11	0,68
3/10 1984	30	11,3	502	—	—	21	10	0,64
24/10 1984	11	10,6	628	30	0,8	23	11	4,05
13/12 1984	6	3,8	459	10,6	0,9	26,4	11	0,85
23/ 1 1985	850	5,3	442	5,2	1,2	24,9	7	0,5
Zajemno mesto 3								
11/ 7 1984	12	11,5	458	13,4	1,0	15	21	5,8
25/ 7 1984	42	11,5	445	15,4	—	4	16	6,0
22/ 8 1984	80	11,0	481	8	1,1	13	17	5,9
12/ 9 1984	32	11,0	505	11	0,8	10,7	13	4,4
24/10 1984	0,1	10,7	632	31,7	6,2	16	11	4,8
13/12 1984	0,7	3,8	459	—	—	29,2	10	2,6
23/ 1 1985	210	5,6	408	8,2	1,5	24,4	7	3,2
Zajemno mesto 4								
27/ 3 1984	70	6,3	356	7	1,4	36	1	1,38
18/ 4 1984	0,5	6,9	374	10	—	35	8	3,5
30/ 5 1984	50	9,4	351	—	—	46	5	3,0
15/ 6 1984	3	10,5	423	8,7	2,4	55	11	3,15
11/ 7 1984	20	11,6	454	10,4	0,2	25	20	5,6
25/ 7 1984	40	11,3	441	10,5	0,7	4	16	6,1
22/ 8 1984	60	10,8	479	—	0,8	15	17	5,7
12/ 9 1984	18	10,9	506	11	—	10	14	4,6

Datum	Pretok (ml min ⁻¹)	Tempe- ratura (°C)	μScm^{-1}	KPK	BPK _s	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	O-PO ₄ ³⁻
				(mg O ₂ l ⁻¹)		(mg l ⁻¹)		
3/10 1984	80	10,9	523	—	—	16,5	9	3,2
24/10 1984	0,5	10,5	636	28,8	2,1	17	11	4,4
13/12 1984	0,2	3,9	499	35,6	—	27,6	10	3,8
23/ 1 1985	680	5,4	413	—	1,2	14,9	7	3,4
Zajemno mesto 5								
27/ 3 1984	90	6,1	357	5	1,2	21	1	1,35
18/ 4 1984	0,3	7,4	364	9	—	15	10	3,55
30/ 5 1984	52	9,6	345	—	—	44	5	2,0
15/ 6 1984	minim.	11	454	7,9	1,1	22	12	5,0
11/ 7 1984	160	11,7	466	17,3	—	11,5	22	7,7
25/ 7 1984	40	11,2	434	16	0,2	4	16	6,7
22/ 8 1984	480	10,7	450	18,4	1,3	14	14	5,0
12/ 9 1984	76	11,1	502	13	0,9	9,9	14	4,2
3/10 1984	300	10,7	522	—	3,6	11,0	9	2,8
13/12 1984	0,3	5,1	501	5,0	—	27	9	4,0
23/ 1 1985	1000	6,1	394	6,3	1,4	23	7	3,1
Zajemno mesto 8								
7/ 2 1984	14	5,7	—	15	—	33	6	1,4
27/ 3 1984	180	5,8	373	—	1,6	27	1	1,2
18/ 4 1984	0,25	7,0	375	11	—	24	6	1,9
15/ 6 1984	4	10,5	422	6,3	0,9	48	9	2,95
11/ 7 1984	120	11,3	460	12,4	—	31	21	5,95
25/ 7 1984	200	11,5	450	10	0,6	7,7	18	5,65
22/ 8 1984	60	11,3	519	8	0,4	15,0	18	5,5
12/ 9 1984	10	11,0	514	6	—	10,0	16	4,0
3/10 1984	110	11,3	503	—	1,5	19,0	7	3,0
24/10 1984	1,5	10,5	560	17,3	2,1	12	8	3,6
13/12 1984	0,1	4,3	438	—	—	25,6	5	2,6
23/ 1 1985	660	5,3	394	7,5	0,4	24,4	6	2,24
Zajemno mesto 9								
25/ 7 1984	—	12,0	488	—	—	5,2	22	4,5
22/ 8 1984	60	11,2	530	8,8	2,0	10	20	5,7
12/ 9 1984	10	11,0	514	6	—	10	16	4,0
3/10 1984	420	10,9	475	—	1,7	15,5	5	0,24
24/10 1984	20	10,4	537	13,0	1,5	15	6	2,4
13/12 1984	1	4,6	464	4,0	—	24,8	4	1,95
23/ 1 1985	900	5,6	386	6,7	0,7	12,2	5	1,2

Pri vzorčevanju oktobra 1982 in 1983 smo zabeležili povišane vrednosti o-fosfatov, BPK_5 in spec. el. prevodnosti na opazovanih mestih v jami. Sklepamo, da so posledica čiščenja greznice po zaključeni turistični sezoni, pri čemer je prišlo do manjšega ali večjega premešanja na dnu greznice in do njenega kasnejšega intenzivnejšega spiranja ob padavinah, ki so sledile. Konec oktobra 1984 so v sklopu prenovitve turističnega campa podrli stare sanitarije z greznico. Očitno je rušenje povzročilo predrtje usedline na dnu greznice, ki je sicer igrala tudi vlogo nekakšnega filtra, in sprožilo prost odtok v greznici zastajajoče vode in blata skozi dno vrtače. To smo zabeležili pri prenikli vodi v jami z izjemno povišanimi vrednostmi spec. el. prevodnosti, KPK, BPK_5 ter koncentracije o-fosfatov. Vzorci so vsebovali tudi več finega suspenza kot sicer, medtem ko so bili pretoki minimalni, saj dobra dva tedna pred tem ni bilo omembe vrednih padavin, ki bi lahko povečale pretok curkov v jami. Analiza suspenza je pokazala, da le-ta vsebuje 5 % organskega ogljika, KPK premešane vzorca pa je bila kar nekajkrat višja kot v dekantiranem vzorcu. Na zajemnem mestu 3, pa tudi 2, se je spec. el. prevodnost dvignila preko $600 \mu\text{S cm}^{-1}$, KPK preko $30 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, BPK_5 pa do $6 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$.

Padavine, ki so sledile, so povečale opazovane pretoke, sočasno pa povzročile upad spec. el. prevodnosti in o-fosfatov že po enem mesecu in pol: KPK in BPK_5 pa sta upadla na prvotno vrednost počasneje.

Bakteriološke analize

Kemijske analize prenikle vode smo dopolnili še z bakteriološkimi preiskavami. Tako smo 3. 10. 1984 po zaključeni turistični sezoni zajeli štiri vzorce za bakteriološko analizo. Rezultati preiskav, ki jih je izvedel Zavod za zdravstveno varstvo SRS, oddelek za sanitarno mikrobiologijo v Ljubljani, so razvidni iz naslednje tabele:

Vzorec oz. vzorčno mesto	1	5	8	9
MNP skupnih koliformnih bakterij v 100 ml	20	150	22	380
Sporogeni sulfitoreducirajoči anaerobi v 100 ml		+	+	
Vseh živih bakterij v 1 ml	12 000	2400	2400	7200

Koliformnih bakterij in streptokokov fekalnega izvora ter *Pseudomonas aeruginosa* in vrste *Proteus* vzorci niso vsebovali.

Vzorec 1 iz zajemnega mesta št. 1 je prenikla voda izven ožjega območja onesnaženja, oz. kemijske analize niso pokazale onesnaženja. Bakteriološka analiza je podala le povišano vsebnost vseh živih bakterij. Vzorca 5 in 8, kjer sklepamo, da gre za direktnjši odtok in slabšo filtracijo, sta imela povišano vrednost vseh živih bakterij ter prisotne sporogene sulfitoreducirajoče anaerobe, ki nakazujejo trajnejše onesnaženje. Vzorec 9, kjer predvidevamo močnejšo filtracijo, pa kaže nekoliko boljšo sliko.

Spoznanja in sklepi

Meritve so pokazale, da prenika odpadna voda po sedimentaciji trdih nečistoč na dno greznice, kjer imajo vlogo nekakšnega filtra, skozi pretrte in prezračene karbonatne sklade.

Na opazovanem območju v jami, ki obsega približno 50 m², smo zabeležili pri curkih dokajšnje razlike v kvaliteti prenikle vode. Različno stopnjo očiščenja razlagamo z različnim načinom prenikanja, ki ga pogojuje različna povezanost in prevodnost vodnikov.

Prenikla voda v jami je vsebovala do 22 mg Cl⁻ l⁻¹ in do 7,7 mg PO₄³⁻ l⁻¹, kar pomeni, da je pri prenikanju njuna koncentracija upadla do 50 %. KPK odplake iz greznice, ki je dosegala vrednosti do 600 mg O₂ l⁻¹, se je po prenikanju znižala za 95 % in več. Vzoredne meritve BPK₅, ki nam povedo količino kisika, ki ga porabijo mikroorganizmi za oksidacijo oz. razgradnjo v vodi prisotnih organskih snovi, so podale še boljše čiščenje. Dobro prezračenost jamskega stropa, ki omogoča učinkovite oksidacijske procese, potrjujejo tudi meritve amonijaka in nitratov v odplaki in v prenikli vodi v jami. Nitrati, ki nastajajo predvsem z oksidacijo amonijaka v času prenikanja, nakazujejo trajnejše in širše območje onesnaženosti.

Slabše čiščenje pa nastopa pri vertikalnem prenikanju ob večjih pretokih, ko prihaja do intenzivnejšega spiranja organskega suspenza z dna greznice in iz jamskega stropa, ki močno povečuje vrednosti KPK, BPK₅ ter drugih merjenih parametrov v prenikli vodi. Odpadna voda se pri takih pogojih zadržuje v jamskem stropu tudi krajši čas, kar dodatno negativno vpliva na učinek čiščenja. Najslabši učinek čiščenja pa smo zabeležili v času praznjenja greznice oz. v času gradbenih del na območju greznice, ko je prišlo zaradi miniranja do intenzivnega spiranja usedline z dna greznice, kar se je odražalo v do nekajkrat povečanih vrednostih KPK in BPK₅ v prenikli vodi. To pa pomeni znatno slabši učinek samočiščenja odplak.

Spremljanje čiščenja komunalnih odplak pri prenikanju skozi 40 m debel strop Pivke jame je pokazalo, da struktura jamskega stropa v veliki meri pogojuje učinkovite oksidacijske procese. Opazna je različna stopnja čiščenja po posameznih različno prepustnih vodnikih.

Po sedimentaciji trdih nečistoč na dno greznice (vloga filtra) smo pri prenikanju dane količine in kvalitete odplake iz umivalnic in sanitarij, zabeležili ob ugodnih razmerah učinkovito samočiščenje. Slabše čiščenje nastopa v času večjih pretokov, ko voda nosi s seboj manjše ali večje količine organskega suspenza. Še znatno slabši učinek čiščenja pa smo zabeležili po miniranju greznice, ko je prišlo do bistvenih sprememb pri odtekanju odplake iz vrtače v karbonatni masiv.

Lahko zaključimo, da pri primerno nizkem onesnaženju (količina, kvaliteta odplake) opravlja pretrt karbonaten masiv vlogo učinkovite naravne čistilne naprave. Njena učinkovitost pa v veliki meri zavisi od pretoka in načina prenikanja, ki pa ga pogojuje stopnja zakraselosti jamskega stropa.

LITERATURA

- Kogovšek, J. & P. Habič, 1981: Preučevanje prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame. *Acta carsologica*, 9, 129—148, Ljubljana.
- Kogovšek, J., 1983: Prenikanje vode in izločanje sige v Pisanem rovu Postojnske jame. *Acta carsologica*, 11, 59—76, Ljubljana.
- Preka, N. & N. Preka-Lipold, 1976: Prilog poznavanju autopurifikacionih sposobnosti karstnih podzemnih tokova. *Hidrologija i vodno bogastvo krša*, 577 do 584, Sarajevo.
- Sket, B. & F. Velkovich, 1981: Postojnsko-Planinski jamski sistem kot model za preučevanje onesnaženja podzemeljskih voda. *Naše jame*, 22, 27—44, Ljubljana.
- Einheitsverfahren für Wasser und Abwasser analyse, 1986, Weinheim.
- Standard methods for Examination of water and wastewater, 1975, Washington.

NATURAL PURIFICATION OF SANITARY SEWAGE DURING THE VERTICAL PERCOLATION IN THE PIVKA JAMA

Summary

In 1982 to 1984 the percolation of waste communal water from sanitations and washrooms of camping place through 40 m thick roof of Pivka jama were observed.

At observed trickles in the cave in the area of 50 m², where the polluted percolated water occurs, we have noticed considerable differences in the water quality. This unequal degree of purification can be explained by different way of percolation, conditioned mostly by different permeability of the fissures.

After the sedimentation of hard impurities to the bottom of the cess-pit (the role of filter) during the percolation of known quantity and quality of sewage at favourable conditions efficaceous autopurification was observed.

The percolated water in the cave contained up to 22 mg Cl⁻ l⁻¹ and up to 7,7 mg PO₄³⁻ l⁻¹, meaning, that their concentration decreased during the percolation for 50 % almost. COD sewage from the cess-pit, reaching the value up to 600 mg O₂ l⁻¹ decreased for 95 % and more. Parallel measurements of BOD₅, showing the oxygen quantity, used by microorganisms for oxidation, decomposition respectively of organic matters present in water, showed still better purification. Good aired cave roof, rendering possible efficaceous oxidation processes, confirms the measurements of ammonia and nitrates in the sewage and in the percolated water. Nitrates, occurring mostly by ammonia oxidation during the percolation, show more permanent and wider area of the pollution.

During greater discharges at vertical percolation worse purification occurs while washing off organic suspension from the cess-pit bottom as well as from the cave roof is more intensive. Thus the COD, BOD₅ and other values are increased in the percolated water. Sewage water remains in such conditions for shorter time in the cave roof giving additional negative influence to the purification effect. Considerably worse purification effect was noticed after the cess-pit blasting when essential changes at water discharge from the doline to the carbonate massif have taken place.

We can conclude that at known pollution (quantity, sewage quality) the crushed carbonate massif plays the role of efficaceous natural purification plant. In any case the oxidation capacity of carbonate massif greatly depends on the karstification degree of carbonate rocks while on the other side the purification degree from the way of percolation.