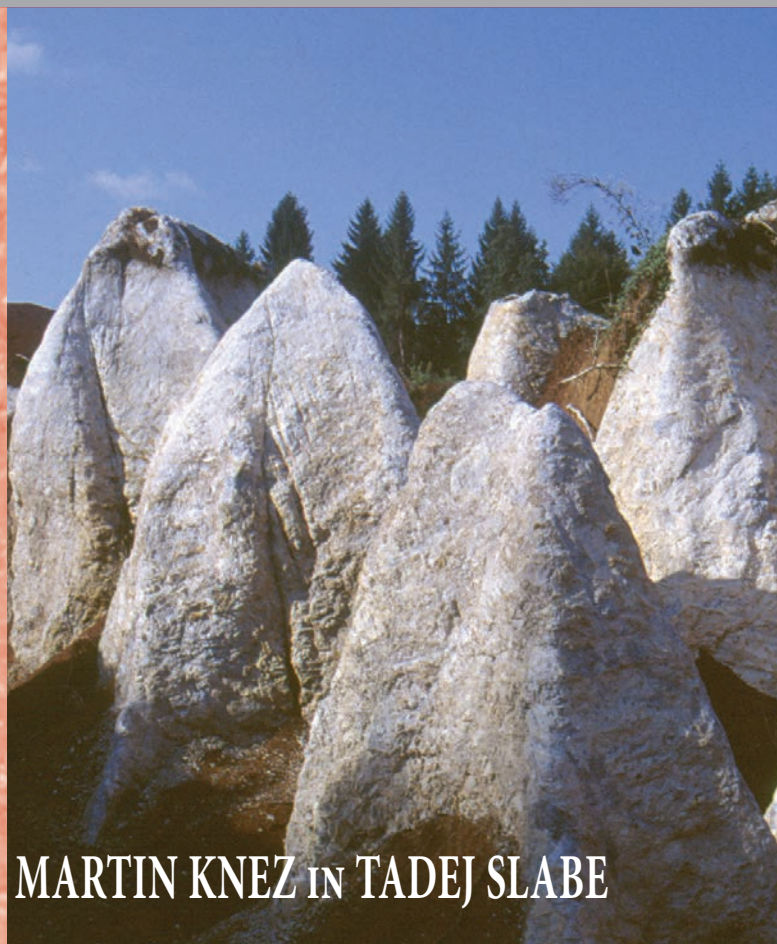




KRAŠKI POJAVI

C A R S O L O G I C A

RAZKRITI
MED
GRADNJO
SLOVENSКИH
AVTOCEST



UREDILA: MARTIN KNEZ IN TADEJ SLABE

C A R S O L O G I C A

KRAŠKI POJAVI, RAZKRITI MED GRADNJO SLOVENSКИH AVTOCEST
Uredila: Martin Knez in Tadej Slabe



Carsologica 7
Urednik zbirke Franci Gabrovšek

Kraški pojavi, razkriti med gradnjo slovenskih avtocest
Uredila Martin Knez in Tadej Slabe

Recenzenta Andrej Kranjc in Rajko Pavlovec
Jezikovni pregled Helena Dobrovoljc
Kartografija Iztok Sajko
Oblikovanje in grafična ureditev Milojka Žalik Huzjan

Izdajatelj Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU
Zanj Tadej Slabe

Založnik Založba ZRC, ZRC SAZU
Za založnika Oto Luthar
Glavni urednik Vojslav Likar

Tisk Impress, d. o. o., Ivančna Gorica
Naklada 350

Izid knjige so omogočili Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije,
Raziskovalni sklad ZRC SAZU,
Direkcija za avtoceste Republike Slovenije,
Družba za državne ceste.

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

551.44:625.711.3(497.4)(082)

KRAŠKI pojavi, razkriti med gradnjo slovenskih avtocest / uredila
Martin Knez in Tadej Slabe ; [kartografija Iztok Sajko]. - Ljubljana :
Založba ZRC, ZRC SAZU, 2007. - (Carsologica ; 7)

ISBN 978-961-254-030-2

1. Knez, Martin, 1964-
235874304

KRAŠKI POJAVI, RAZKRITI MED GRADNJO SLOVENSКИH AVTOCEST

Uredila

MARTIN KNEZ in TADEJ SLABE

VSEBINA

<i>Tristopetdeset novih jam in kamniti gozdovi, pomemben del slovenske naravne dediščine</i> (Predgovor).....	7
--	---

* * *

1. <i>Krasoslovna spremljava gradnje, raziskave ter načrtovanje avtocest prek slovenskega krasa</i>	9
Martin Knez, Tadej Slabe	
2. <i>Jame brez stropa – osrednje odkritje med Čebulovico in Danami</i>	23
Martin Knez, Tadej Slabe	
3. <i>Velika prevotljenost med Danami in Fernetiči razkriva raznovrstnost oblikovanja našega Krasa</i>	37
Martin Knez, Tadej Slabe	
4. <i>Kraški pojavi, ki so bili odkriti pri gradnji avtoceste med Divačo in Kozino</i>	45
Martin Knez, Tadej Slabe	
5. <i>Jame brez stropa pri Kozini in njihovo razpoznavanje na kraškem površju</i>	53
Martin Knez, Tadej Slabe	
6. <i>Razvoj in zakraselost kraškega vodonosnika, razkrita med Klancem in Črnim Kalom</i>	61
Martin Knez, Tadej Slabe, Stanka Šebela	
7. <i>Dolenjski kras, razkrit med Bičem in Korenitko</i>	71
Martin Knez, Tadej Slabe, Stanka Šebela	
8. <i>Podtalni kamniti gozdovi in drugi kraški pojavi med Hrastjem in Lešnico</i>	79
Martin Knez, Tadej Slabe	
9. <i>Kraški pojavi med Vipavo in Selom</i>	89
Martin Knez, Andrej Mihevc, Bojan Otoničar, Tadej Slabe	

10. <i>Kras v breči Rebrnic v Vipavski dolini</i>	95
Martin Knez, Andrej Mihevc, Tadej Slabe	
11. <i>Krasoslovne raziskave za izdelavo idejnega projekta avtocestnega odseka Bič–Hrastje, pododsek Ponikve–Hrastje, varianta Sv. Ana</i>	111
Martin Knez, Janja Kogovšek, Andrej Kranjc, Metka Petrič, Tadej Slabe	
12. <i>Kamniti gozd pri Trebnjem</i>	127
Martin Knez, Bojan Otoničar, Tadej Slabe	
13. <i>Jame brez stropa so pomembna sled razvoja Krasa</i>	135
Martin Knez, Tadej Slabe	
14. <i>Velika brezstropa jama pri Povirju</i>	143
Andrej Mihevc	
15. <i>Sestava in izvor klastičnih sedimentov iz vrtač in brezstropih jam pri Divači</i>	153
Andrej Mihevc, Nadja Zupan Hajna	
16. <i>Klastični sedimenti iz vrtač med Divačo in Kozino ter njihova mineralna sestava</i>	163
Nadja Zupan Hajna	
17. <i>Raziskave jamskih sedimentov iz zapolnjene jame pri Divači</i>	177
Nadja Zupan Hajna, Pavel Bosák, Petr Pruner	
18. <i>Paleomagnetne raziskave jame brez stropa pri Kozini</i>	185
Pavel Bosák, Martin Knez, Petr Pruner, Tadej Slabe	
19. <i>Starost jamskih sedimentov brezstropih jam, odprtih pri gradnji avtoceste pri Kozini (jugozahodna Slovenija), določena s paleomagnetnimi analizami</i>	195
Stanka Šebela, Ira D. Sasowsky	
20. <i>Sedimenti v jami S647, odkriti pri gradnji predora Kastelec</i>	201
Nadja Zupan Hajna	
21. <i>Pretakanje v vodi netopnih tekočin v krasu</i>	209
Janja Kogovšek, Metka Petrič	
22. <i>Vpliv prometa na kraške vode</i>	225
Janja Kogovšek	
LITERATURA	239
POVZETEK	247
SUMMARY	249

TRISTOPETDESET NOVIH JAM IN KAMNITI GOZDOVI, POMEMBEN DEL SLOVENSKE NARAVNE DEDIŠČINE

Predgovor

Odlično sodelovanje z načrtovalci in graditelji avtocest – Družbo za avtoceste RS (DARS) in Družbo za državne ceste (DDC) ter s sodelavci Zavoda za varstvo naravne in kulturne dediščine Nova Gorica in Zavoda RS za varstvo narave, OE Nova Gorica, nam krasoslovcem omogoča proučevanje in beleženje vrste zanimivih kraških pojavov, ki se razkrivajo pri gradnji in so pomemben del naše naravne in kulturne dediščine. Hkrati pa se temeljno krasoslovno znanje sveže prenaša v načrtovanje življenja v tej občutljivi pokrajini.

Zemeljska dela pri gradnji so razkrila prečni prerez površja matičnega Krasa, nizkega in večinoma prekrita Dolenjskega krasa z znamenitimi podtalnimi kamnitimi gozdovi ter svojevrstnega krasa v brečah Vipavske doline. Odprlo se je več kot 350 novih jam, med njimi tudi jame brez stropa. Izsledki proučevanj nam prinašajo vrsto novih spoznanj o načinu oblikovanja kraškega površja in podzemlja, o pretakanju vode skozi kraške vodonosnike in o razvoju našega krasa na različnih kamninah ter razmerah.

Vsebinsko razdelitev je narekoval potek gradbenih del. V prvem delu so strnjeni izsledki raziskav, pridobljeni pri gradnji, sledijo predstavitev raziskav načrtovanja prometnic, nato pa študije na novo odkritih kraških pojavov, raziskav naplavin in sige ter določanje njihove starosti. Knjigo skleneta študiji o kraških vodah in njihovem varovanju.

Skušamo ohraniti čim več kraških pojavov, veliko jam je skritih pod cestiščem in za obodi predorov.

Opisano sodelovanje je lahko vzor za načrtovanje in izvedbo različnih posegov v kras in za spoznavanje ter varovanje naše naravne in kulturne dediščine.

Knjigo smo napisali sodelavci Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Inštituta za geologijo Akademije znanosti Češke republike (Pavel Bosák in Petr Pruner) in Univerze Akron v Združenih državah Amerike (Ira Sasowsky).

Urednika

KRASOSLOVNA SPREMLJAVA GRADNJE, RAZISKAVE TER NAČRTOVANJE AVTOCEST PREK SLOVENSKEGA KRASA

MARTIN KNEZ, TADEJ SLABE

V zadnjem desetletju in pol je gradnja sodobnih avtocest v Sloveniji eden večjih gradbenih projektov, s katerimi želimo povezati pomembne predele države in jih odpreti Evropi. Skoraj polovica Slovenije je kraške in več kot polovica voda, s katerimi se oskrbujemo, je iz kraških vodonosnikov. Slovenija je dežela matičnega Krasa in po njem se imenuje ta svojevrstna pokrajina na karbonatnih kamninah v številnih jeziki sveta in tu je zibelka krasoslovja. Občutljiva kraška pokrajina torej zahteva od nas, da jo dobro poznamo in trud za njeno ohranjanje. Je pomemben del naše naravne in kulturne dediščine.

Knjiga predstavlja naše večletne izkušnje, pridobljene pri proučevanju kraških pojavov ob gradnji cest, kjer sodelujemo pri načrtovanju in spremljanju gradnje. Povzema tudi najnovejša krasoslovna spoznanja. Ugotovili smo, da je nekaterim, sicer znanim kraškim pojavom posvečeno premalo pozornosti. Osredotočili smo se na primere s matičnega Krasa, Dolenjskega nizkega krasa in krasa v brečah Vipavske doline.

Pokrajini Kras, ki se vzdiguje nad skrajnim severozahodnim delom Jadranskega morja in jo na jugovzhodu obrobja obširno flišno področje z nadmorskimi višinami prek 600 metrov, smo pri raziskavah posvetili posebno pozornost. Med 200 in 500 metrov visoka planota s površino 440 km² pripada v širšem smislu področju Zunanjih Di-

naridov. S stališča teorije tektonike plošč leži na severnem deformiranem robu Jadranske plošče in je rezultat narivne tektonike. Tu zasledimo le kredne in paleogenske kamnine. Zanje je značilna izredna pestrost apnencev, ki so večinoma nastajali v relativno plitvih sedimentacijskih bazenih z bujno favno in floro. Na Krasu ni sledov površinskih tokov, s katerimi so v preteklosti razlagali razvoj planote. Sprva je bil obdan in prekrit s flišem ter zato poplavljen. Navpično prenikanje je bilo minimalno. Kasneje se je talna voda spustila več 100 metrov niže v kras. Na stiku med karbonati in flišem pa površinski vodotoki ustvarjajo značilni in obsežni kontaktni kras. Danes vse kraške reke poniknejo na mestu, kjer pritečejo iz fliša na apnenčevo podlago. Podzemeljsko voda odteka proti izvirov Timave v Italiji. Največji vodotok je reka Reka, ki ponikne v Škocjanskih jamah, 65 odstotkov vode pa razpršeno prenika s površja. Kras je z ekološkega stališča eden najbolj ranljivih naravnih sistemov v državi.

Nizki Dolenjski kras je večinoma prekrit z različnimi naplavinami, pod katerimi se je oblikovalo svojevrstno kraško površje, še zlasti izraziti so kamniti gozdovi (Knez idr. 2003). Podtalna voda je pogosto plitko pod površjem, podolja so občasno celo poplavljeni.

Kras se je razvil tudi v brečah, ki so nastale iz gruščica na pobočjih Nanosa. Te ležijo na bolj ali



Slika 1.1: Raziskovanje jame, katere strop se je udrl zaradi miniranja med gradnjo avtoceste pri Divači.

manj neprepustnem flišu. Voda, ki se pretaka na stiku, je izdolbila največje jame na tem področju.

Krasoslovci že vrsto let sodelujemo pri načrtovanju in izgradnji avtocest na Krasu (Kogovšek 1993, 1995a; Knez idr. 1994; Knez, Šebela 1994; Šebela, Mihevc 1995; Slabe 1996, 1997a, 1997b, 1998a; Mihevc, Zupan Hajna 1996; Mihevc 1996, 1999a; Kogovšek idr. 1997; Mihevc idr. 1998; Šebela idr. 1999; Knez idr. 2003, 2004a, 2004b; Bosák idr. 2000; Knez, Slabe 1999b, 2000, 2001c, 2002a, 2004a, 2004b, 2005, 2006). Pri izbiri trase avtocest in železniških prog upoštevajo najprej celovitost kraške pokrajine, zato se izogibajo pomembnejšim površinskim kraškim pojavom (vrtače, polja, udornice, kraške stene) in že znanim jamam. Posebno pozornost posvečamo vplivu gradnje in uporabe avtocest na kraške vode. Avtoceste naj bi

bile zato neprepustne, vode s cestišča se namreč zberejo najprej v lovlicah olj in so nato prečiščene spuščene v kras.

Proučevali smo vplive prometnic na kraško vodo. Kogovškova (1993, 1995a) je ugotavljala sestavo onesnaženosti voda, ki se vsakodnevno stekajo z avtocest. V stoječih vodah, katerih manjše količine smo našli v jamah ob prometnicah, so bile tudi sledi mineralnih olj (Knez idr. 1994).

Ob gradnji avtocest pa opravljamo krasoslovni nadzor (slika 1.1). Proučujemo na novo odkrite kraške pojave kot pomemben del naše naravne dediščine, svetujemo, kako jih ohraniti, če je zaradi gradbenih del to le mogoče, naša nova spoznanja pa so tudi v pomoč graditeljem. Pridobili smo vrsto novih izsledkov o oblikovanju in razvoju kraškega površja, epikrasa in prevotljenosti vodonosnika.

MED GRADNJO RAZISKUJEMO KRAŠKO POVRŠJE IN NOVE JAME

Odstranitev prsti in rastja s kraškega površja in seveda večja zemeljska dela pri kopanju cestnih usekov in predorov so razkrila površinske, epikraške in podzemeljske kraške pojave. Naša naloga je te pojave proučiti kot del naravne dediščine, svetovati, kako jih ohraniti, in seveda seznanjati graditelje z novimi spoznanji. Te izsledke uporabljajo pri premoščanju gradbenih ovir.

Kraško površje členijo vrtače (slika 1.2) in jame brez stropa (slika 1.3). Vrtače so znak današnjega oblikovanja površja s padavinsko vodo, ki navpično prenika skozenj in nato po nezalitem delu vodonosnika pronica do podzemeljskih voda. Nekatere vrtače so bolj, druge pa manj izrazito zapolnjene s prstjo. Na njihovem dnu se odpirajo brezna in špranje, skozi katere odteka voda. Prst je treba odstraniti iz vrtač in dna utrditi s svodasto zloženimi skalami (slika 1.4); ustja brezen so namreč pogosto manjša kot bližnje votline pod njimi. Vrtače nato zapolnimo s plastmi gruščja (slika 1.2). Podobnih oblik ali pa bolj po-



Slika 1.2: Zapolnjevanje vrtače z gruščem. Iz vrtače so najprej odstranili naplavine. Danes je pod avtocesto med Kozino in Divačo.



Slika 1.3: Jama brez stropa pri Povirju, iz katere so bile odstranjene naplavine in siga.

dolgovate so jame brez stropa. To so stare jame, ki so spričo znižanja kraškega površja pogledale na dan, torej nimajo več zgornjih delov oboda. Tudi iz njih je treba odstraniti drobnozrnate zapolnitve, v tem primeru so to stare jamske naplavine, in jame nato zapolniti s skalami in gruščem. Voda bi namreč lahko te naplavine sčasoma odnesla in na površju bi se lahko pojavil grez.

Epikras prepredajo špranje, zlasti izrazite so v krednem apnencu, manj pa v paleogenskem, več se jih je odprlo na dnu in pobočjih vrtač. Večinoma so zapolnjene s prstjo in njihove stene razčlenjene s podtalnimi skalnimi oblikami. Zaradi znižanja kraškega površja je veliko brezen že tik pod njim.

Na 70 kilometrih trase avtocest, ki so bile izgrajene v zadnjih letih na Krasu, se je odprlo več kot 350 jam (slika 1.5). Jame lahko glede na razvoj vodonosnika delimo na stare jame, skozi katere so se pretakali vodni tokovi, ko je bil kra-



Slika 1.4: Zapiranje špranjaste jame.

ški vodonosnik višje obdan in prekrit s flišem in brezna, skozi katere se voda navpično pretaka s prepustnega kraškega površja do podzemeljskih voda (slika 1.6). Najgloblje brezno je merilo 110 metrov. Stare jame so prazne ali pa zapolnjene z naplavino, slednjih je skoraj dve tretjini, ena tretjina jam pa je že brez stropa.

Jame se odpirajo pri odstranjevanju rastja in prsti s površja in še zlasti veliko se jih je odprlo pri kopanju cestnih usekov (slika 1.7). Pri miniranju kamnine so se vdrli njihovi stropi, v brežinah pa so se ohranili prečni preseki rovov. Največ brezen se je odprlo na dnu vrtač, ko so iz njih odstranili prst in naplavine.

Vse jame smo proučili, narisali njihove načrte, opredelili njihovo obliko, skalni relief, zbrali smo vzorce naplavin za paleomagnetne in pelodne raziskave, vzorce sig pa za mineraloške raziskave in določanje starosti. Na podlagi oblike

jam in geoloških danosti smo predvideli njihova nadaljevanja, kar še zlasti koristi graditeljem pri njihovi gradnji.

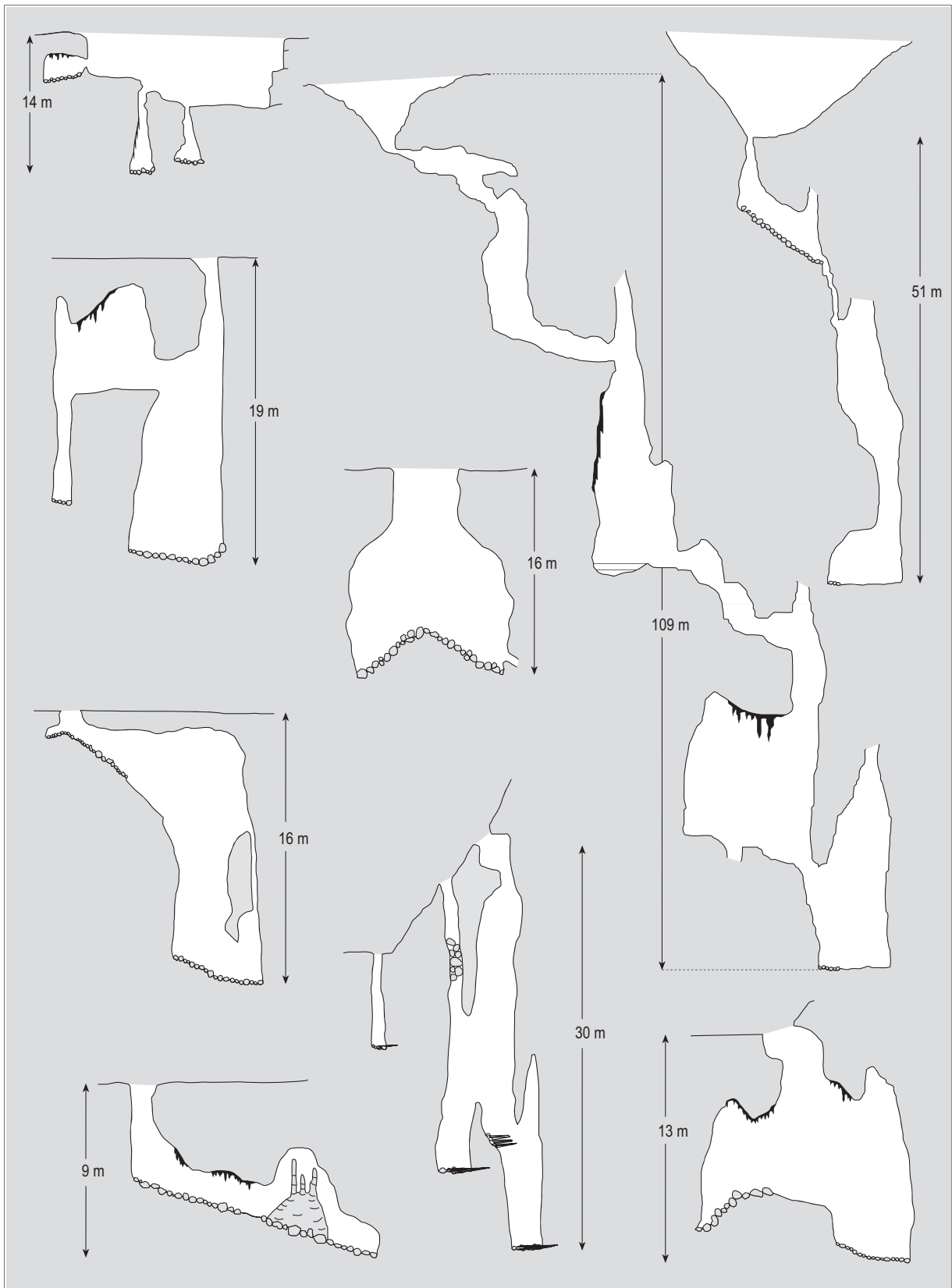
RAZISKAVE, KI SO SPREMLJALE GRADNJO, SO PRINESLE TUDI NOVA SPOZNAVANJA O RAZVOJU KRASA

Posebna in pogosta kraška oblika so jame brez stropa (slika 1.3). Ta, danes tudi pomembna površinska kraška oblika, je že znan pojav, ki pa do sedaj ni bil celovito proučen. Posvečeno mu je bilo premalo pozornosti, saj je delež tovrstnih površinskih pojavov precej večji kot je bilo domnevano. Število objav o jamah brez stropa je povezano tudi z gradnjo novih odsekov avtocest (Knez, Šebela 1994; Šebela, Mihevc 1995; Slabe 1996, 1997a, 1997b, 1998a; Mihevc, Zupan Hajna 1996; Mihevc 1996; Kogovšek idr. 1997; Mihevc idr. 1998; Šebela idr. 1999; Knez, Slabe 2000, 2001c, 2002a, 2004a, 2004b, 2005, 2006). Oblika jame brez stropa je posledica vrste in oblike jame ter razvoja kraškega vodonosnika in njegovega površja v različnih geoloških, geomorfoloških, podnebnih in hidroloških razmerah. Izrazitost površinske oblike jame brez stropa pa je narekovana s hitrostjo odnašanja naplavin iz jame v primerjavi z nižanjem okolnega površja. Na površini razberemo prst in rastje ali pa pasove naplavine in sige, če je to počasno, ko pa je hitrejše, so jame brez stropa na kraškem površju podobne vrtačam, nizom vrtač ali pa so podolgovate zajede. Pogosto so splet različnih starih oblik, jam torej in današnjega oblikovanje krasa z vrtačami in brezni.

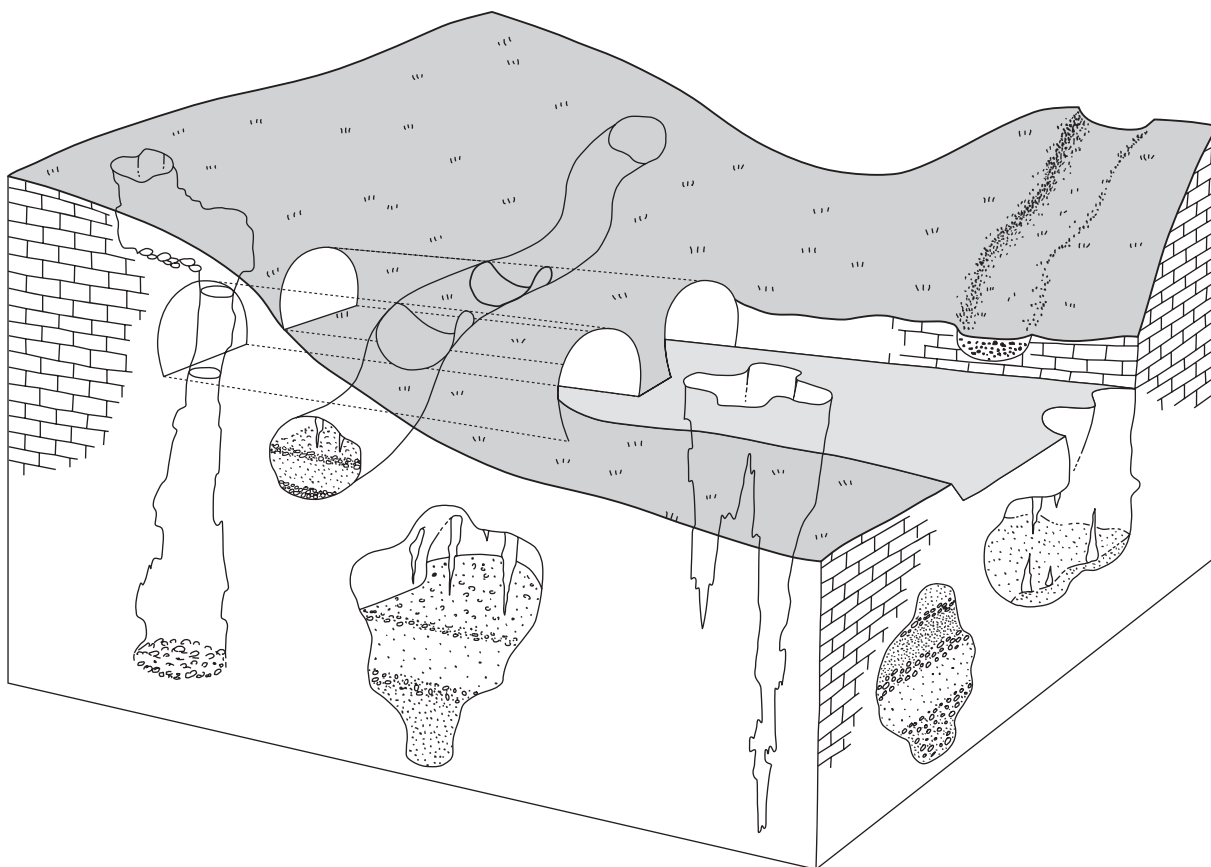
Velik delež jam je bil zapolnjen z naplavinaми (slika 1.8). Največkrat so to poplavne drobnozrnate flišne naplavine, vmes pa so tudi plasti proda. Vzeli smo tudi vzorce naplavin za paleomagnetne raziskave. V jamah pri Kozini in Divači smo ugotavljali, da so starejše olduvai dobe. Zato sklepamo, da so bile jame zapolnjene po messinski krizi, torej pred približno 5,2 milijonoma let (Bosák idr. 2000).



Slika 1.5: Jame, ki so se odprle med gradnjo med Razdrtim, Fernetiči in Črnim Kalom. Legenda: 1. stare jame: a. jame, zapolnjene s sedimenti in sigo, b. nezapolnjene, votle jame; 2. brezna. Avtocesta je na skici 15-krat širša.



Slika 1.6: Različne jame, odprte med gradnjo avtoceste (Knez, Slabe 2005).



Slika 1.7: Med gradnjo so se odprle jame različnih oblik in velikosti, kar je narekovalo tudi nadaljnja gradbena dela.

Skratka, jame brez stropa so vse bolj prepoznaven pojav na kraškem površju, so pomemben del epikrasa in izjemna sled razvoja kraškega vodonosnika.

Z določanjem starosti naplavin razbiramo najstarejša obdobja zakrasevanja in ugotovljamo, da so najstarejše jame na Krasu precej starejše, kot so to predvidevali krasoslovci pred nami (slika 1.9).

POSEBNO POZORNOST NAMENJAMO NAČRTOVANJU CEST

Pred gradnjo terensko preverimo verodostojnost znanih podatkov o jamah ter jih dopolnimo z morebitnimi novimi meritvami ter razlago njihovega razvoja. Zaradi boljšega razumevanja predstavimo dosedanje poznavanje prevotljenosti

ter vodonosnika ter izdelamo prognozne podpovršinske karte s posebnim poudarkom na pričakovane lito-tektonske spremembe kamnine. Pred pričetkom del poskušamo kraško prevotljenost kar najbolj natančno predstaviti. Lego podzemnih jam lahko določimo z vrtanjem. Takrat poleg merskih kazalcev določimo tudi vrsto morebitnega polnila (siga, naplavina). Obliko, tip in pogostnost votlin v sosesčini delno predvidimo s pomočjo vedenja o znanih površinskih in podzemskih pojavih.

Gradnji avtocest na Krasu daje izrazit pečat njegova prevotljenost (slika 1.10). Na našem Krasu, ki ga poleg pestrega razvoja, zaznamuje tudi zelo živahna tektonika in litostratigrafska različnost, je odpiranje jame težko vnaprej določljiv pojav. Na stikih fliša z apnencem se jame pojavljajo praviloma pogosteje. Prevotljenost kraškega vodonosnika torej določamo predvsem na



Slika 1.8: V avtocestnem useku odkrita s sedimenti v celoti zapolnjena jama.

podlagi dobrega in celostnega poznavanja krasa ter temeljitega sprotnege dela pri načrtovanju in gradnji avtocest.

Zaradi povezanosti površinskih in podzemnih kraških pojavov pri načrtovanju cest s krasoslovnega vidika ovrednotimo tako kraško površje kot kraško podzemlje, hidrološke posebnosti in ocenimo predstavljene različice. Kjerkoli na Krasu, kjer gradimo ceste, naletimo na številne kraške pojave; vrtače, zapolnjene ali prazne votline ter dele starih in današnjih drenažnih poti skozi kras. Številne kraške jame pa je nižanje kraškega površja že razgalilo ter jih lahko prepoznamo na površju Krasa. V zadnjem času je jamam brez stropa, ki so bile »odkrite« prav med gradnjo avtocest, posvečena posebna pozornost. Zavedamo se, da kvalitetna krasoslovna študija področja, na katerem se načrtuje prometnica, omogoča dober izbor trase in je eno od temeljnih izhodišč za načrtovanje gradnje v svojevrstni in občutljivi pokrajini.

V prvem koraku s pomočjo objavljene literature, arhivov in različnih zbirk zberemo znanje o površinskih kraških pojavih, med katerimi še posebej izločimo vrtače, udore ter druge morfološke oblike. Po terenskem ogledu določimo izhodišča za kartiranje območja izbrane trase. Na terenu s krasoslovnega vidika ovrednotimo različne kamnine. Na kartah tematsko predstavimo znane vhode v podzemne prostore ter jih dopolnimo z morebitnimi novimi. Na podlagi površinskega kartiranja in razlage razvoja morfološko izraženih in v reliefu zaznavnih jam brez stropa predvidimo razvejanost podzemeljskih votlin. Če je potrebno, na osnovi površinskega kartiranja predvidimo možnost odlagališč viškov materiala.

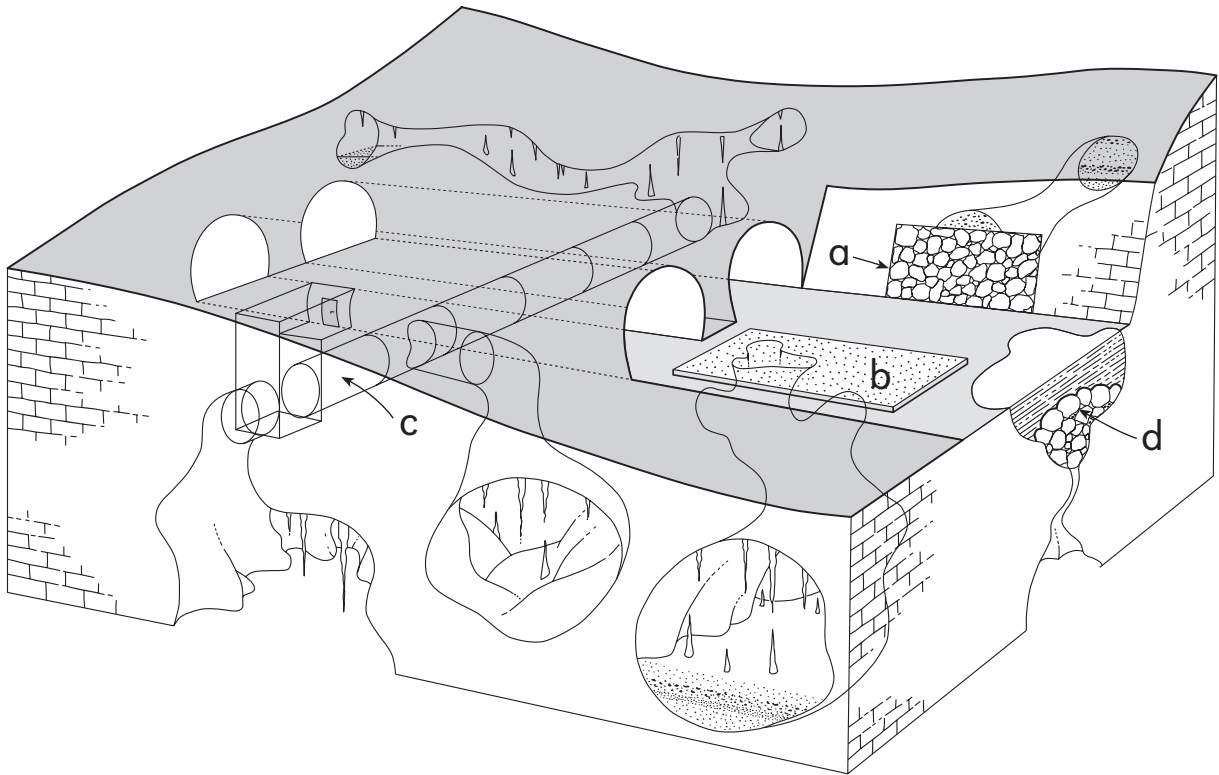
Iz izkušenj vemo, da v sleherni trasi, ki prečka Kras, med gradnjo naletimo na podzemne votline in dele jamskih sistemov. Obliko in tip votlin lahko delno predvidimo s pomočjo poznavanja površinskih in podzemskih pojavov. Jamam, ki jih zasledimo v širši okolici trase, določimo vr-



Slika 1.9: Razkritje delane vrtače.



Slika 1.10: Udor stropa jame pri gradnji useka pri počivališču pri Divači.



Slika 1.11: Zapiranje in ohranjanje jam.



Slika 1.12: Zapiranje jame v brežini useka.



Slika 1.13: Jama, ki ostala odprta pred mejnim prehodom Fernetiči.



Slika 1.14: Gradnja umetnega vhoda ob cestišču.



Slika 1.15: Priprava za polaganje cevi za odvodnjavanje cestišča.

sto, njihov položaj in vlogo v vodonosniku, obliko, skalni relief, naplavine in sigo v njih ter jih predstavimo na ustreznih kartah. Zaradi boljšega razumevanja predstavimo dosedanje poznavanje prevotljenosti vodonosnika ter izdelamo napoved s posebnim poudarkom na pričakovanih litotektonskih spremembah kamnine.

Zaradi posebnih lastnosti karbonatne kamnine kraške vode, ki poniknejo na obravnavanem območju, brez težav najdejo neposredno poti v podzemlje (kraški vodonosnik); 100 metrov debele kamnine lahko preidejo že v dobri uri. Kljub temu da so flišne kamnine, ki so na Krasu v stalnem neposrednem stiku s karbonati, pogosto predstavljene kot izključno neprepustni skladi, moramo poudariti, da je fliš (marsikje manjših debelin) le izolirana leča na prepustnih karbonatnih kamninah. Poleg tega je treba tudi vedeti, da se v flišnih kamninah prav tako oblikujejo, sicer manj številni, podzemni prevodni kanali ter da na flišu zbrana padavinska voda odte-

ka v kras. Zato opravimo terensko hidrogeološko kartiranje. V ta namen razmejimo in določimo osnovne značilnosti hidrogeoloških enot na širšem območju trase, popišemo hidrološke objekte (zajeti in nezajeti izviri, površinski tokovi, vodne jame, vrtine, merilne postaje in drugo) ter določimo fizikalno-kemične lastnosti izvirov. Če je potrebno, izvedemo sledilna poskusa ob nizkih in visokih vodah predvsem za določitev smeri in hitrosti podzemnega toka na širšem območju trase. Z rezultati terenskega kartiranja in sledilnih poskusov izdelamo in nadgradimo obstoječe hidrogeološke karte, izdelamo zbirko podatkov o stanju okolja ter opravimo oceno vpliva gradnje na kraške vode.

Temeljne smernice načrtovanja prometnic lahko kratko strnemo:

1. izbor trase temelji na podlagi celostne presoje krasa s poudarkom na lokalnih značilnostih;
2. izbrani potek trase se izogiba tudi posameznim izjemnim kraškim pojavom;

3. eden prednostnih ciljev načrtovanja je ohranjanje kraškega vodonosnika.

ŽELIMO OHRANITI ČIM VEČ KRAŠKIH JAM

Najlažje smo ohranjali brezna. Njihove manjše vhode smo zaprli z betonskimi ploščami (slika 1.11). Prav tako je bilo mogoče ohraniti stare jame, katerih obodi so bili trdni. Jame, ki so bile v pretrti kamnini in so se odprle zaradi miniranja, je bilo treba zasuti. Jame, ki so jih presekali useki in katerih vhodi so v njihovih brežinah, pa smo zaprli s skalnatimi zidovi (slika 1.12). Njihovi obodi so namreč preveč pretrti in jame so zato neprimerne za nadaljnje obiskovanje, iz jam, ki so zapolnjene z naplavinami, pa bi voda na cesti-



Slika 1.16: Žlebovi za odvodnjavanje na robu cestišča.

šče lahko odnašala ilovico. Eno, dobro ohranjeno, smo pustili odprto za ogled potnikom, ki prestopajo mejo z Italijo (slika 1.13). Najbolj zanimive in dobro ohranjene jame pa smo v celoti zaščitili in so, čeprav so pod avtocesto ali pa se – kot v predoru Kastelec – vijejo okoli tunelske cevi, dostopne. Do njih namreč vodijo betonske cevi, ki se ob cesti zaključijo z zaprtim jaškom (slika 1.14) in v predoru z vrati.

Proučevali smo tudi posledice različnih miniranja v jamah, kar nam služi pri nadaljnji gradnji in ohranjanju kraških pojavov.

ZAŠČITA KRASA OB GRADNJI AVTOCEST IN NJIHOVI UPORABI

Izkušnje s sledenji voda in nesrečnimi izlitji različnih snovi na kraškem površju so nas opozarjale na veliko prevotljenost kraškega vodonosnika. To so potrdila nova odkritja številnih votlin ob gradnji. Slabo prepustne so le posamezne, razmerno majhne površine bodisi na dnu vrtač, kamor je sprano ponavadi več zemlje, v vrtačah na paleogenskem apnencu Divaškega podolja so bili v deževnih obdobjih kali, bodisi še manjše površine ilovice, ki je zapolnjevala stare jame. Zato je potrebna skrajna previdnost tako pri gradnji cest kot tudi pri njihovem izkoriščanju. Vsakodnevna vožnja namreč pušča na cestišču številne okolju škodljive snovi (Kogovšek 1993), v stoječih vodah jam blizu prometnic pa smo odkrili mineralna olja (Knez idr. 1994). Avtoceste naj bi bile zaradi opisanih spoznanj in tudi naše vztrajnosti neprepustne. Ob cestišču so cevi (slika 1.15) in žlebovi (slika 1.16), ki vodijo do lovilcev odplak (slika 1.17). Nепrečiščena voda naj ne bi dosegla prepustnega kraškega površja. Tem željam pa je treba prilagoditi tudi tehnično izvedbo odvodnjavanja. Lovilci so pogosto premajhni in po izdatnem deževju voda lahko odplakne usedlino iz njih.



Slika 1.17: *Gradnja lovilca olj.*

SKLEP

Ugotavljamo, da je sodelovanje krasoslovcev pri gradnji avtocest na Krasu koristno. Pomembno pa je, da se vključujemo tako v načrtovanje kot v izgradnjo avtocest, kasneje pa tudi spremljamo vplive, ki jih imajo avtoceste na okolje, torej v celostni proces poseganja v občutljivo kraško pokrajino. S smiselnim sodelovanjem ohranjamo naravno dediščino, poglobljamo temeljno znanje

o nastanku in razvoju krasa in gradnji avtocest v tem svojevrstnem okolju. Poznamo več različnih vrst krasa in vsak zahteva svojstven pristop, zato mora biti sodelovanje med graditelji in krasoslovci stalno in sprotno. V zadnjih desetih letih je sodelovanje med načrtovalci in graditelji avtocest ter krasoslovci obrodilo spoznanja, ki jih uporabljamo tudi pri načrtovanju in izvedbi drugih posegov v kras.

JAME BREZ STROPA – OSREDNJE ODKRITJE MED ČEBULOVICO IN DANAMI

MARTIN KNEZ, TADEJ SLABE

Pri razgaljanju kraškega površja in zemeljskih delih, ki so potrebna za izgradnjo ceste, so bili odkriti številni kraški pojavi. To so stare kraške jame, ki so votle ali pa zapolnjene z naplavino, brezna, skozi katera prenika voda s površja v kraško notranjost, in različne vrtače. Novoodkrite jame smo raziskali, izmerili in narisali načrte. Pridobili smo nova spoznanja o kraškem površju, ki ga členijo jame brez stropa in je sled celostnega razvoja kraškega vodonosnika. Vzeli smo nekaj vzorcev najbolj značilnih sig in naplavin iz starih jam.

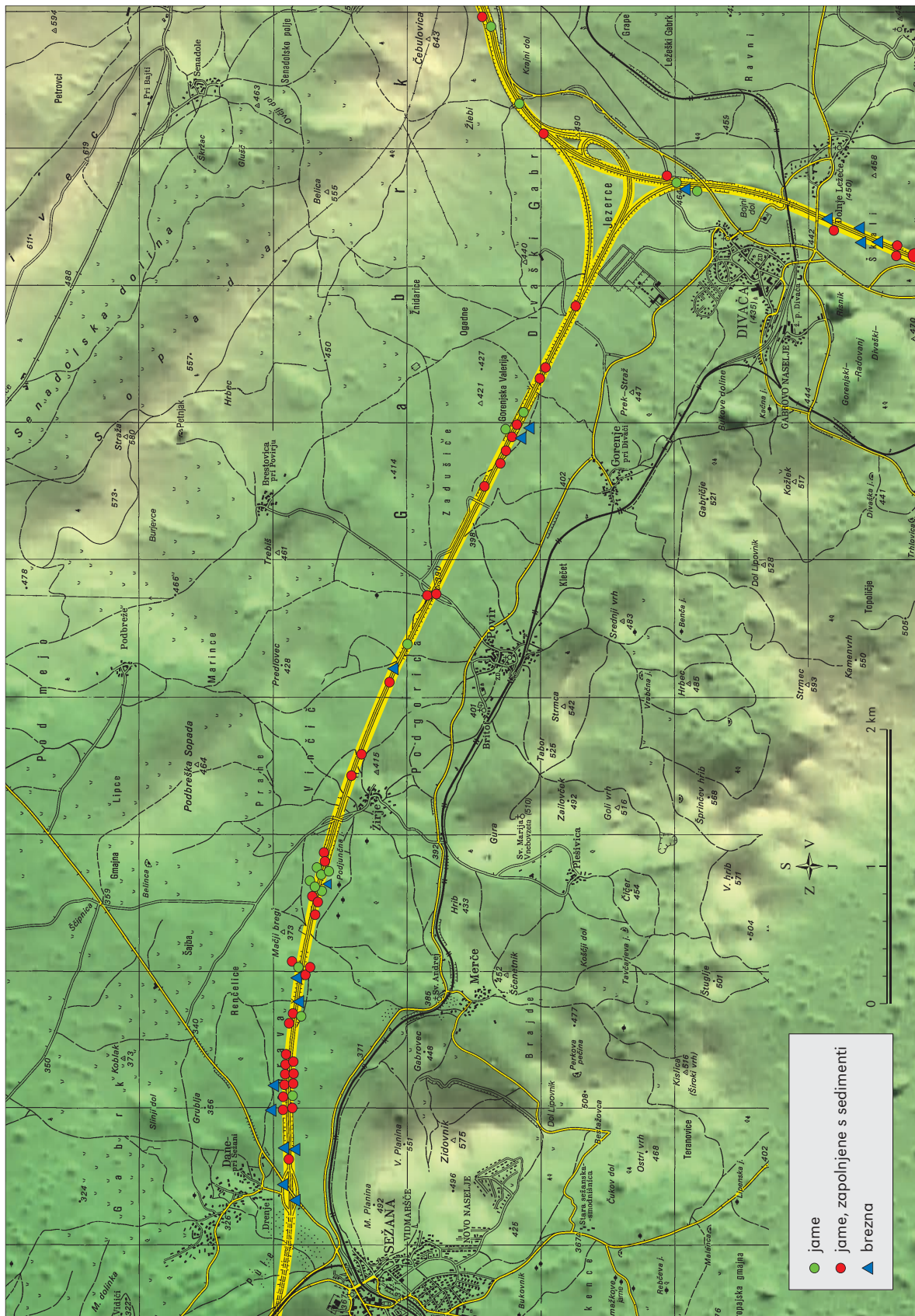
KRAS PRI DIVAČI

Trasa med Čebulovico in Divačo poteka prečno po vzhodnem robu kraškega hrpta, ki se razteza od Štorij proti Čebulovici do vrtačastega ravnika, zahodno od Škocjanskih jam, med Divačo in Danami pa po manj zakraselem Divaškem podolju (Melik 1960, 199).

Krasoslovci so ugotavljali, da so na Krasu ohranjene sledi prvotnega površinskega odtoka vode proti SZ. Melik (1960, 201) je o tem sklepal po strmcih na današnjem površju, Radinja (1972, 13) pa po opušenih dolinah in ostankih naplavin na kraškem površju. Apnenci naj bi bili, ko so se začele razkrivati karbonatne kamnine, na-

mreč zaprti in podzemeljska voda zajezena, kar je ohranjalo površinske vodne tokove. Nekdanji površinski odtok z Brkinov čez Kras je oblikoval vzdolžno podolje od Divače proti Brestovici (Habič 1974, 8). Gams (1965a, 90) je pri proučevanju razvoja površja med Postojnskim in Cerkniškim poljem ugotovil, da so nekateri morfološki procesi pospešili kraško razčlenjevanje in nastanek dolinastih oblik, ki so jih vse prepogosto pojmovali za ostanke rečnih dolin. Reliefne značilnosti Divaškega podolja so tudi zgradbeno in litološko pogojene, saj so različni litostratigrafski elementi in glavni prelomi usmerjeni od JV proti SZ (Habič 1974, 8).

Pri Divači se stikajo apnenci brkinske sinklinale ob izrazitem dinarsko usmerjenem prelomu s spodnjekrednimi temnosivimi bituminoznimi dolomiti (Habič 1974, 4). Del trase južno od Divače poteka po temnosivem skladovitem krednem apnencu, ki se menjuje z rudistnim apnencem (slika 2.1). Med Divačo in Danami, torej ob divaškem prelomu, ki se odraža tudi v reliefu, poteka trasa po paleocenskem, na manjših odsekih tudi krednem apnencu in temnosivem krednem dolomitu. Tektonsko pretrto kamnino in številna prelomna zrcala z drsami, ki kažejo na premikanje blokov kamnine v različne smeri, so odkrila tudi zemeljska dela na trasi. V območju prelomov je apnenec zdrobljen v grušč in milonit.



Slika 2.1: Jame, odkrite pri gradnji.



Slika 2.2: Zapolnjevanje vrtače.



Slika 2.3: Kal z vodo.

Z litološkini značilnostmi tega dela Krasa se ujemajo tudi sedanje hidrološke razmere. Današnji podzemeljski tokovi se pretakajo 200 do 300 metrov globoko pod površjem. Reka teče od Škocjanskih jam, južno od Divače, vzporedno s traso, jo pri Divači preči in nato pod Divaškim podoljem proti severozahodu k izvirov Timave. Padavinske vode jih dosežajo z navpičnim prenikanjem.

Pri Danah je pod pol metra debelo plastjo rjave zemlje grbinasto skalnato površje. Dva metra široke in daljše grbine, med katerimi so razpoke, so zaobljene in gladke (Gams 1971). Posamezni manjši pasovi kamnine so bili zdrobljeni. V njih je rumen grušč in rdeča ilovica. Tudi na drugih delih trase je v pretrtih conah kamnine rumen grušč.



Slika 2.4: Siga in naplavine pod kalom.

VRTAČE

Vrtače na teh odsekih avtoceste je Habič (1974, 6, 7) po obliki razdelil na lijakaste, iz katerih je ilovica večinoma sprana, skledaste, kjer je na dnu večja ilovnata površina, in zasute plitve vrtače, v katerih je ilovica malo prepustna. V zasutih vrtačah se pogosto zadržuje voda. Pri Divači je 11, med Divačo in Sežano pa 5 vrtač na km² trase. Na južnem delu odseka avtoceste Čebulovica–Divuča so velike lijakaste vrtače. V njih je bilo le malo ilovice. Na apnencu Divaškega podolja prevladujejo skledaste in zasute vrtače. Slednje so manjše, s 30 do 50 metri premera in so 5 do 15 metri globine. Največja globina vrtače, ki so jo dosegli z vrtanjem, je bila 27,5 metrov (Habič 1974, 5). V vrtačah prevladuje rdeča in rjava kraška ilovica, sprana s pobočij vrtače na gruščnato podlago. Ilovica je nastala s preperevanjem skalne podlage. V nekaterih vrtačah so tudi flišni pesek in prod ter rumenkasta ter pasovita glina, ki je verjetno naplavina nekdanjih vodnih tokov (Habič 1974,



Slika 2.5: Raziskave jame brez stropa pri Povirju.

6). Habič (1987) je z vrtnjem proučeval deloma odkopano vrtačo pri Sežani. V grbinasto dolomitno površje, prekrito s tanjšo plastjo zemlje, se zajedajo manjše in redko posejane zasute vrtače. Zgornja plast zapolnitve vrtač je rjava zemlja, meter in pol pod površjem pa je rdeča ilovica.

Pri gradnji avtoceste je bilo treba iz zasutih vrtač odstraniti naplavine (slika 2.2). Potrdila so se dognanja, ki so bila pridobljena pri predhodnih raziskavah z vrtnjem v naplavine v vrtačah. Pogosto so bile v vrtačah tudi precejšnje količine starejših, večinoma flišnih naplavin. V vrtači na odseku Divača–Dane je flišni prod segal skorajda do površja. Poudariti pa je treba, da je veliko zasutih vrtač sredi starih jam, ki so zapolnjene z naplavinami in že brez stropa. Pod rovi, skozi katere se je pretakal vodni tok in v zadnjih izrazitih razvojnih obdobjih odložil tudi flišno ilovico in pesek, v sušnejših obdobjih pa se je odlagala siga, so nastala brezna. Po njih prenika voda proti podzemeljskim tokovom, ki so danes že globoko pod površjem. V flišnih naplavinah, ki jih je

spirala površinska voda, so nastale lijakaste zaje, zapolnjene z rjavo in rdečo kraško ilovico ter gruščem.

Pri Povirju je bil kal (slika 2.3) z obzidanimi stenami in stalno vodo na dnu. Kal je bil na vzpetini, na temenu antiklinale. Vzpetino je bilo treba presekat z vkopom, zato kala bilo mogoče ohraniti. Po odkopavanju kala se je potrdila predpostavka, da vodo na površju ohranja neprepustna ilovica, ki je bila odložena v starem rovu, katerega tla je prekrivala velika kopa sige (slika 2.4).

Na dnu ali na robu vrtač v apnencu in dolomitu so se pogosto odprla brezna. V večjih, večrelnih vrtačah (Šušteršič 1985, 94) je več brezen, kar se je odražalo tudi pri njihovi obliki.

Pri Žirjah in Danah so bile z zemeljskimi deli presekane zasute, delane vrtače (Gams 1974, 177; Gams 1991, 39). V prečnem prerezu izkopane vrtače je bilo jasno razvidno zasutje s skalami in kamenjem, ki so jih nabrali pri čiščenju zemlje v vrtači in okolnega kraškega površja (slika 1.9). Kamenje in skale so zmetali v odkopano vrtačo



Slika 2.6: Ohranjene stene jame brez stropa.



Slika 2.7: Jame, zapolnjene z naplavinami v brežini avtocestnega useka.

in jo nato prekrili s prstjo. Tako so dobili več ravne obdelovalne zemlje.

Pri gradnji ceste sta bila iz vrtač najprej odstranjena ilovica in grušč, dno, še zlasti, če je bilo prevotljeno, pa je bilo utrjeno s skalami, ki

jih je povezal beton. Vrtače so bile nato zasute s 30-centimetrskimi plastmi kamnitega grušča, ki je bil sproti utrjen z vibracijskim valjarjem. Z zemljo, ilovico, ki je bila izkopana iz vrtač, se je zapolnilo več vrtač v bližini trase.



Slika 2.8: Votle in z naplavino zapolnjene jame, odkrite pri kopanju avtocestnega useka.



Slika 2.9: Zobje pleistocenskega konja.

JAME

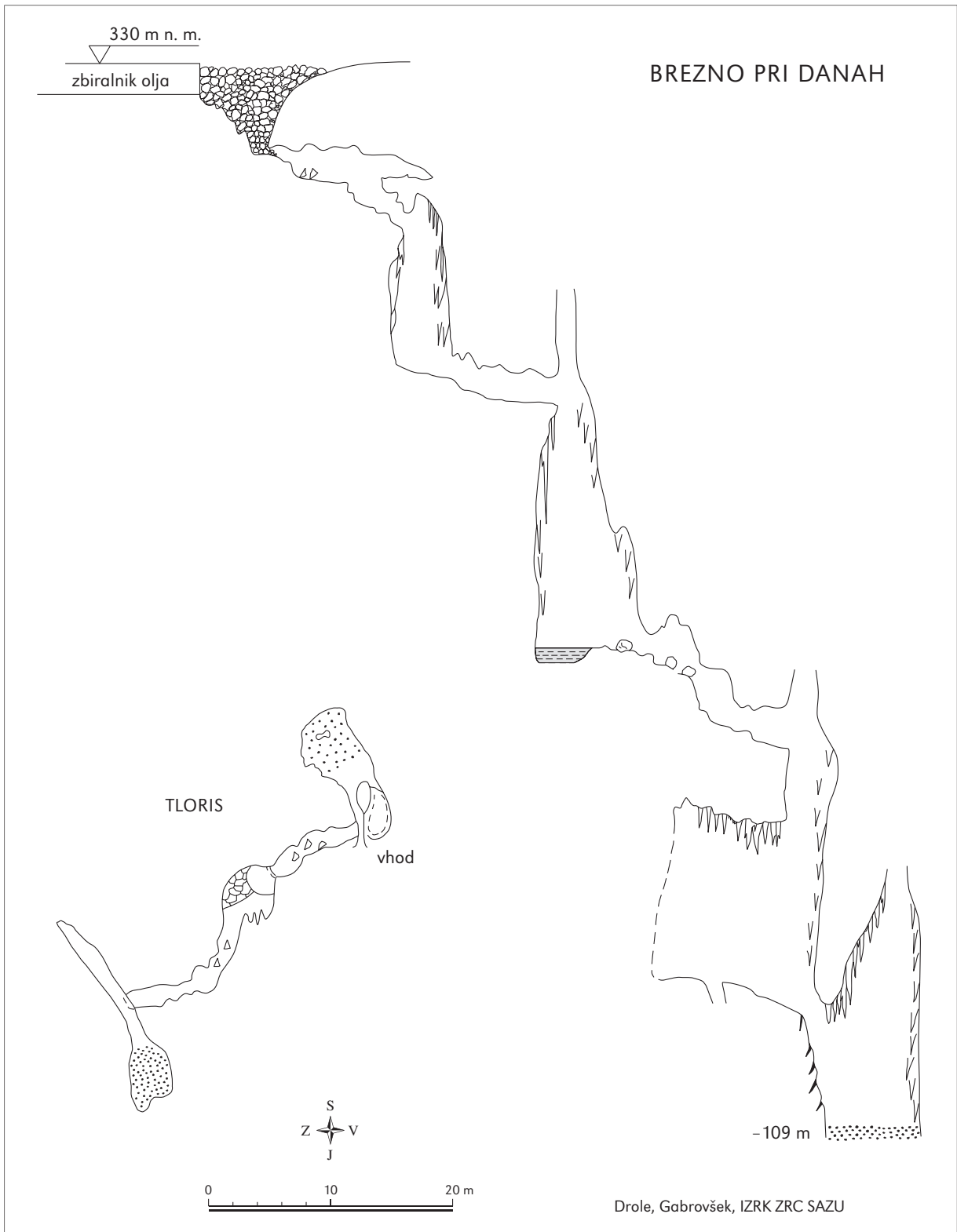
Jame, ki smo jih raziskali ob gradnji tega odseka avtoceste, lahko razdelimo na stare jame in brezna. Stare jame so votle ali pa zapolnjene z naplavinami. Golobja in Mošenjska (Srnja) jama, ki ju je bilo zaradi izkopavanja usekov treba razminirati, sta bili znani že prej. Na novo pa se je odkrilo 76 jam, 24 votlih starih jam, 33 z naplavino zapoljenih starih jam in 19 brezen.

Stare jame

Jame, ki so ostanek nekdanjih, najstarejših podzemeljskih poti vodnih tokov v tem delu Krasa, so sestavljene iz spletov položnih rogov s premerom od metra do pet metrov z vmesnimi manjšimi dvoranami. Rove je oblikoval počasen vodni tok. O tem pričajo razčlenjeni spleti rogov, njihova vijugavost in ponekod tudi skalni relief. Njihove stene deloma prekrivajo siga in kapniki. Ta tip jam, ki jih je razmeroma malo, se pojavlja predvsem v nekoliko višjem delu Krasa, pod Če-

bulovico. V dolomitu so manjše votline pogosto nastale med položnimi skladi kamnine. Rovi so namreč ob skladih, ki so prepereli v drobnozrnati pesek.

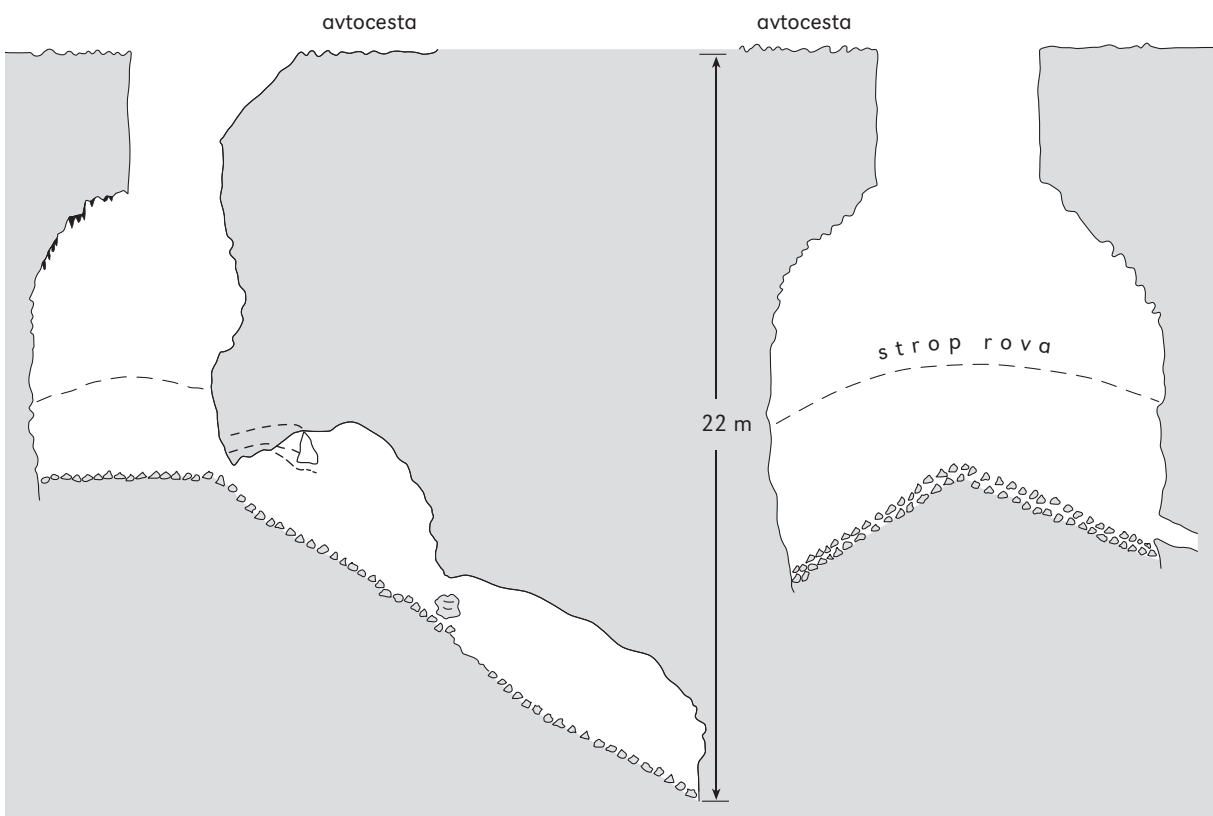
Bolj pogoste so jame, ki so zapolnjene z naplavino. Takšne jame so že brez stropov (sliki 2.5, 2.6) in se danes kot korita vijejo po površju ali pa so zasuti rovi vidni v prečnih prerezih v brežinah usekov (sliki 2.7, 2.8). Rovi jam so različno veliki, presegajo tudi pet metrov premera. Stene jam so pogosto zasigane, njihova dna pa prekrivajo večje kope sige. V jamah je flišni in apnenčasti prod ter flišna ilovica in pesek. V največjih so bile flišne naplavine debele več kot pet metrov. Z naplavino zapoljenim jamam lahko sledimo po vsej trasi med Čebulovico, Divačo in Danami. Zbrali smo več vzorcev naplavin. Z metodo rentgenske difrakcije, mineraloški, granulometričnimi in pelodnimi analizami smo skušali določiti izvor in starost naplavin. Izluščimo lahko nekaj značilnih obdobij razvoja teh jam. Iz vijugavosti in oblike rogov lahko sklepamo o njihovi prvotni



Slika 2.10: Najgloblje brezno.



Slika 2.11: Ježki na stenah brezna (foto: Franjo Drole).



Slika 2.12: Jama, katere strop se je udrl pri kopanju avtocestnega useka.

oblikovanosti v zaliti, freatični coni. Manjše fasete na stenah nekaterih rovov in prod pričajo o razmeroma hitrem vodnem toku, ki je zadnji, kot kaže kratkotrajno, dolbel rove. V suhih obdobjih razvoja jam se je odlagala siga, ki ponekod prekriva fasete na stenah, drugod pa tudi naplavino. Poplavne vode so končno dosegle jame in jih zapolnile s flišno ilovico.

Več jam je špranjastih. Nekatere od njih, o tem sklepamo po njihovi obliki, so nastale s kratkotrajnim kroženjem vode ob izrazitih razpokah.

O življenju v tem delu Krasa pričajo zobje (slika 2.9) in ostanki lobanje pleistocenskega konja, ki smo jih našli pri čiščenju naplavine iz jame pri Povirju.

Brezna

V trasi avtoceste se je odprlo več manjših vhodnih brezen in globlja stopnjasta brezna. Najgloblje brezno je doseglo 109 metrov (slika 2.10). Vodni tokovi se v tem delu Krasa pretakajo že

globoko pod površjem (200 metrov in več). Padavinska voda jih že daljše obdobje dosega s prenikanjem. Voda si je utrla pot ob razpokah. Ob manj izrazitih razpokah, ob katerih so prenikale manjše količine vode, so večje votline nastale le ob bolj razprtih odsekih. Stene špranjastih votlin so deloma že prekrite s siga (slika 2.11).

Ob izrazitejših razpokah in stalnem dotoku vode so nastala brezna, ki imajo pogosto okrogli prečni prerez. Njihove stene so razčlenjene v večje navpične žlebove ali pa žlebiče, ki so sledi polzeče vode. Tudi stene večjih brezen ponekod prekriva siga.

Največ aktivnih brezen je na dnu ali robu vrtač. Nastala pa so tudi pod starimi jamami, jih razčlenila in skozi je voda odnesla del stare naplavine.

Prevotljenost različnih kamnin

Večje stare jame, ki so votle ali pa zapolnjene z naplavino, so v vseh tipih kamnine, tako v pale-



Slika 2.13: Ob prelomu udrt strop jame.

ocenskih in krednih apnencih kot v spodnjekrednih bituminoznih dolomitih pri Danah. V paleocenskem apnencu južno od Čebulovice je starih jam razmeroma malo, več jih je v paleocenskem apnencu vzhodno od Povirja. Na odseku dolgem le 50 metrov so kar štiri votle jame in tri zapolnjene z naplavino. Velika, z naplavino zapolnjena jama je bila tudi v zgornjekrednem apnencu južno od Divače. V dolomitih so razmeroma pogoste manjše jame. Premer njihovih rovov največkrat meri manj kot meter, več jih je zapoljenih z naplavino in zasiganih. Redko so se odprle večje jame, kakršna sta z naplavinami zapolnjena kanjonska rova, ki sta bila globoka 5 in 6 metrov.

Brezna so tako v apnencu kot dolomitu. Največ in to največjih brezen je v krednem apnencu v bližini Škocjanskih jam, razmeroma redko se brezna pojavijo v paleocenskem apnencu. Več brezen se je odprlo tudi v spodnjekrednem dolomitu. So pa večinoma manjša in nepristopna. Le na robu vrtače, nekaj 10 metrov vzhodno od

trase, se je odprlo 30 metrov globoko špranjasto brezno, nedaleč od njega pa stopnjasto brezno.

Dular (1993a, 1993b) je ugotavljal, da so paleocenski in eocenski apnenci ter kredni dolomiti manj, zgornje kredni pa zelo zakraseli. V paleocenskih apnencih pri Čebulovici je resda malo starih jam, brezna pa nismo odkrili niti enega. O slabši prevotljenosti pričajo tudi stene velikega useka pod Čebulovico z dvema manjšima votlima starima jamama in eno zapolnjeno z naplavinami. Razmeroma veliko jam pa je v paleocenskem apnencu na trasi med Divačo in Danami. Tam so stare jame, in sicer tako votle kot zapolnjene z naplavino, pa tudi špranjasta brezna.

Gradnja ceste in jame

Pri gradnji avtoceste se jame odpirajo pri odstranjevanju rastja in zemlje s kraškega površja. Tako smo naleteli na precejšnje število starih jam z vodoravnimi rovi, zapolnjenimi z naplavino. Na dnu in bokih vrtač se je odprlo tudi več brezen.



Slika 2.14: Škavnice.

Druge jame se odkrivajo ob izkopavanju usekov, bodisi pod skalnimi tlemi ali pa v stenah. To so votle jame ali z naplavino zapolnjene stare jame ter brezna. V useku, blizu nadvoza magistralne ceste, se je z udorom stropa nad rovi odprla večja stara jama (slika 2.12). Podor je nastal ob navpičnem prelomu, ki poteka vzporedno z osjo trase. Ob istem prelomu poteka tudi največji rov v jami (slika 2.13). Strop nad rovom je bil debel 10 m. Dno jame in morebitno nadaljevanje, ki ga je videti skozi neprehodne ožine, sta bila zaradi podora zasuta. Na vznožju stene useka na trasi Divača–Dane se je odprla jama ob razpoki, pravokotni na traso. Jama se zajeda v brežino, del pa se nahaja tudi pod traso. V tem delu trase se je odprlo še več ožjih (do 4 m) in do 20 metrov globokih jam. Jame so se odpirale med izkopavanjem useka in tudi kasneje pri utrjevanju gruščnatega nasipa tal.

Zaradi miniranja pri izkopavanju usekov se je pretrla tudi kamnina v bližnjih jamah. V jami na trasi Čebulovica–Divača, ki se je odprla z vdo-

rom stropa, je kamnina pretrta v kose velikosti nekaj kubičnih centimetrov do globine 12 metrov. Razpoke, ki so nastale zaradi miniranja in so široke do centimetra, segajo vse do dna jame. Večina kapnikov na dnu jame pa se je obdržala na stenah. Tudi v jami, ki se je odprla na brežini useka na isti trasi, je bila močno pretrta kamnina v vhodnem delu. Njegov obod je deloma razpadel, s stropa dvoranice v notranjosti jame pa so odpadle manjše skale. V špranjastem breznu na trasi Divača–Dane je razpokala kamnina v vhodnem delu. Del stropa je zato razpadel in z njega se je zato odluščila siga. Globlje v breznu posledic miniranja ni bilo opaziti.

V južnem delu se je trasa Čebulovica–Divača približala Hankejevemu kanalu v Škocjanskih jamah na 400 metrov, torej vse do zahodnega roba predvidenega regijskega parka Škocjanske jame. Predvidevali smo, da miniranje na trasi ne bo vplivalo na Škocjanske jame, toda vseeno smo se odločili za opazovanje morebitnih posledic v jami.



Slika 2.15: Udor na cestišču.

Resda je jama razmeroma daleč od mest miniranja, vendar so v zadnjem delu jame veliki podzemeljski prostori, kot je 140 metrov visoka Martelova dvorana z dvema milijonoma kubičnih metrov prostornine. Kje natančno vodni tok Reke preči traso, še ni znano. Previdnost je torej narekovala sprotno opazovanje morebitnih posledic miniranja, ki je bilo zaradi opozoril temu primerno z ustreznimi zakasnitvami eksplozij v vrtnah. Useki na tem delu trase so razmeroma majhni, zato je bilo miniranje manj globoko in bolj šibko. Neposrednega vpliva izgradnje avtoceste na Škocjanske jame ni bilo.

Ohraniti smo skušali čim več jam, seveda, če je to dopuščala izgradnja trdne podlage ceste in njena varna uporaba, tiste, ki jih zaradi tehnično zahtevne gradnje ceste ni bilo mogoče, pa vsaj proučiti. Tudi slednje pa je bilo pri izkopavanju večjih usekov izjemno težko. Kamnino ob tem namreč razminirajo v razmeroma droban grušč in od jam ostane malo. Največkrat so to kosi sige v grušču. Tako je razpadla tudi Golobja jama pod

Čebulovico, ki je bila precej velika, a se je nahajala sredi trase. Ohranijo pa se jame v brežinah usekov. Kamnina je zaradi miniranja pogosto zelo pretrta in jame so manj primerne za obisk. Vhode nekaterih je bilo treba zazidati z večjimi skalami.

Manjše in speleološko manj pomembne jame sredi trase so zasute. Prav tako stare jame, iz katerih je bila izkopana drobnozrnata naplavina, ter vrtače. Večje izkope se je zasipalo s 30-centimetrskimi plastmi grušča, ki so jih utrdili s tresočim valjarjem. Večje jame in brezna s kamini, ki so segali tik pod traso, je bilo treba razminirati in nato na opisani način zasuti. Nad globljimi brezni, ki imajo ožje vhodne dele, so betonski pokrovi. Ko smo raziskovali jame in ugotavljali njihov morebitni vpliv na izgradnjo ceste, smo naleteli tudi na ožine. Sklepati je bilo, da je v breznu na trasi Divača–Dane za ozko špranjo večji prostor, ki sega pod traso. Ožino smo skušali razširiti z vibracijskim kladivom, uspeli pa smo šele z miniranjem. Jame, ki so v brežinah v trdni kamnini,



Slika 2.16: Raziskave udora.

lahko ostanejo take, kot so. Presoditi pa je treba, kako vpliva miniranje na obstojnost njihovega oboda, ter očistiti razmajano in porušeno kamnino. Kamnina je bila zlasti neobstoja v dolomitu. Jame v brežinah, ki so zapolnjene z naplavino in dostopne v prečnem prerezu, je bilo treba obzidati. Naplavina na površju ni obstojna in voda bi jo sprala na cestišče.

SKLEP

Jame, ki so se odpirale v trasi avtoceste, smo raziskovali sproti. Speleološko pomebnejšim oziroma zanimivejšim smo namenili prav posebno pozornost. Osnovne raziskave smo dopolnili z raziskavami kamnin, v katerih so jame in sige v jami. Različna karbonatna kamnina je resda različno gosto prevotljena, a jame so v vseh njenih vrstah. To potrjuje tudi primer paleogenskega apnenca, ki je pri Čebulovici le malo prevotljen, nasprotno pa je zelo prevotljen pri Povirju. V vseh vrstah apnenca in v dolomitu so stare jame, brezna in površinske skalne oblike – škavnice (slika 2.14). Brezen je največ v krednem apnencu. Ohraniti smo skušali čim več jam, kar pa je bilo zaradi izdelave varne ceste precej težko. Tudi ob zadnjem čiščenju površja, tik pred nasipanjem in utrjevanjem grušča so se odpirale jame. Grezi pa so lahko nastajali celo med tem delom (sliki 2.15, 2.16). Mogoče je, da je plitvo pod traso še kaka jama. Lahko pride do ugreza na cesti? Predlagali smo, da bi traso pregledali z georadarjem. Na ta način bi lahko razkrili vsaj morebitne večje jame, ki so skrite očem.

Iz spoznanj, pridobljenih pri proučevanju novoodkritih kraških pojavov, so se porodile razlage razvoja tega dela Krasa. V starih jamah, ki so najstarejša sled zakrasevanja, lahko razbere-

mo več obdobij razvoja. Votle in zapolnjene stare jame se nahajajo tako v Divaškem podolju kot v kraškem hrbtu, ki ga obdaja na SV. Jame so po vsej verjetnosti nastajale v zaliti coni. Kasneje so bile deloma preoblikovane s hitrejšim vodnim tokom, ki je v jamah odlagal tudi prod in pesek ter ponekod na stenah izdolbel manjše fasete. Od kod so pritekali vodni tokovi? S flišnega brkinskega roba, ki je bil bližje jamam? So naplavino prinašali vodni tokovi s fliša, ki je Kras obrobil na severu, ali pa potoki z vzpetin, kjer se ohranil fliš po bočenju antiklinale (Gams 1974, 197)? V pliocenu je bil Kras kljub antiklinalni zgradbi nižji od flišnega površja vipavske in tržaške sinklinale (Radinja 1972, 212). Flišni prodniki se zaradi drobljenja in mletja ne prenašajo daleč v podzemlje (Kranjc 1986, 114). V vmesnih sušnejših klimatskih obdobjih in po znižanju gladine podzemeljske vode se je v jamah odlagala siga. Nekatere jame, ki so jih kasneje dosegle poplavne vode, so ostale zapolnjene s flišno ilovico. Strop nad višje ležečimi starimi jamami, ki so zapolnjene z naplavino, je že odnesen. Jame kot korita členijo kraško površje. Po sigi, ki je v jamah, lahko sklepamo, da je bil strop nad njimi debel več metrov. Cucchi s sodelavci (Cucchi idr. 1994, 61) je z meritvami ugotovil, da se kraško površje, ki je izpostavljeno vremenskim vplivom, znižuje za 0,02 mm na leto. Gams (1965a, 86) ugotavlja, da se je v kvartarju znižalo površje nad Postojnsko jamo za okoli 40 metrov. Površje se je že temeljito spremenilo. Naplavine vodnih tokov so se torej kot prvotne večinoma ohranile le v jamah. Vrtače so namreč pogosto nastale z odpiranjem brezen pod starimi rovi. Ob grušču in kraški ilovici, ki sta nastala s preperevanjem na površju, je zato pogosto mogoče najti tudi starejše flišne naplavine.

VELIKA PREVOTLJENOST MED DANAMI IN FERNETIČI RAZKRIVA RAZNOVRSTNOST OBLIKOVANJA NAŠEGA KRASA

MARTIN KNEZ, TADEJ SLABE

Trasa med Danami in Fernetiči predre kraški hrbet pri Sežani in nato poteka po ravniku do italijanske meje. Kras se je oblikoval v krednih apnencih, presekanih z manj izrazitimi prelomi, ki so bili najlepše razvidni pri kopanju predora. V kraški ravniki se zajedajo večinoma večje, lijakaste vrtače. Tudi na ostalem, večinoma poraslem površju je le malo zemlje. Površje prepredajo večje zajede, v katerih je ilovica. Ugotovili smo, da so to stare jame, ki so že brez stropa in zapolnjene z drobnozrnato naplavino. Novoodkriti kraški pojavi, to so zlasti jame (slika 3.1), nam veliko povedo o razvoju tega dela Krasa.

JAME V TRASI

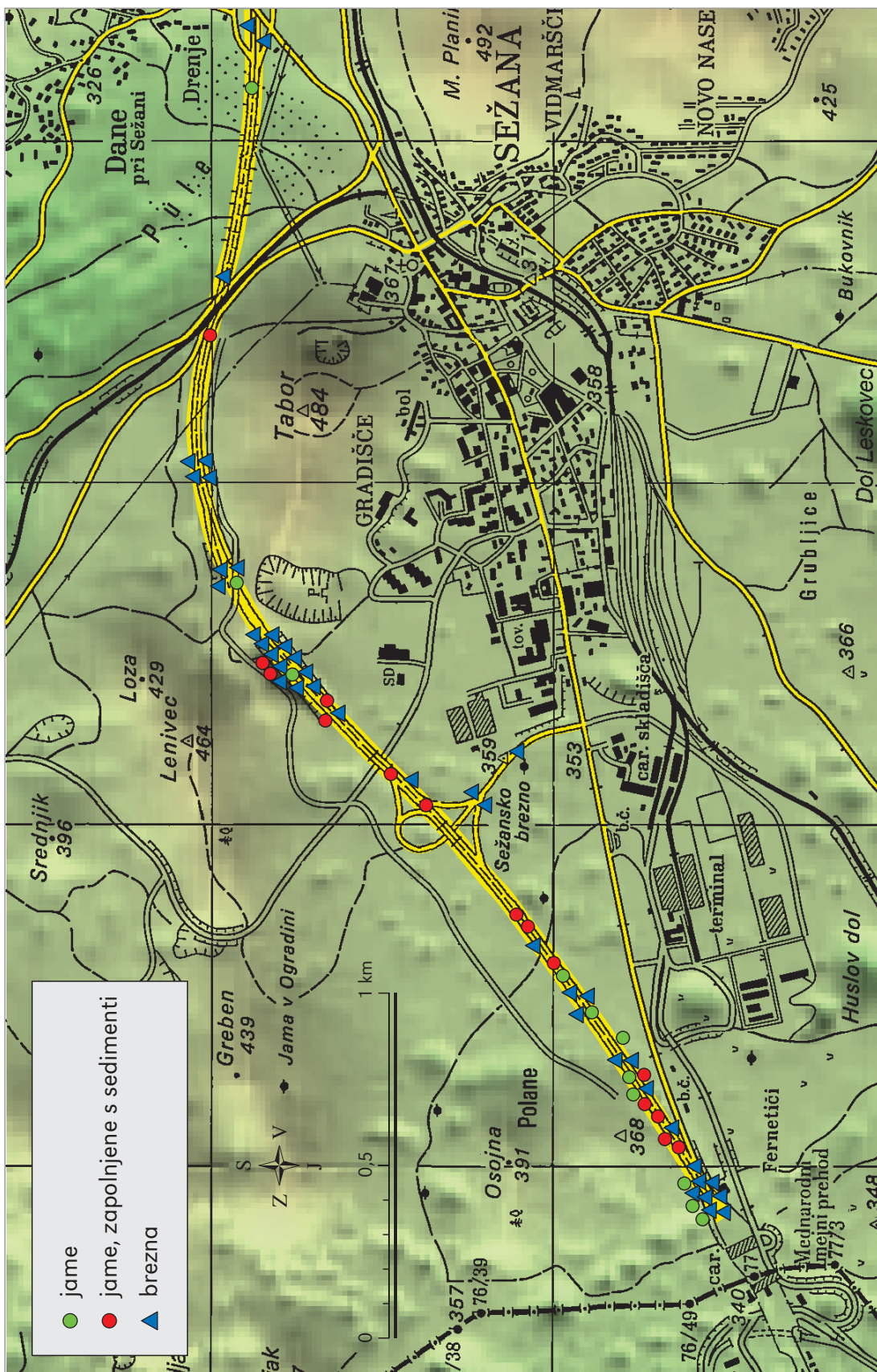
Razdelimo jih lahko na stare jame (slika 3.2), ki so ostanki nekdanjega podzemeljskega pretakanja vode, in brezna.

Novoodkriti rovi starih jam imajo prečne premere, velike od metra in pol do osem metrov. Večina jih je zapolnjena z drobnozrnato naplavino, le posamezne, manjše jame, ki praviloma ne presegajo 50 m³ prostornine, so votle (slika 3.2). V njih so pogosto kapniki, na dnu in na stenah pa kope sige. Stropi nad takšnimi jamami so tanki. Merijo največ od enega do dveh metrov. Kot kažejo spleti rovov, njihova oblika in skalni obodi,

so jame večinoma nastale zaradi počasnega pretakanja vode v zaliti coni.

Veliko starih jam, ki so zapolnjene z drobnozrnato naplavino, je že brez stropa (sliki 3.3, 3.4). Rovi se zato kot plitve zajede vijejo po kraškem površju. Mogoče jih je torej razbrati že pred zemeljskimi deli. V usekih in predoru so rovi, zapolnjeni z drobnozrnato naplavino, dostopni v prečnem prerezu. Jame so zapolnjene s plastmi rumene ilovice in peska, ki so pogosto strjene, nad njimi pa je večkrat rdeča ilovica in rjava zemlja. Naplavine prekrivajo kapnike in kope sige, redkeje pa je naplavina prevlečena s sigo. Razmera redke sledi hitrejših vodnih tokov so manjše fasete, prodnih naplavin, ki so bile pogoste v starih jamah na trasah avtocest v okolici Divače, tokrat nismo našli. Rove starih jam pogosto presekajo brezna in naplavina je zato lijakasto odnesena. Stare jame so presekanje tudi z vrtačami. Manjša količina vode je vijugasto razčlenila dna nekaterih, praviloma manj prostornih rovov. Flišne zaplate so na površju ponekod ostale dlje časa in iz njih se je voda stekala v apnenc.

Deli novoodkritih rovov so zapolnjeni z ostrorobotim gruščem (slika 3.5). Grušč s premerom do pet centimetrov je posledica razpadanja kraškega površja v hladnih obdobjih pleistocena. Je večinoma v delih jam, iz katerih je bila zaradi velike navpične prevodnosti vodonosnika odne-



Slika 3.1: Jame, odkrite pri gradnji.



Slika 3.2: Jama, katere strop se je udrl med utrjevanjem gruščca na trasi.

sena drobnazrnata naplavina, plitek strop pa je bil podrt tik pred zaplnitvijo z gruščem. V rovih se namreč izmenjavajo odseki, zapolnjeni z ilovico in gruščem.

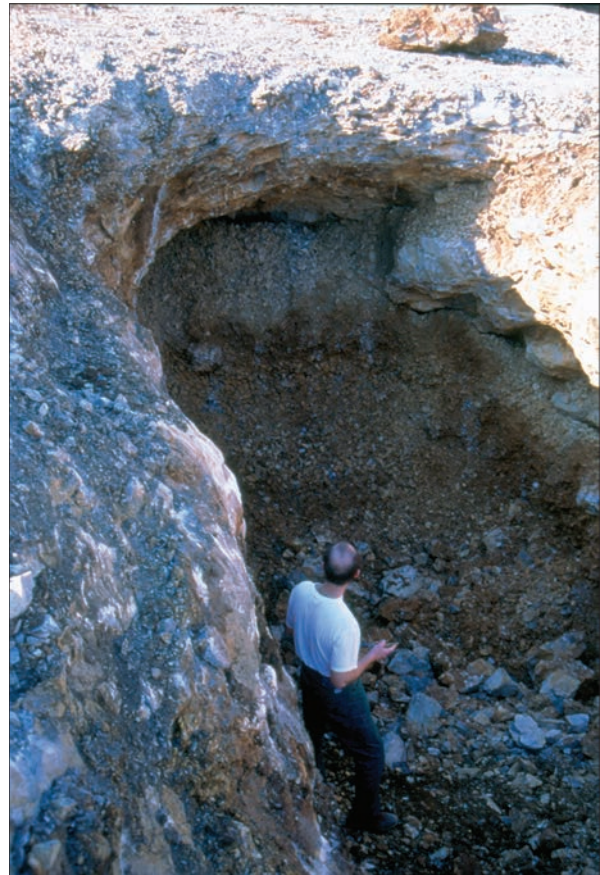
Kaže, da so posamezne novoodkrite in razmeroma prostorne stare jame v zahodnem delu trase votle ali pa zapolnjene z drobnazrnato naplavino ali gruščem, deli večjega vodoravno in



Slika 3.3: Jama brez stropa pri Fernetičih.



Slika 3.4: Vijugasti rov jame brez stropa pri Kozini.



Slika 3.5: Jama, zapolnjena z gruščem.



Slika 3.6: *S skalnimi zidovi zaprte jame v brežini avtocestnega useka.*

navpično razvejanega jamskega spleta, razkriva-jočega se ob gradnji ravne trase, ki je presekala rahlo valovito kraško površje.

S površja voda prenika do podzemeljskih voda skozi brezna in špranje. Na trasi sta bili znani dve brezni, globlje je segalo 20 metrov globoko. Pri razgaljanju površja in zemeljskih delih pa so bila v razmeroma gosto prevotljenem apnencu odkrita številna brezna, globoka do 30 metrov. Razdelimo jih lahko na brezna z izrazitimi sledmi prenikajoče vode in s pogostejšimi okroglimi prečnimi prerezi ter špranje različnih velikosti, ki so nastale ob razpokah in katerih stene so pogosto prekrite s sigo. Večje špranje so nastale ob zmikih kamnine v razpoklinskih conah (Čar 1982). Prostornejša, močno zasigana brezna, so tudi deli razčlenjenih spletov starih jam, kot kaže oblikovanih v zaliti coni. Breznom podobne votline so nastale tudi med podornimi skalami v razpadajočih starih jamah. Najbolj pogosta pa so bila novoodkrita brezna, skozi katera prenika voda v vodonosnik. Največ jih je bilo v dnu in na pobočjih večjih, lijakastih vrtač. Večina bre-

zen je bila brez vidnega naravnega vhoda. Ozka in neprehodna ustja so se pokazala, ko je bila odstranjena zemlja. Prostornejša brezna pa so bila največkrat odkrita in raziskana pri kopanju večjih usekov in predora, torej že 10 do 30 metrov pod površjem. Je to posledica združevanja vode, ki razpršeno prenika skozi prepustno površje, in so prostornejša brezna – tudi tista z naravnim vhomom, površje se je namreč že precej znižalo (Slabe 1996) – zbiralci te vode? Tudi Klimchouk (1995) ugotavlja razpršeno prenikanje vode skozi epikras in združevanje v vodne tokove na stiku z vadozno cono. Na prostornost in obliko brezen pa vplivajo tudi razpoke, ob katerih so pogosto nastala. V brezni je mogoče slediti znatnim spremembam v velikosti premera.

VPLIV GRADNJE AVTOCESTE NA JAME

Največje znano brezno je ostalo na robu predora nepoškodovano. Pri razgaljanju kraškega površja so bili odkriti številni manjši vhodi v brezna. Naj-



Slika 3.7: *Grez na avtocesti.*



Slika 3.8: *Pod tresočim valjarjem se je odprlo manjše brezno.*

več jih je bilo na dnu vrtač. Zaprli so jih z večjimi skalami, ki jih je povezal beton. Vrtače so nato zasuli s plastmi manjših skal in grušč, ki so jih utrdili s tresočim valjarjem. Tudi stare jame, iz večine je bilo treba najprej odstraniti drobnozrnato naplavino ali grušč, so zapolnjene s skalami in betonom.

V usekih so se pogosto odprla večja brezna. Njihovo raziskovanje je bilo zelo zahtevno, saj so bili zlasti vhodni deli obodov brezen zaradi miniranja gosto pretrti in skala je hitro razpadala. Zato so bila večinoma manjša brezna pod traso praviloma zasuta s skalami in utrjena z betonom. Eno večjih brezen je bilo nepristopno, saj so se vanj podirale večje skale. Brezno se je pri poglabljanju trase zasulo. Predlagali smo, da se trasa nad njim utrdi z betonom.

Drobnozrnata naplavina iz starih jam, ki so bile v stenah usekov, se je spirala na traso. Jame so zato obzidali (slika 3.6).

Tudi pri kopanju predora se je odprlo več starih jam in brezen. Bile so manjše in zaprli so jih lahko z betonskim obodom predora. Jame v stropu predora pa so bile nepristopne. Kamnina njihovega oboda je bila pretrta zaradi miniranja, iz brezen so se vsipale skale in grušč, obod pa je razpadal.

SKLEP

Presenetljivo velik delež površja tega dela vodonosnika krasa zavzemajo stare jame, ki so zapolnjene z drobnozrnato naplavino in gruščem in so že brez stropov. Zgornji deli vodonosnika so namreč že dolgotrajno preoblikovani s prenikajočo vodo. Stare jame so sledi časa, ko je bila podzemeljska voda še tik pod današnjim površjem. To je zaradi stalnega nižanja kraških predelov nižje od prvotnega. Razmere na trasi so podobne kot na preostalih delih avtocest na Krasu, le delež površine, ki jo prepredajo stare jame, je večji. Velika prevotljenost je, kot kaže, posledica večje prepustnosti tega dela vodonosnika. Velikost rogov pri-



Slika 3.9: *Udor stropa jame.*



Slika 3.10: *Vhod v jamo, ki se je odprla med zaključnimi zemeljskimi deli.*

ča, da so se skozi njih pretakali večji vodni tokovi, ki so rove sprva povsem zalivali. V bližini pa je bil verjetno tudi ostanek flišnega pokrova, s katerega so se stekale manjše površinske vode. Na to kažejo ponorne značilnosti nekaterih jam. Njihova dna so namreč vijugasto poglobljena z manjšimi vodnimi tokovi. Fliš se je na apnencu ohranil še dlje časa po znižanju gladine podzemeljske vode, ki pa je jame ob izjemno visokih vodah še dosegala in končno celo zapolnila z drobnozrnato naplavino. Del starih jam je bil v hladnejših obdobjih pleistocena zapolnjen z gruščem. Veliko prevotljenost tega dela Krasa dokazujejo tudi številna brezna in špranje, ki so bila odkrita pri zemeljskih delih. Tudi v tem delu Krasa nismo našli sledi površinskih vodnih tokov iz časa, ko je bil apnenec še zajezjen. To smo ugotovili že na trasi

med Čebulovico in Danami. Vse odkrite naplavine so jamske.

Velika prevotljenost je eden izmed najbolj zanesljivih kazalcev prepustnosti, kar nas še enkrat opozarja na izredno pazljivost tako pri gradnji ceste kot pri njeni uporabi. Cestišče mora biti neprepustno, tako da se bodo z njega resnično stekale le prečiščene vsakodnevne vode, površje okoli cestišča pa bi moralo biti zavarovano tudi pred morebitnimi nesrečnimi razlitji škodljivih snovi. Tudi pri utrjevanju grušča na cestišču s tresočim valjarjem so nastajali grezi (sliki 3.7, 3.8). Udrli so se stropovi nad manjšimi jamami (sliki 3.9, 3.10). Ob veliki prevotljenosti pa bi bila lahko tik pod površjem še kaka, tudi večja jama. Pregledovanje takšnih tras z georadarjem je torej zelo pomembno za varnost cest.

KRAŠKI POJAVI, KI SO BILI ODKRITI PRI GRADNJI AVTOCESTE MED DIVAČO IN KOZINO

MARTIN KNEZ, TADEJ SLABE

Na opisanih 7,5 kilometrih med Divačo in Kozino so zemeljska dela odkrila 50 starih jam (slika 4.1), večina jih je bila zapolnjena z naplavinami in mnoge so bile že brez stropa, 6 pa je bilo brez. Stare jame hranijo najstarejše sledi začetnih obdobij razvoja kraškega vodonosnika. Pomembnejše smo ohranili in so skrite pod cesto ali pa dostopne z umetnimi vhodi.

KRAŠKO POVRŠJE

Od Divače poteka trasa po Divaškem podolju, se na robu dvigne na kozinski kraški ravnik in se po njem nadaljuje skorajda do Kozine. Prvi del trase je na rudistnem krednem apnencu lipiške formacije, nadaljuje se po krednem in paleocenskem apnencu liburnijske formacije, v kateri so tudi premogi, sledi pas miliolidnih apnencev slivske formacije, nato eocenski operkulinski apnec, pa obširnejši pas alveolinsko-numulitnega apnenca pred kozinskim klancem pa tudi po klancu navzgor in začetnem delu ravnika. Zaradi antiklinalno-sinklinalne zgradbe tega dela Krasa se opisana sestava proti Kozini ponavlja v podobnem, a obratnem vrstnem redu.

Na površju so bile vrtače (slika 4.2). Najve-

čje imajo premer 200 metrov in so globoke 35 metrov. Na dnu nekaterih delanih vrtač so bila nekdanj, pred gradnjo, polja. Stare delane vrtače so razkrila arheološka izkopavanja. Na dno takšnih vrtač je bilo pogosto nametano kamenje in skale, dno pa nato prekrito prstjo, ali pa so bile pod prstjo debele plasti ilovice, v katerih ni bilo videti sledi človekovega delovanja. Merili smo količino prsti, ki je bila prinesena v vrtačo po začetku človekovega poseganja v prostor, in ugotovili, da je bilo s površja vrtače prenesena 0,14 metra debela plast prsti. Naredili smo makroskopski opis naplavin v vrtačah in vzorčevali njihove plasti za mineraloške analize.

Pod ponekod tudi razmeroma debelimi plastmi plasti rjave in rdeče zemlje je zlasti ob bolj izrazitih razpokah površje pogosto razčlenjeno, na drugih delih pa je epikraški del vodonosnika plitek. Pod tlemi so nastale značilne podtalne skalne oblike. Svojevrstna je podtalna skalna površina alveolinsko-numulitnega apnenca. Na robovih vrtač, ki so nastale ob prelomih, so stene z značilnim skalnim reliefom. Prevladujejo žlebiči in škvavnice.

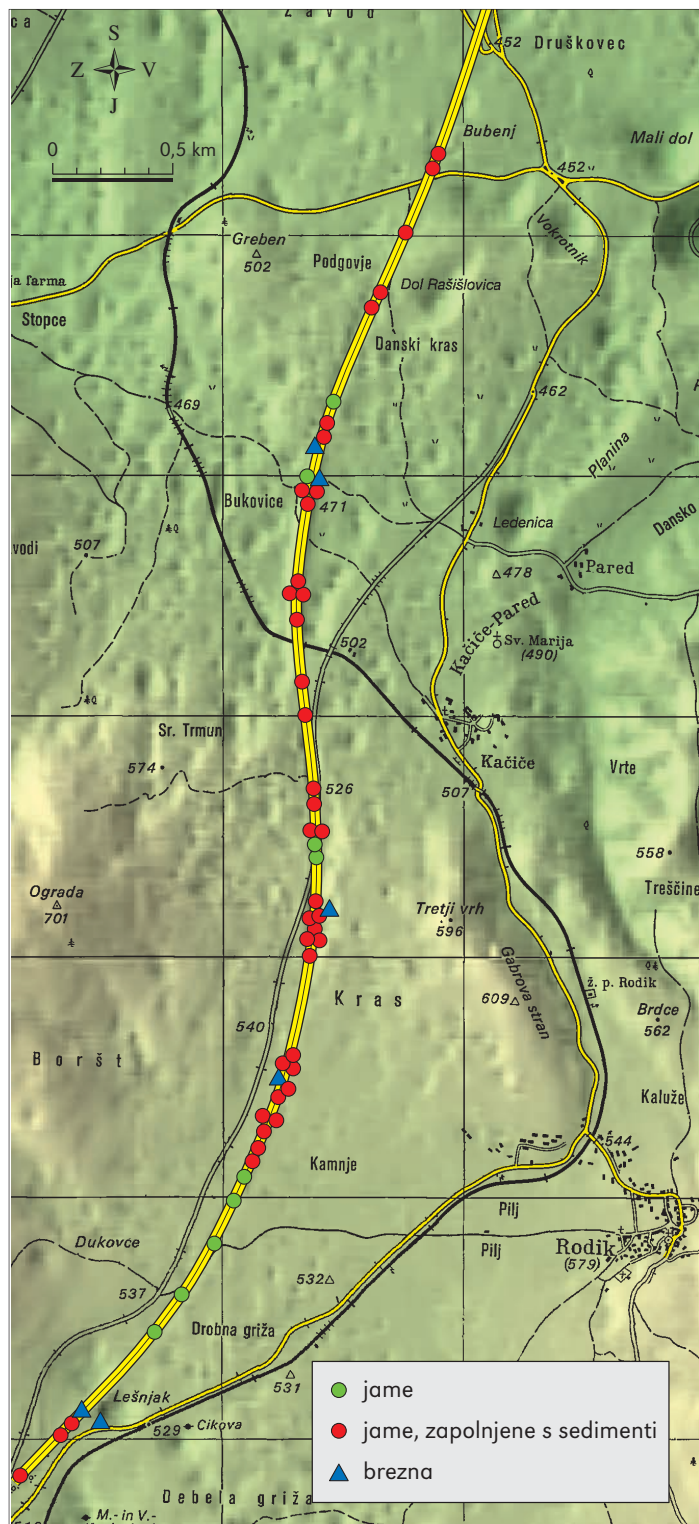
Pomemben del kraškega površja pa so tudi jame brez stropa, ki so opisane v naslednjem poglavju.

JAME

Jame so v vseh vrstah apnenca, njihova različna pogostost pa je predvsem odsev krajevni lastno-

sti skladovite in razpokane kamnine in razvoja vodonosnika ter seveda načina posega v prostor pri njihovem odkrivanju.

Jame delimo na stare, večinoma vodoravne



Slika 4.1: Jame, odkrite med gradnjo.



Slika 4.2: Vrtačasto površje.

in poševne, ter brezna, ki jih oblikuje voda, ki prenika s površja. Skozi stare jame (slike 4.3, 4.4, 4.5) se je nekoč pretakal vodni tok, nato pa so zaradi znižanja podzemeljske vode ostale suhe. Stara so tudi nekatera brezna, ki jih je nekoč oblikovala penikajoča voda ali pa so del večjih jamskih spletov. Na karti (slika 4.1), ki kaže razporeditev značilnih jam na trasi, so slednja vključena med stare, votle jame.

Takšno delitev in poudarjanje značilnosti narekuje prevlada jam, ki so bile zapolnjene z drobnozrnato ilovnato ali peščeno flišno naplavinno (slika 4.6). Prodnikov s fliša, ki smo jih našli na trasah avtocest v okolici Divače, ni bilo. Pod naplavinno ali nad njo pa so bili v teh rovih, katerih premer je dosegal 6 metrov, večina pa je bila manjših, tudi kapniki in sigaste kope. Takšnih jam je bilo 41, votlih pa 9. Dve tretjini jam, ki so bile zapolnjene z drobnozrnato naplavinno, je bilo že brez stropa (slike 4.7, 4.8). Po izkušnjah, pridobljenih pri spremljanju gradnje novih avtocest na Krasu, smo dve jami brez stropa našli že



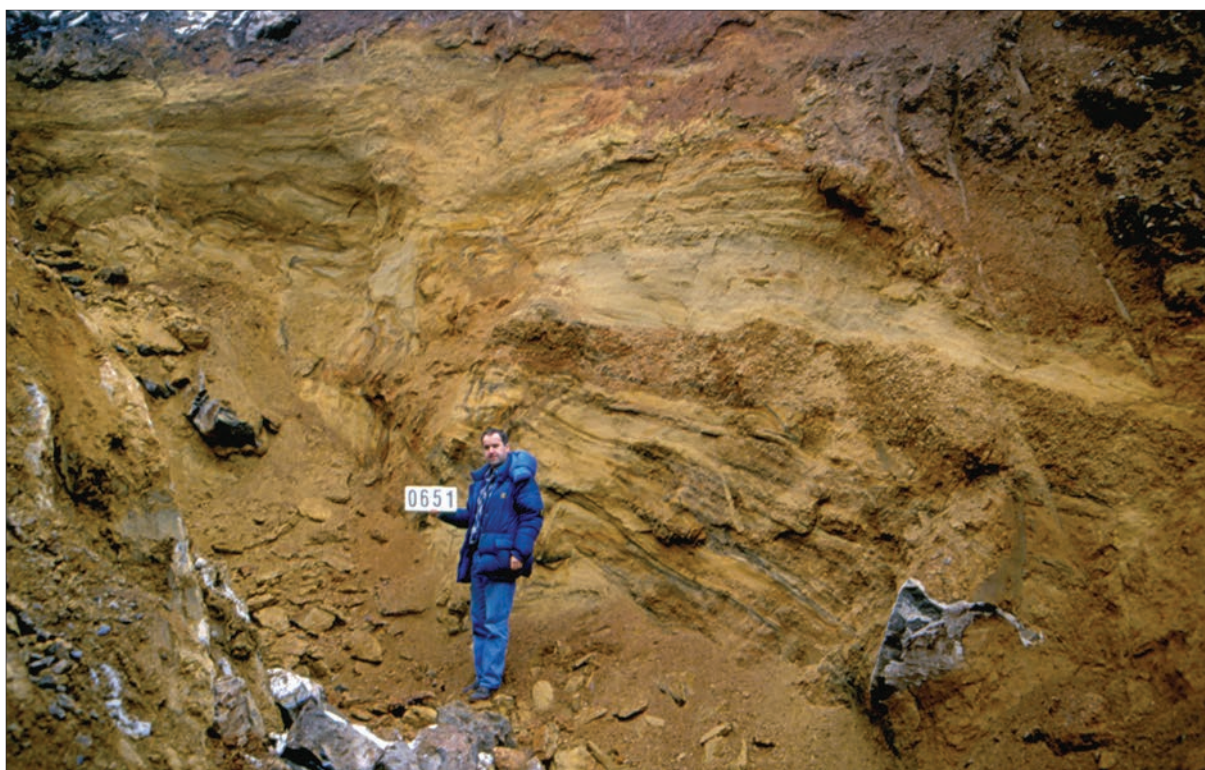
Slika 4.3: Stara jama v brežini useka.



Slika 4.4: Vhod v staro jamo.



Slika 4.5: Udor stropa stare jame.



Slika 4.6: Naplavine v jami brez stropa pri Divači.



Slika 4.7: Jama brez stropa.



Slika 4.8: *Prerez stare jame, zapolnjene z drobnozrnato naplavino.*

med predhodnimi krasoslovnimi raziskavami na tej trasi (Šebela 1996). Pogosto je cesta večkrat prerezala del istih rovov ali jamskih spletov. Jame, zapolnjene z drobnozrnato naplavino, ki je dobro zatesnila vse špranje in je prenikajoča voda pogosto ni uspela odnesti, zaradi znižanja kraškega površja za več deset metrov kot podolgovate, vijugaste zajede ali pa kot svojevrsne vrtače členijo kraško površje. S sodelavcema z Geološkega inštituta Češke akademije znanosti smo zbrali vzorce naplavin za raznovrstne paleomagnetne raziskave. Dobro proučene stare jame in njihova vsebina nam bodo prav gotovo lahko veliko povedale o zgodnjih obdobjih razvoja tega dela Krasa.

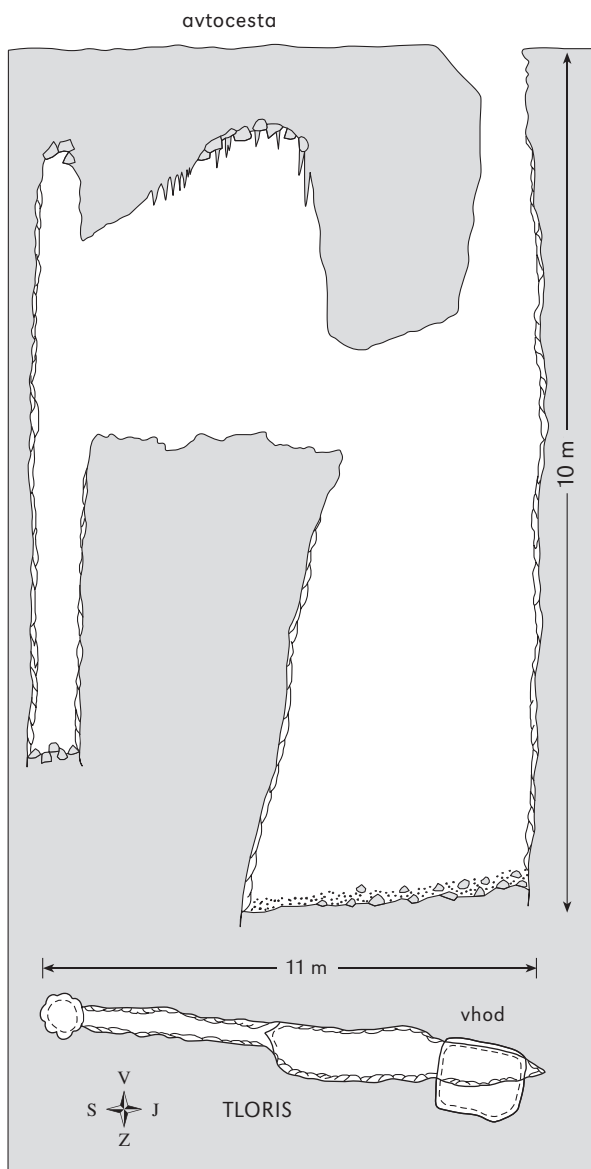
Raziskali, izmerili in narisali smo načrt manjšega rudnika premoga. Premog je bil med skladoma paleogenskega apnenca. Podobne leče premoga smo našli tudi na drugih delih trase.

GRADNJA AVTOCESTE IN KRAŠKI POJAVI

Za gradnjo avtoceste je bilo treba zasuti več tudi velikih vrtač, ki so bile na trasi, pa tudi nekatere v bližini so bile uporabljene za odlagališče odvečne zemlje in skalovja. Pred zasutjem vrtač je bila iz njih odstranjena prst in naplavina.

Cesta vodi prek vodoravnega rova na dnu jame Škrinjarice. Rov je 100 metrov globoko pod traso in cestišče nanj ne bo vplivalo. Jame, ki so se odprle med gradnjo ceste, večina je bila manjših, so bile zasute in prekrte z betonskimi pokrovi. Ti so tudi nad ožjimi jamami (slika 4.9) in brezni (slika 4.10). Trasa je bila pregledana z georadarjem, ki naj bi razkril morebitne, še neznane votline pod cesto.

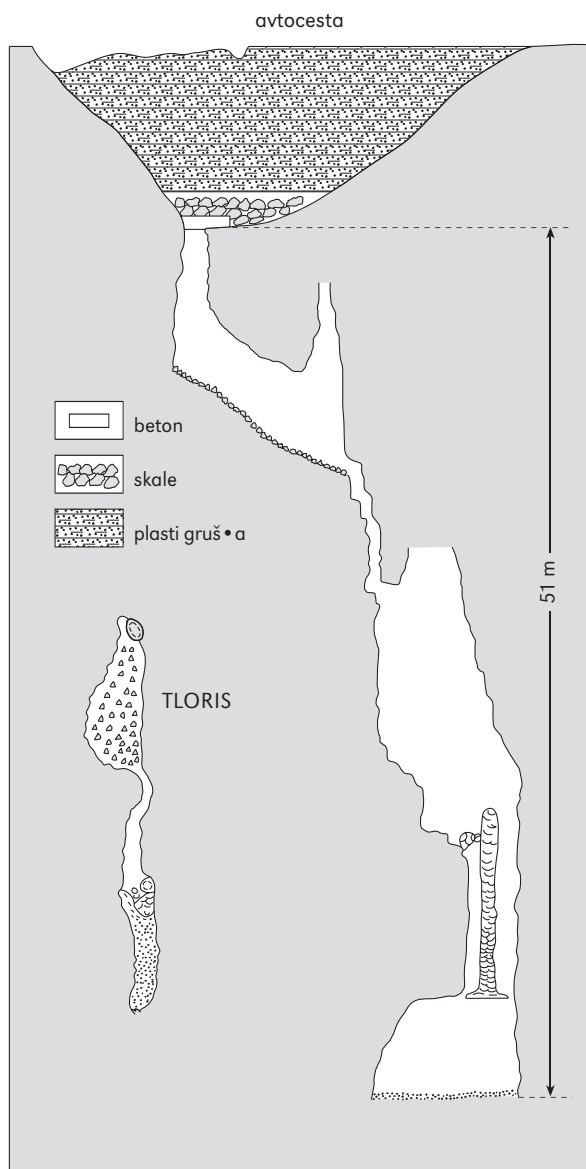
Zahodno od Divače se je odprla zanimiva stara jama (slika 4.11), globoka 14 metrov. Na njenem dnu je dvoranica, ki je dolga 12 metrov,



Slika 4.9: Jama pod traso avtoceste.

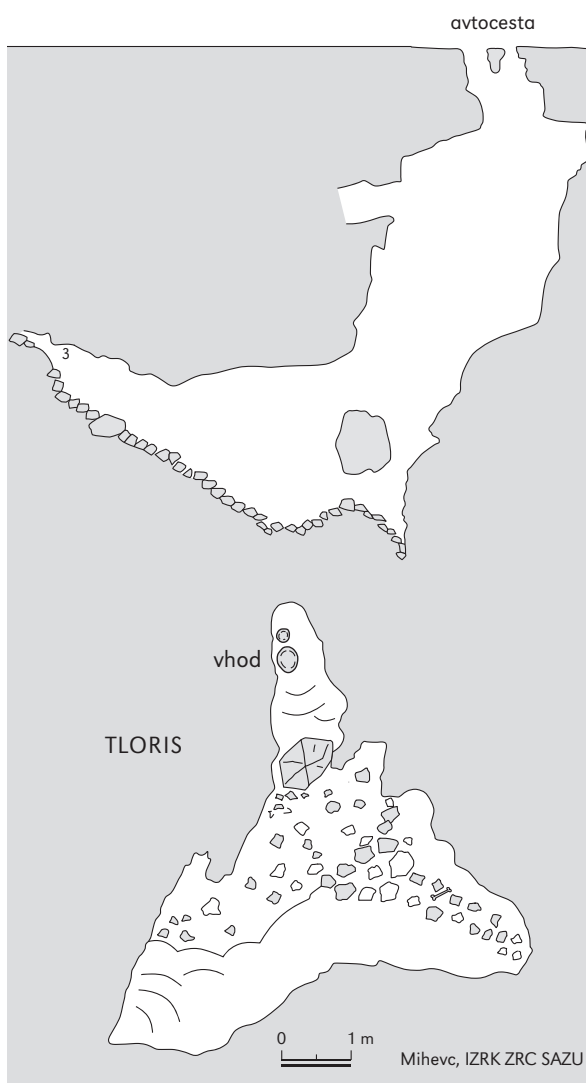
10 pa široka in 5 metrov visoka. V njenem stroju je več kaminov. Na dnu je poleg kamenja tudi ilovica. Posledice miniranja, pretrta kamnina, so opazne le v prvem metru jame pod površjem. Predlagali smo, da se jama ohrani. V njo sedaj vodi betonska cev, ki sega do roba podvoza. Zapira jo betonski pokrov.

Velika prepustnost kraškega vodonosnika nas opozarja na ogroženost podzemskih voda.



Slika 4.10: Brezno na dnu vrtače.

Nanje bi lahko vplivale odplake s cestišča in morebitna nesrečna izlitja škodljivih snovi, bodisi ob gradnji ali kasneje ob uporabi avtoceste. Cestišče naj bi bilo zato neprepustno in vode z njega naj bi se zbirale v lovilcih olj, šele nato pa naj bi očiščene dosegle kraško površje.



Slika 4.11: Stara jama, ohranjena pod cestiščem.

SKLEP

Kraški pojavi nam ob gradnji tega dela avtoceste razkrivajo podobne značilnosti razvoja vodonosnika, kot smo jih lahko opazovali tudi na trasah med Čebulovico in Fernetiči.

Skozi opisane stare jame so se, dokler je do njih segala gladina podzemeljske vode, pretakali vodni tokovi. Vodonosnik je bil še visoko obdan, pa tudi prekrit s flišem. Vode so se stekale z njega in prinašale v jame ilovico in pesek. V enem zadnjih obdobjih razvoja jam, pred tem so bile že suhe in v njih se je odlagala siga, so jih poplavne vode zapolnile z drobnozrnato naplavinno. Ta je zatesnila špranje in se ohranila v dolgih obdobjih razvoja vodonosnika, ko se je njegovo površje znižalo za več deset metrov. Stare jame brez stropa so torej pomemben sestavni del kraškega površja kot sled razvoja vodonosnika (Knez, Šebela 1994; Šebela, Mihevc 1995; Mihevc 1996; Mihevc, Zupan Hajna 1996; Slabe 1996, 1997b, 1998a; Mihevc idr. 1998; Knez, Slabe 1999a; 2002a). Sledi nekdanjega pretakanja vode skozi vodonosnik, danes je gladina podzemeljske vode že 200 metrov in več globoko pod površjem, so ohranjene le v jamah in njihovih naplavinah. Sledi površinskih vodnih tokov, ki naj bi oblikovali površje vodonosnika (Melik 1960, 201; Radinja 1972, 13), nismo našli.

JAME BREZ STROPA PRI KOZINI IN NJIHOVO RAZPOZNAVANJE NA KRAŠKEM POVRŠJU

MARTIN KNEZ, TADEJ SLABE

Jame brez stropa so bile stare jame, ki so zaradi znižanja kraškega površja razkrite. Ohranjajo pa jih predvsem drobnozrnate naplavine, s katerimi so zapolnjene. V njih sta pogosto ohranjena tudi siga in skalni obod.

Zemeljska dela ob gradnji avtocest so na to pomembno, tudi površinsko kraško obliko pritegnila posebno pozornost (Knez, Šebela 1994; Šebela, Mihevc 1995; Mihevc 1996; Mihevc, Zupan Hajna 1996; Slabe 1996, 1997b, 1998a; Kogovšek idr. 1997; Mihevc idr. 1998; Knez, Slabe 1999b, 2002a). Razkrila so številne različice pogostega pojavljanja jam brez stropa na kraškem površju. Izluščili smo tudi značilne oblike jam brez stropa na kraškem površju: posamezne, vrtačam podobne oblike, ki so povezane v nize, in zajede.

Zaradi nižanja površja Krasa (Kranjc 1997) se pri gradnji avtocest odpirajo stare jame in brezna. Stare jame so prazne ali pa zapolnjene z naplavinami. Nastale so kot del spleta votlin, ko je bil vodonosnik še visoko zajezen z neprepustnimi kamninami in zato je bila višje tudi gladina podzemeljske vode v njem. Zaradi zakrasedanja se je znižala gladina vode v vodonosniku, zdaj je 200 in več metrov globoko pod površjem, in znižuje se kraško površje.

Jame brez stropa lahko torej štejemo za svojevrstne površinske kraške oblike, deloma preo-

blikovane s površinskimi procesi, ki so pomemben del epikrasa.

Značilne oblike jam brez stropa smo razbrali tudi pri zemeljskih delih ob gradnji avtoceste pri Kozini. Odkriti so bili posamezni rovi in večji jamski spleti na vodoravnem ali nagnjenem kraškem površju.

JAME, ODKRITE PRI GRADNJI AVTOCESTE

Prevladovala so stare jame, skozi katere se je pretakala voda, ko se je ta del vodonosnika oblikoval v freatični ali epifreatični coni. Tri jame so bile prazne, ostale pa so bile zapolnjene s flišno drobnozrnato naplavino, prodrom in gruščem. Premer rogov je dosegal 5 metrov. Velik del starih jam je bil zaradi znižanja kraškega površja že brez stropa. Največji jamski splet, odkrit na začetku trase pri Kozini (sliki 5.1, 5.2), so sestavljali prazni rovi, eden je bil znan že pred zemeljskimi deli, rovi, ki so bili zapolnjeni z naplavino in so imeli bolj ali manj tanek strop, in rovi brez stropa. Brezna, skozi katera prenika voda s prepustnega površja, so bila odkrita večinoma na dnu vrtač, pod prstjo in naplavino, vendar so bila njihova ustja majhna in brezna zato nedostopna.



Slika 5.1: Jame brez stropa pri Kozini (posnetek z letala, foto: Alma Bavdek).

JAME BREZ STROPA IN KRAŠKO POVRŠJE

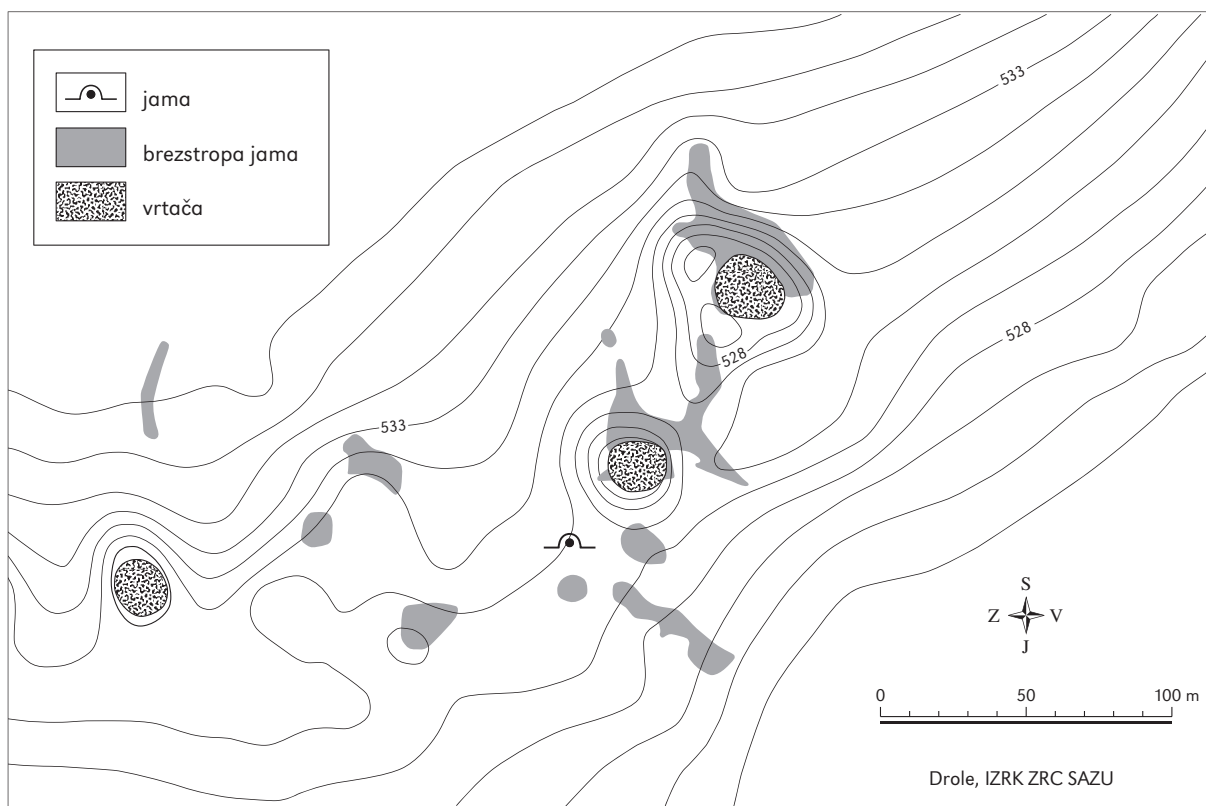
Kraško površje na odseku trase avtoceste med Kozino in Klancem odlikuje zelo pestra geološka sestava. Cesta bolj ali manj prečno prečka več litološko in stratigrafsko različnih pasov krednih in paleogenskih karbonatov ter eocenskih nekarbonatov.

Od severa proti jugu sledimo pri Kozini turonijske in senonijske kredne apnenice, v smeri proti Klanču jim sledijo plasti liburnijske formacije. Mednje sodijo v spodnjem delu kredne vremske plasti, nato paleocenske kozinske plasti, thanetijski miliolidni apnenici ter eocenski alveolinski, numulitni in alveolinsko-numulitni apnenici. Zahodno od Klanca avtocesta prvič na tem odseku prečka ožji pas neprepustnih flišnih kamnin. Po manj kot 100 metrih se zopet vrne na alveolinsko-numulitne apnenice. Končni odsek trase ne prečka več kraške pokrajine, saj so tam razgaljeni laporji in peščenjaki (fliš).

Površinska kraška morfologija in morfogeneza je najverjetneje odsev litostratigrafske osnove tudi na tem področju Krasa. Kraško površje na južnem delu trase, kjer prevladujejo paleogenski apnenici, je namreč precej izravnano in le rahlo valovito ter brez ostrih erozijskih površinskih kraških oblik. Za razliko pa je kraško površje na severnem delu trase severno in vzhodno od Kozine, kjer so na površini zgornjekredne kamnine, intenzivno kraško erodirano s številnimi škrapljami in različnimi površinskimi zajedami.

Že pri načrtovanju smo zajede, ki so členile pobočja vrtač, pogosto pa so se nadaljevale še več deset metrov stran od njih, opredelili kot rove brez stropa (slika 5.3). Zemeljska dela so nam večino predpostavk potrdila.

Tudi v severnem pobočju velike vrtače za bencinsko postajo je bila ozka in plitka zajeda, ki smo jo lahko razbrali na terenu, pa tudi s karte površja. Zemeljska dela so odkrila drobnozrnato naplavinno, ki je zapolnjevala jamo. Del rova je bil



Slika 5.2: Kraško površje z jamami brez stropa in vrtačami.

odkrit tudi na robu dna vrtače, na nasprotnem pobočju pa rov v prečnem prerezu. Oba sta bila zapolnjena z drobnnozrnato naplavinno. Vrtača se je, kot kaže, razvila sredi jamskega spleta.

Na razmeroma strmem pobočju nad Klančcem je bil začetek vodoravnega rova, ki je bil zapolnjen z drobnnozrnato naplavinno, na površju viden kot manjša polovična vrtača. Zemeljska dela so pri kopanju useka odkrila še višje in nižje ležeča rova, dela jamskega spleta.

Največji jamski splet (slike 5.2, 5.4, 5.5), ki je bil razkrit na začetku novega dela trase, je bil na površju razviden kot splet bolj ali manj izrazitih zajed, ki so bile najbolj izrazite na pobočju vrtač kot povezava med njimi, in kot manjše, razmeroma plitke vrtače. Jamski splet so poleg delov brez stropa sestavljali še manjši votel rov, ki je bil znan že pred zemeljskimi deli, in pa rovi s stropom. Večina jame je bila torej zapolnjena z drobnnozrnatimi naplavinami in pordom (slika 5.6). Dno jugozahodnega dela je bilo skorajda v celoti pre-

krito s kopami sige in kapniki. Tudi prek sige je bila drobnnozrnata naplavina. Ostrorobat grušč (sliki 5.7, 5.8), ki je ponekod prekrival površje ali pa zapolnjeval jame, pogosto smo ga našli nad starimi vodnimi naplavinami ali pa je zapolnjeval prostor pod spodmoli, ki so nastali na začetku rovov, je posledica razpadanja kamnitega površja v mrzlih pleistocenskih obdobjih. Dno večjih vrtač, ki sta nastali na robu rovov starega jamskega spleta, je bilo prekrito z več metrov debelimi plastmi rjave in rdeče prsti, na njenem obodu so bile skalne oblike, ki so kazale na izrazito polzenje vode navzdol, na njihovem dnu pa so bili tudi vhodi v ožja brezna. Jame brez stropa se razvijejo v bolj izrazite zajed, če ima voda možnost hitrejšega odnašanja naplavine s površja, to pa ji največkrat omogoča bližnja vrtača.

Na delu trase med Kozino in Klančcem so vrtače nanizane v vrsto. V njihovem dnu smo našli kose sige. Na robu vrtače pa smo ob progi sige, ki je bila na površju, izkopali rov z nekaj več



Slika 5.3: Jama brez stropa – podolgovata zajeda na kraškem površju.



Slika 5.4: Jama brez stropa pri Kozini.

kot 5-metrskim premerom. Zapolnjen pa je bil z velikimi prodniki in kapniki (slika 5.9). Nadaljnje raziskave nam bodo pokazale, če je tovrstna razporeditev vrtač povezana s staro jamo, ki jo je doseglo površje. Pri vrtanju smo iz zajede, ki členi pobočje ene od vrtač, našli tudi sigo.

Sigo smo sicer odkrili na številnih mestih vzdolž trase. Siga, ki smo jo odkrili na skalni površini po odstranitvi ruše oziroma plasti zemlje, nas je med prvimi opozorila, da smo natančno opazovali nadaljnji izkop. V bližini, tako navpično kot lateralno, smo pričakovali še druge sedimente. Najpogosteje so bili v takšnem okolju odkriti tudi jamski sedimenti.

V severnem delu trase, na krednih kamninah, smo ugotovili po površini in po debelini največje kope sige. Po izkopu smo skoraj v celoti ugotovili le različno plastnato sigo. Stalagmitov in stalaktitov skoraj ni bilo, saj so bili najverjetneje odstranjeni skupaj s sedimentom ali zdrobljeni in odneseni že prej. Siga v tem delu trase je pretežno oranžnorjavo obarvana. Bistveno manj je bele, mesnato rdeče in sivorumene. Velja tudi,

da se na kratke razdalje hitro spreminja tako z morfološkega vidika, po barvi, kot tudi z vidika ohranjenosti. Kljub temu je večinoma dobro ohranjena, saj jo proces preperevanja zaradi dobre zaščitenosti pred vplivi s površja še ni zajel. Največkrat so stebričasti kalcitni kristali veliki le do nekaj centimetrov, izjemoma pa tudi do več kot 10 centimetrov.

Pri izvozu za Kozino smo odkrili popolnoma črno sigo manjših dimenzij; je delno preperela in

nehomogena. Vsebuje znatni del nekarbonatnih vključkov. Znatni del rumenosivega jamskega sedimenta vsebuje tudi večja kopa sige v bližnji jami. Osnovni skelet sige ni preperel. Jamski sediment je kasneje zapolnil prostore v sicer močno porozni sigi.

Severno od motela pri Kozini, še vedno v severnem delu trase, so zavrtali med drugim v izredno homogeno in trdno plast oranžnorjave sige. Predvidevali smo, da se bo tudi tam, predvsem



Slika 5.5: Del jamskega spleta brez stropa po odstranitvi naplavine.



Slika 5.6: Prodna naplavina v jami brez stropa.



Slika 5.7: Jama, zapolnjena z gruščem.

zaradi skupine več aktivnih vrtač, pri izkopu pokazal star jamski splet.

Siga se v srednjem in južnem delu trase pojavlja v bistveno manjših količinah. Tudi posamezne lokacije so manj pogoste, čeprav ne zanemarljive. Prav zaradi pozornosti, ki smo jo posvetili najdbi sige na površini, smo lahko kasneje v prek 20 metrov globokem useku razložili nekatere podzemne kraške pojave.

Tudi v osrednjem in južnem delu trase je sestava in oblika sige zelo pestra. Naj omeniva le najdbo večje kope rumenobelega plastnate sige v alveolinsko-numulitnem apnencu. Siga izstopa po svoji barvi, načinu kristalizacije kalcitnih kristalov kot tudi po ohranjenosti. Odkrita je bila le nekaj metrov pod površjem, skoraj na vrhu hriba.



Slika 5.8: Stara jama, zapolnjena z gruščem.

SKLEP

Jame brez stropa so pomembna kraška oblika, del kraškega površja in epikrasa in pomembna sled razvoja krasa. Njihova oblika je posledica prereza znižujočega kraškega površja z jamskim spleti. Voda s površja odnaša tudi jamsko naplavinno in jame brez stropa so zato pogosto vdolbljene v kraško površje. Večkrat so sestavljene kraške oblike. Sredi starih rovov ali pa na njihovem robu so nastale vrtače. V tem primeru imajo jame brez stropa obliko, podobno vrtačam. Več jih je lahko povezanih v nize. Odprte polkrogelne, vrtačam podobne oblike nastajajo, ko pobočje preseka star rov, ki je zapolnjen z naplavinami. Lahko pa so tudi samostojne zajede na ravnem površju ali pa členijo boke vrtač. Na njih največkrat ni skalovja in od ostalega površja se ločijo po rastju, seveda če na površju ni razbrati tudi jamskih naplavin in sige. Poleg litostratigrafske sestave epikrasa, ki bistveno vpliva na površinsko morfogenezo, nam tudi pojavljanje sige na površini in na skalnem reliefu lahko v marsičem že iz površine nakazuje na možnosti nekdanje (pa tudi sedanje) podzemeljske morfologije.

Po značilnih, vse bolj znanih oblikah, kot so zajede, vrtačam podobne oblike na ravnem ali nagnjenem površju, in nizi vrtač, postajajo jame



Slika 5.9: Jama, zapolnjena s prodno in drobnozrnato naplavinno ter sigo.

brez stropa vse bolj razločljiv in berljiv površinski kraški pojav.

RAZVOJ IN ZAKRASELOST KRAŠKEGA VODONOSNIKA, RAZKRITA MED KLANCEM IN ČRNIM KALOM

MARTIN KNEZ, TADEJ SLABE, STANKA ŠEBELA

Med Klancem in Črnim Kalom se je na 6,5 kilometrih trase avtoceste med zemeljskimi deli, kopanjem usekov in predora odprlo 67 jam (slika 6.1). Številčno so prevladovale stare jame, torej tiste, skozi katere se je nekoč pretakala voda. Dve tretjini teh jam sta bili zapolnjeni z naplavino. Raziskane jame so nam dopolnile znanje o razvoju tega dela Krasa. Prek 500 metrov dolg jamski splet, katerega smo se trudili ohraniti v celoti, se je odprl v predoru Kastelec v bližini Brezna na Škrklovici. Rovi tega spleta so pod cesto povezani z betonskimi cevmi, do katerih vodi jašek z roba cestišča.

Posegi v kraški rob in njegovo zaledje so bili zaradi gradnje predora in večjih usekov izraziti, zato sta se na več mestih razkrila današnji epikras in del vadozne cone, ki sta prepredena tudi s starimi jamami. Te so, poleg paleokrasa, najstarejše sledi razvoja tega dela Krasa. Jame, ki so bile odkrite pri gradnji, so nam omogočile pridobiti nova spoznanja o prevotljenosti Krasa in o njegovem razvoju.

KRAŠKO POVRŠJE IN ZAKRASELOST

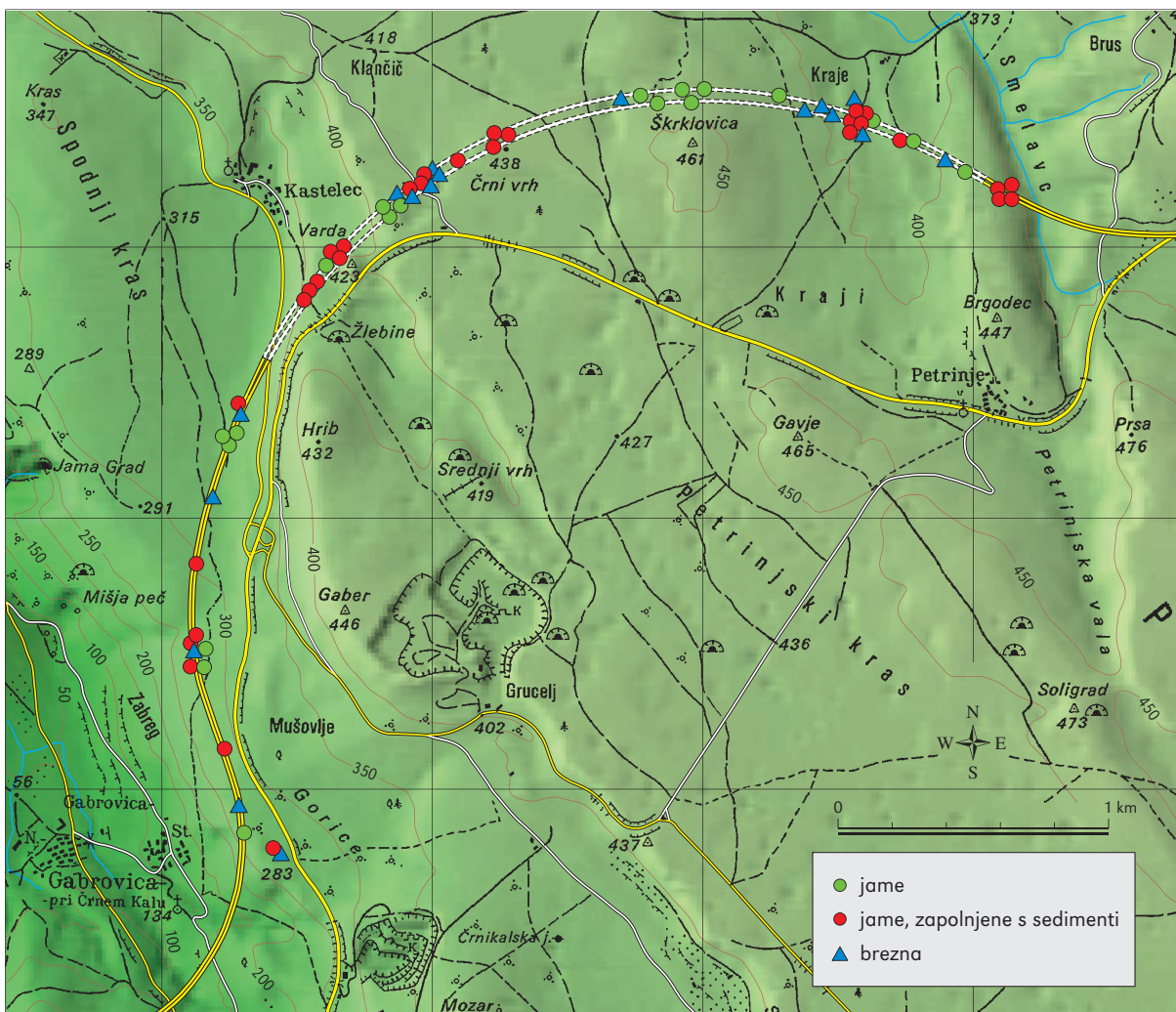
Trasa poteka v alveolinsko-numulitnih apnencih in v manjšem delu v flišnih kamninah. Pri tem prečka več narivnih deformacij med karbonatnimi kamninami in eocenskim flišem.

Po odložitvi eocenskega fliša, v pirenejski fazi, so bile kamnine nagubane v smeri severozahod–jugovzhod. Kasneje so bile gube deformirane z narivnimi, normalnimi in longitudinalnimi prelomi. Področje med Petrinjami in Črnim Kalom prištevamo naluskani zgradbi Čičarijske narivne enote (Pleničar idr. 1969). Trasa avtoceste prečka gube, narive in prelomne deformacije (predvsem v smereh severozahod–jugovzhod in severovzhod–jugozahod). Tudi do 100 metrov široke razpoklinske cone v smeri sever–jug po večini predstavljajo odprte razpoke, ob katerih so razvita brezna ter sistemi škrapelj. Te razpoke so zelo ugodne za zakrasevanje.

Alveolinsko-numulitni apnenci

Alveolinsko-numulitni apnenci, ki predstavljajo konec karbonatne sedimentacije v jugozahodni Sloveniji, ležijo konkordantno na miliolidskih apnencih. V apnencih prevladuje favna iz družin Alveolinidae in Nummulitidae, ki je večinoma tako pogosta, da je apnenc po njih dobil ime.

Debelina plasti se lateralno spreminja, prevladuje srednja in debela plastovitost. Mestoma plastovitosti ni mogoče določiti. Predvsem zgornji del alveolinsko-numulitnih apnencev je kompaktnjši in bolj homogen; tudi plastnatost je tam nekoliko slabše izražena.



Slika 6.1: Jame v trasi, odkrite pri gradnji avtoceste.

Biomikritni in biosparitni apneneci po večini tipa packstone, so navadno svetlorjave, svetlosive do rumenobeke barve. Vsebujejo številne fosile iz skupin alveolin, numulitin in diskociklin. V teh apnenecih najdemo lokalno tudi brahiopode, morske ježke, korale, alge litotamnije, različne školjke in drugo.

Alveolino-numulitni apnenec se je večinoma zvezno odložil na miliolidne apnenec. Glede na tip apnenec je ugotovljeno, da je bilo področje sedimentacije na odprtem in plitvem šelfu, drugod pa so bile sedimentacijske razmere bolj umirjene. Tam se je sedimentacija vršila v zatišnih delih odprtega šelfa in celo v manjših lagunah (Jurkovšek idr. 1996).

V alveolino-numulitnem apnenecu, katerega debelina se lateralno spreminja od nekaj do 300 metrov, so numuliti zelo pogosto najštevilčnejši fosilni ostanki. Navadno pa so numuliti, operkuline in asiline pomešani in skoraj vedno so zastopani vsi trije rodovi. Ponekod prevladujejo numuliti, drugod operkuline, tako da bi nekatere apnenec lahko imenovali numulitne, druge pa operkulinske. Asilin je v kamnini navadno manj.

Fliš

Na meji s flišem zasledimo t. i. prehodne plasti med karbonati in nekarbonati, med katere uvrščamo predvsem laporje in laporne apnenec, ki pogosto vsebujejo številne pelagične foramini-



Slika 6.2: Stene jamskega spleta, ki je bil zapolnjen z naplavinami in sigo.

fere. Kljub temu se lateralno med obema formacijama pojavlja krajši ali daljši hiatus.

Fliš, ki ga predstavlja menjavanje laporja, peščenega meljevca in debelozrnatega karbonatnega peščenjaka ter ponekod debelejši in tanjši vložki breč in konglomeratov, je na raziskanem področju luskasto narinjen na alveolinsko-numulitne apnenice. Stik predstavlja pomembno področje značilnega speleogenetskega razvoja. Vemo, da stik apnenca z neprepustno kamnino ni le vodna ovira, temveč področje, kjer se voda zbira in tam oblikuje večje vodne kanale ter po njih spira material v podzemlje.

Zakraselost alveolinsko-numulitnih apnenecv

Glede na dosedanje raziskave so alveolinsko-numulitni apnenici, v primerjavi s stratigrafsko bližnjimi sosednjimi apnenici, bolj odporni proti

eroziji. V večini primerov je zakrasela predvsem njihova površina in predel plitvo pod površjem, medtem, ko globlje v notranjost zakraselost seže le izjemoma. Površinska zakraselost se močno izraža predvsem na nagnjenih terenih, kjer nastajajo deluvialni sedimenti. Kljub temu pa se alveolinsko-numulitni apnenici topografsko ločijo od spodaj ležečih miliolidnih apnenecv po večji površinski zakraselosti in po številnih škrapljah, ki členijo površino kamnine.

Alveolinsko-numulitni apnenici preperevajo ploščasto, lomijo se v grušč ali imajo nepravilno krojitev. Prst, ki prekriva matično kamnino, je pogosto debela le nekaj 10 centimetrov.

V neposredni bližini raziskovanega področja je bila narejena podrobna raziskava vpliva tipa kamnine na število jamskih vhodov. Ugotovljeno je bilo (Knez 1995, 1996), da so plasti liburnijske formacije, kamor spadajo tudi alveolinsko-nu-



Slika 6.3: Obnaplavinsko oblikovana stena rova, ki je bil zapolnjen z drobnozrnato naplavino.

mulitni apnenci, neprimerno manj globinsko zakrasele kot kredne plasti. Od povprečja, ki znaša $1,01$ jame/km², kar je značilno za obravnavano področje, znaša v liburnijski formaciji tri četrtine povprečja, v alveolinsko-numulitnem apnencu pa le $0,43$ jame/km². Naj omenimo le znatno višjo vrednost za senonij ($2,42$ jame/km²) in za turonij ($2,18$ jame/km²).

Da bi ocenili prevotljenost Krasa med Petrinjami in Črnim Kalom, smo v Črnotiškem kamnolomu z laserskim teodolitom izmerili kraške jame, ki so jih razkrili z deli v kamnolomu. Gre za brezna, vodoravne jame in navpične špranje, ki so bile po večini povsem zapolnjene z jamskimi sedimenti in sigo. Rovi so bili dolgi do 220 metrov, v premeru pa merijo 15 metrov. Nekatere jame so se nahajale tik pod površjem, druge so se odprle nekaj metrov pod njim. Nekatere so bile zapol-

njene s peski in poplavno odloženimi glinami, v drugih primerih je bil na peske in gline odložen grušč in ponekod siga. Nekaj kraških jam, ki niso bile povsem zapolnjene s sedimenti, smo izmerili in naredili načrte, kasneje pa so bile te jame z deli v kamnolomu uničene in odstranjene.

Za izračun prevotljenosti smo uporabili geodetske meritve jam v kamnolomu. V izbranem kamninskem bloku ($300 \times 400 \times 19$ m) smo izračunali prostornino jamskih rogov za 13 geodetsko izmerjenih jam, ki znaša 89.074 m³ oziroma 3,9 %.

EPIKRAS

Pod tanko platjo prsti so se na manj pretrtih kamninah oblikovale podtalne škraplje z značilnim podtalnim skalnim reliefom (Slabe 1998a). Iz-



Slika 6.4: Deli jamskega spleta, zapolnjenega z naplavinami in sigo.



Slika 6.5: Staro brezno, zapolnjeno z drobnozrnato naplavino.

razito pretrta kamnina pa je že razpadla v posamezne, večinoma manjše kose, ki so podtalno oblikovani, torej zaobljenih oblik, na njihovi površini, ki je bila izpostavljena enakomernemu preperevanju, pa se največkrat kaže sestava kamnine. Iz nje namreč pogosto štrlijo paleogenski fosili. Podtalni žlebovi in fasete so nastali tudi na stiku apnencev s flišem. Nadnaplavinske anastomoze pa so značilnost spodnjih ploskev bazalnih konglomeratov v flišu.

Plitko pod današnjim površjem se je pri Kozi ni razkrilo nekdanje, paleokraško površje z ostanki dinosavrov in drugih živali (Debeljak idr. 1999).

ODKRITE JAME

Pri zemeljskih delih, kopianju usekov in predora, se je na 6,5 kilometrih trase avtoceste odprlo 67 jam. Številčno so prevladovale stare jame (49), torej tiste, skozi katere se je nekoč pretakala voda, in dve tretjini le-teh je bilo zapoljenih z drobnozrnato naplavino ter ponekod tudi ostrorobotim gruščem.

Stare jame so se odpirale kot jame brez stropa (Knez, Šebela 1994; Šebela, Mihevc 1995; Mihevc 1996; Mihevc, Zupan Hajna 1996; Slabe 1996, 1997b, 1998a; Mihevc idr. 1998; Knez, Slabe 1999a, 2000, 2001c, 2002a). Jame so se odpirale tudi na obodu usekov in pri kopianju predora. Njihovi rovi so imeli 8 metrov premera.

Večji jamski splet se je odprl na vzhodni stra-



Slika 6.6: *Naplavine v jami brez stropa.*

ni južnega vhoda v predor. Del spleta je bil že brez stropa, del je bil sestavljen iz votlih rogov, del pa je bil zapolnjen z naplavino in sigo (slike 6.2, 6.3, 6.4, 6.5). Obod rogov je bil značilno nadnaplavinsko preoblikovan (Slabe 1995). Iz največjega rova smo zbrali 18 vzorcev naplavine za paleomagnetne raziskave (slika 6.6). Podobno, kot smo ugotavljali pri drugih jamskih zapolnitvah iz neposredne bližine, gre tudi tu, zaradi regionalnega položaja in znanega razvoja tega dela Krasa, za flišne naplavine (Bosák idr. 2000). Skrajni zgornji del profila predstavlja grušč debeline plasti do 3 metre. Navzdol sledi del (2 m), ki je bolj peščen, spodnji del pa je bolj glinast. Sediment je rume-orjave (10YR 5/6) do svetlo olivnosive (5Y 6/2) barve. Na razdalji 4,5 do 5 metrov od dna profila navzgor je 1 do 2 decimetra debela zvezna plast

gline temnejše barve (rjavorumena 10YR 6/8), kot so ostali sedimenti v profilu. Nadmorska višina spodnjih vzorcev je 395 m. Posamezni deli jame, ki so bili brez stropa in so bili vrtačam podobnih oblik, so bili jasno razvidni na površju že pred začetkom del.

Največji jamski splet, dolg prek 500 metrov (sliki 6.7, 6.8), pa se je odprl v predoru blizu že znane jame Brezno na Škrklovici (kat. št. 1391; Kataster Jamarske zveze Slovenije in Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU), v kateri so izrazite predvsem sledi (velike fasete) počasnega pretakanja vodnega toka v zaliti jami. V predoru so se odprli trije večji rovi, ki pa niso bili povezani med seboj. Kot kaže, pa gre za isti jamski splet. Oblika nagnjenih rogov s premerom do 8 metrov kaže na oblikovanje jame z vodnim tokom in le manj izrazito preoblikovanje s prenikajočo vodo. Velike fasete so sled počasnega vodnega toka, ki je v največji meri prispeval k današnji podobi jame, stropne kotlice pa kažejo na to, da je vodni tok jamo zalival v celoti. Stropne kotlice so različnih oblik, ob razpokah so ozke in izrazito visoke – več metrov, imajo razmeroma ravne vrhove, pogosto so povezane v večje in manjše stropne kupole. Rovi so bili zapolnjeni z drobnozrnato naplavino, ki pa jo je voda večinoma že odplavila.

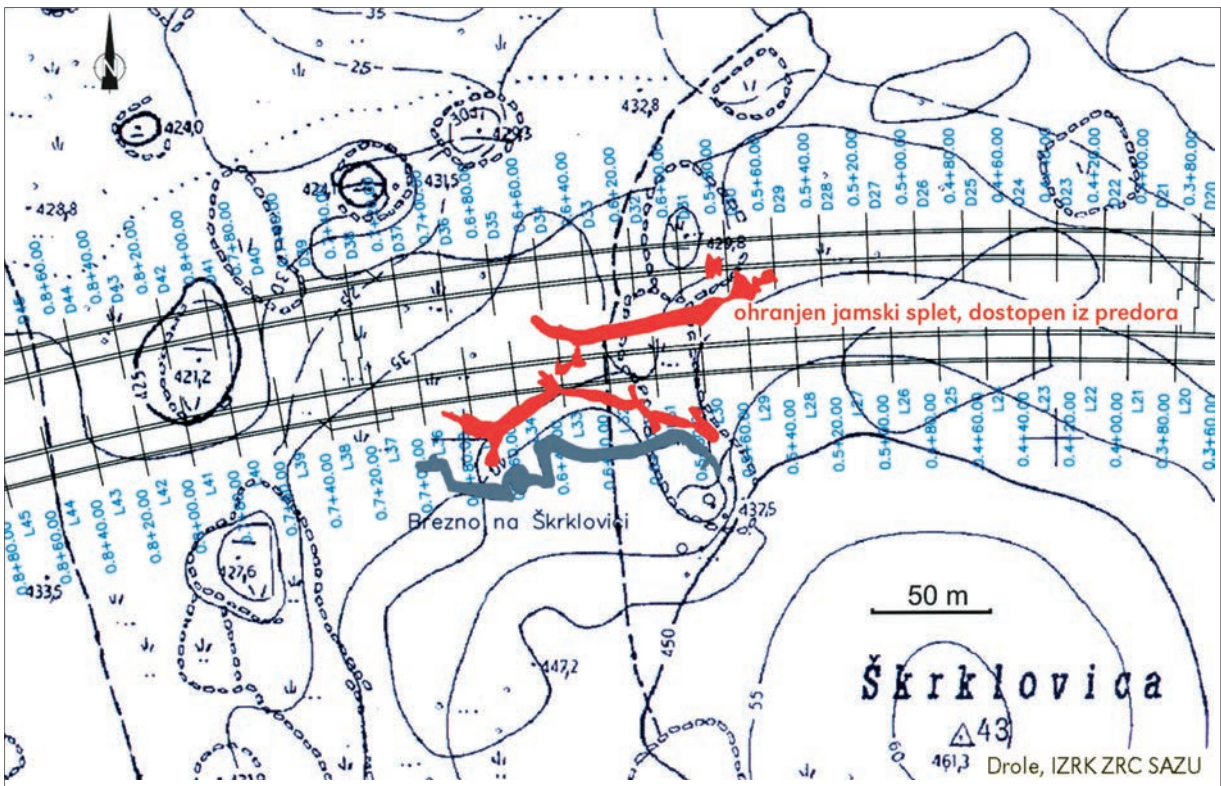
Na površju, na vhodnem breznu v Brezno na Škrklovici vpadajo plasti alveolinsko-numulitnege apnenca proti jugovzhodu za 20°. V jami v levi cevi tunela vpadajo plasti proti vzhodu oziroma severovzhodu za 30 do 40°. Na navpični razdalji 80 metrov se smer vpada plasti torej nekoliko spremeni.

Povsem blizu strmega kraškega roba se je pri kopanju cestnega useka odprla stara jama, splet manjših rogov, ki imajo okrogli prečni prerez, njihov strop pa členijo stropne kotlice in kupole, torej oblike, ki so nastale, ko se je jama oblikovala pod gladino podzemeljske vode. Na dnu rogov je ponekod manjši žleb, ki je nastal zaradi pretakanja manjše količine vode po skalnih tleh, torej je sled mlajšega preoblikovanja jame.

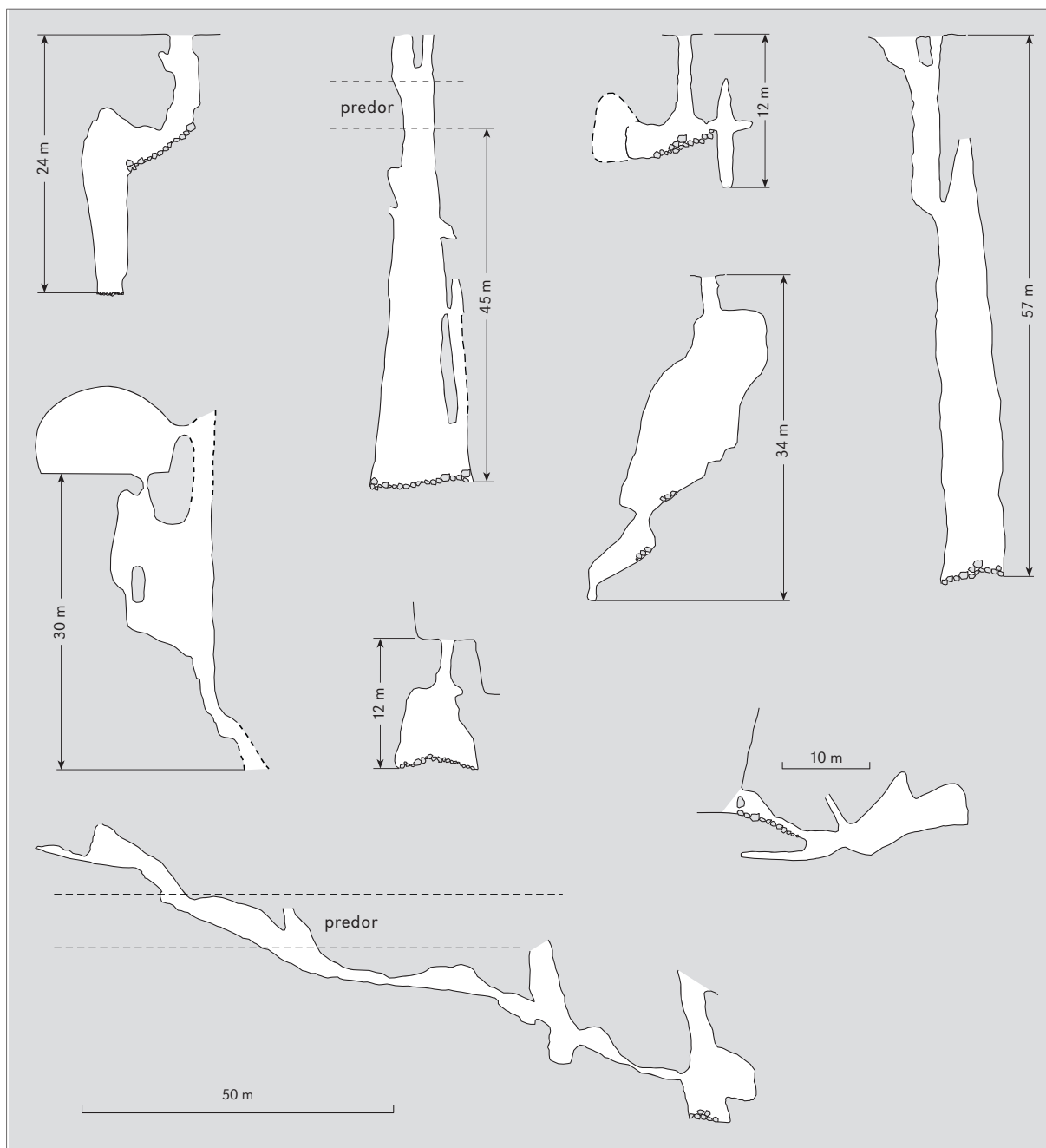
Več jam je bilo špranjastih, nastalih ob po-



Slika 6.7: Jama, odkrita pri kopanju predora (foto: Feruccio Hrvatin).



Slika 6.8: Ohranjen jamski splet, dostopen iz predora.



Slika 6.9: Prečni prerezi jam, odkritih pri kopanju predora.

končnih razpokah, bodisi votlih bodisi zapolnjenih z naplavino, njihova širina je pogosto dosegala le meter ali dva, redkeje tri, globoke pa so bile več deset metrov. Tiste, ki so bile zapolnjene z drobnozrnato naplavino, so imele na obodu nadnaplavinske fasete.

V območju že zgoraj opisanega jamskega spleta pred predorom je bilo tudi brezno s premerom 4 metre. V celoti je bilo zapolnjeno z drobnozrnato naplavino. Njegove stene so bile razčlenjene s sledmi polzenja vode in le deloma preoblikovane pod naplavino.

Jame so nastale tudi na stiku apnenca s flišem. Kjer je bil apnenec nad flišem, se je večina jame oblikovala v flišu. Jame so v premeru merile 2 metra. V celoti so bile zapolnjene s sigo in drobnozrnatimi naplavinami.

Odrplo se je 18 brezen, najgloblji sta preseгли 60 metrov. Brezna so bila preprosta ali pa stopnjasta. V nekaterih je bila stara siga, ki pa jo je voda, ki je polzela po stenah, razjedala.

JAME KOT SLED RAZVOJA VODONOSNIKA

Jame, ki so se odprle pri gradnji, nam razkrivajo vsa najbolj pomembna obdobja razvoja tega dela krasa. Epikras in zgornji del današnje vadozne cone prepredajo raznovrstne sledi razvoja krasa iz časovno različnih obdobj. Najstarejše jame so jasne sledi prevotljenosti vodonosnika, ko se je ohranjeni del krasa v celoti oblikoval pod gladino podzemeljske vode, ki je danes 230 metrov pod površjem. Zaradi znižanja kraškega površja je del jam že brez stropa (Knez, Slabe 2002a). Oblika ostalih pa priča o njihovem oblikovanju v zaliti coni. Večina pa jih je bila zapolnjena z drobnozrnatimi naplavinami in del od njih nato spet izprazen. Poplavne zapolnitve jam povezujemo z dvigom gladine podzemeljske vode po messinski krizi (Bosák idr. 2000). Časovno razmerje z jamo pri Kozini nam bodo razkrile paleomagnetne raziskave naplavin, ki so še v delu. Kot kaže, nam brezno, ki je bilo zapolnjeno z drobnozrnatimi naplavinami, razkriva izrazito obdobje oblikovanja zgornjega dela vodonosnika v vadoznih razmerah, še preden so ga dosegle poplavne vode.

Sledil je razmeroma hiter prehod oblikovanja tega dela Krasa v trajne vadozne razmere. V jamah razen poplavnih sledi, to so predvsem naplavine, in redkih sledi hitrejših vodnih tokov ni izrazitih znakov oblikovanja v epifreatičnih ali vadoznih razmerah. Ta del Krasa se danes oblikuje z razpršenim prenikanjem vode s kraškega površja. Vodne jame se razvijajo le na stiku fliša z

apnencem, kjer vanj zatekajo potoki. Razvoj tega dela krasa je torej tesno povezan s hitrim padcem gladine podzemeljske vode.

Del starih jam je zapolnjen z ostrorobotim gruščem, ki je nastal zaradi razpadanja kamnine v mrzlih obdobjih pleistocena.

Na več mestih smo opazili, da voda, ki prenika s površja in polzi po stenah brezen, bodisi samostojnih bodisi tistih, ki členijo starejše jame, raztaplja sigo, ki je prekrivala te stene. Nam bo nadaljnje proučevanje razkrilo, da je to le posledica razširjenja razpok ali spremembe na kraškem površju, morda celo človekovega vpliva s krčenjem rastja?

GRADNJA IN OHRANJANJE JAM

Vse jame, ki so bile odkrite med gradnjo avtoceste, smo izmerili, narisali njihove načrte (slika 6.9) in jih raziskali. Z graditelji cest pa smo jih skušali tudi čim več ohraniti. Na robovih usekov so skrite za skalnimi zidovi brežin in za betonskim obodom v predoru. Nad tistimi pod cesto, ki imajo ožja ustja in katerih skalni obod zaradi miniranja ni bil preveč pretrt, pa so betonski pokrovi. Največji jamski splet v predoru smo se trudili ohraniti v celoti. Rovi tega spleta so pod cesto povezani z betonskimi cevmi, do katerih vodi jašek z roba cestišča v predoru.

SKLEP

Na 6,5 kilometrih trase avtoceste se je odprlo 67 jam, med katerimi prevladujejo jame (49), skozi katere se je nekoč pretakala voda. V predoru smo na severozahodnem delu hriba Škrklovica (461 m) odkrili večji jamski splet, ki se razvojno navezuje na že prej znano Brezno na Škrklovici. Velik del jam je bil zapolnjen z drobnozrnatimi naplavinami. Alveolinsko-numulitni apnenci, v katerih poteka večina nove avtocestne trase, so precej odporni proti zakrasevanju, saj je v večini primerov izra-

zito zakrasela predvsem njihova površina in predel plitvo pod površjem. Znake zakrasevanja iz časovno različnih obdobjih spremljamo v epikrasu in zgornjem delu današnje vadozne cone. Najstarejše jame so sledi prevotljenosti vodonosnika, ko se je do danes ohranjeni del krasa v celoti oblikoval v freatični coni. V nekaj jamah, ki jih sesta-

vlja splet manjših rogov in imajo okrogli prečni prerez, strop členijo stropne kotlice in kupole, torej oblike, ki so nastale, ko so se jame oblikovale pod nekdanjo gladino podzemeljske vode. Sledi razmeroma hitro znižanje gladine podzemeljske vode in preoblikovanje starejših razvojnih sledi v vadoznih razmerah.

DOLENJSKI KRAS, RAZKRIT MED BIČEM IN KORENITKO

MARTIN KNEZ, TADEJ SLABE, STANKA ŠEBELA

Pri gradnji avtoceste, ko so bile razgaljene karbo-
natne kamnine in z useki na več mestih presekana
današnja epikraška cona, so se razkrili zanimivi
in za ta del krasa, ki je pretežno prekrit z debe-
lejšimi plastmi naplavin in prsti, talna voda pa
v podoljih plitko pod površjem, značilni kraški
pojavi. To so različne vrste škrapelj, zlasti podtal-
ne, o nekaterih lahko govorimo kot o podtalnih
kamnitih gozdovih, kraške uvale z estavelami in
jame (slika 7.1).

KRAS DOLENJSKEGA PODOLJA

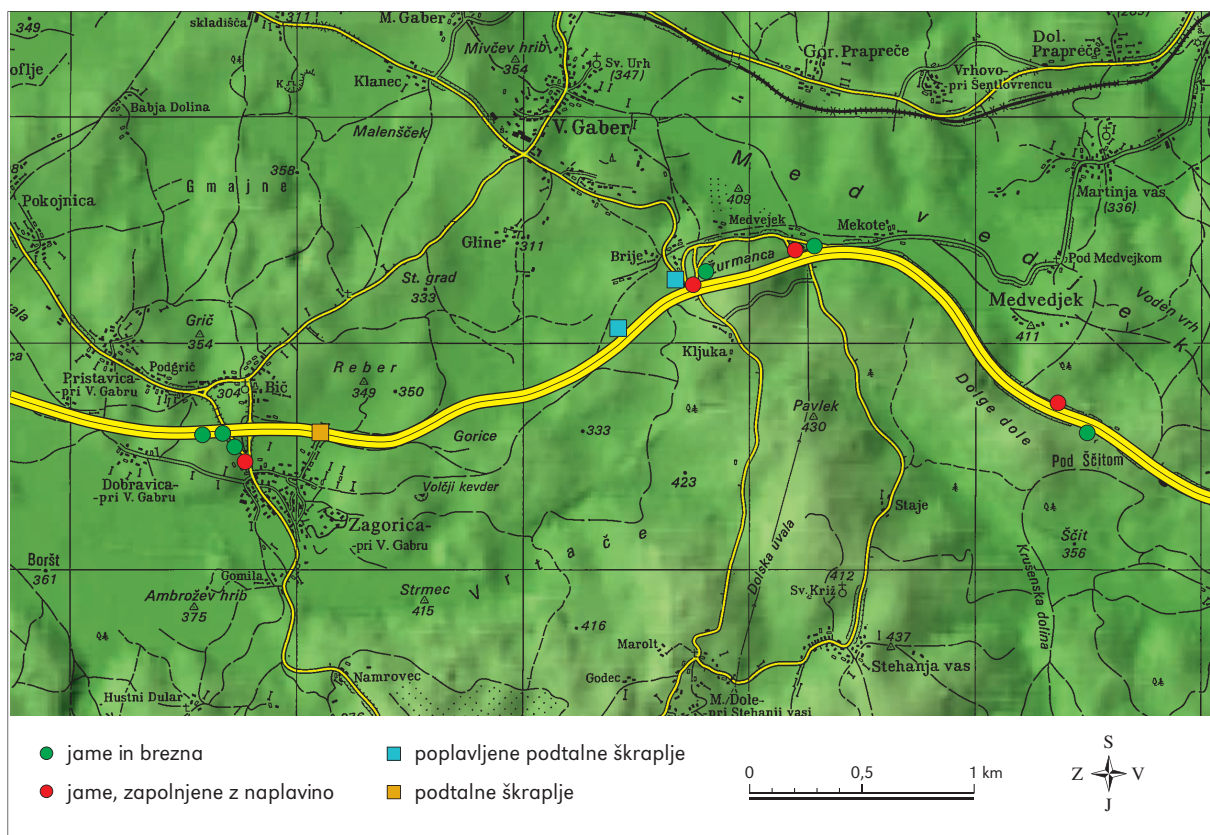
Ozemlje med vzhodnim robom Ljubljanskega
barja, Krško kotlino, Dobropoljem in Želimelj-
sko kotlino ter Gorjanci prištevamo k t. i. nizke-
mu, pokritemu Dolenjskemu krasu (Gams 2004;
Kranjc 1990).

Habič (1982) z litološkega vidika posebej po-
udarja t. i. nepopolni karbonatni kras, ki je razvit
pretežno na triasnih dolomitih, na katerih sicer
prevladuje površinski odtok, vendar razpokana
in porozna kamnina vpije precejšen del padavin.
Po obsegu zavzemajo dolomiti različne površine,
od njihovega položaja sredi krasa pa so odvisne
tudi njihove kraške značilnosti. Na dolomitnem
površju se oblikuje redka rečna mreža, znaten del
povirnih in stranskih grap pa navadno nima stal-

nih tokov. Pogosti so manjši izviri podzemeljskih
vod, ki se pretakajo po posameznih, korozijsko
večinoma skromno razširjenih razpokah v ka-
mnini. Površinski in podzemeljski kraški pojavi
so redki, vendar ponekod prav značilni za dolo-
mitni kras, ki ga lahko označimo tudi kot pose-
ben tip fluviokrasa.

Po dolenskem podolju je veliko pliokvartar-
nih naplavin. Na ravnini naj bi nastale še v času,
ko je bila gladina podzemne vode bliže površja.
Ker so tla (prst) na triasnih dolomitih bolj skle-
njena kot na apnencih in so bila v pleistocenski
hladni klimi zaradi sezonske zamrznjenosti vo-
dno delno neprepustna, je v tem podolju več zna-
kov nekdanjih pritokov voda na robni apnenec
(Gams 1998).

Na prevladujoči dolomitni podlagi je z mor-
fološkega vidika razvit relief z dolinami ter po-
nekod s površinsko rečno mrežo (Habič 1982).
Oblikovanje reliefa poteka v posameznih prede-
lih tega delnega krasa različno hitro, odvisno je
od splošnega morfogenetskega razvoja. Tako so
dolomitne grape najgloblje zarezane v območju
visoke Notranjske in Dolenjske. Precej nižji in
blažji relief pa je izoblikovan na dolomitu se-
verne Dolenjske. Kraške značilnosti dolomita se
odražajo v drobnem grbinastem površju, v zna-
čilnih suhih dolinah in redkih vrtačah ter plitvih
uvalah. Na podzemeljsko drenažo opozarjajo raz-



Slika 7.1: *Jame, odkrite pri gradnji avtoceste.*

meroma gladka nerazčlenjena pobočja slemenastih vzpetin. Očiten znak zakrasedanja pa so tudi grezi, ki se odpirajo v debelejšje plasti dolomitne preperine v dnu globeli.

Glavne hidrografske značilnosti dolomitnega krasa so nakazane z razporeditvijo dolin in s pripadajočo rečno mrežo. Doline v dolomitu so večji del leta suhe, po nalivih pa se v njih pojavijo potoki in poplave. Kraška voda napaja majhne, a stalne izvire. Nihanje pretokov v izvirih je majhno, redko pa bolj izdatno, kar je odraz večje prepustnosti in prevotljenosti. Podzemno pretakanje vode je plitvo pod površjem, zato kras s takšnimi značilnostmi imenujemo tudi »plitvi kras«. Tudi to je ena od značilnosti fluviokrasa. Za dolomitne predele z večjo reliefno razčlenjenostjo je značilen tudi izdaten površinski odtok visokih voda. Hudourniški odtok vpliva na oblikovanje strmih in globokih grap, ki so večinoma zarezano v bolj pretirne in zdobljene prelomne cone.

GEOLOGIJA

Po Osnovni geološki karti (v nadaljevanju OGK), list Ribnica (Buser 1969) se južno od Medvedjeka stikajo na severu ležeče plasti zgornjetriasnega apnenca T_3^{2+3} z južnoležečimi spodnjejurskimi plastmi apnenca. Triasni apneneci so močno prekrstaljeni, vsebujejo številne vložke obarvanih kosov sedimentacijske breče. Po OGK gre za normalen prehod triasa v juro, ki poteka po morfološki dolini »Dolge dole« južno od Malega (409 m) in Velikega Medvedjeka (417 m). Slemenitev plasti triasnega apnenca, kot tudi jurskega apnenca, poteka v smeri severozahod–jugovzhod. Plasti masivnega in brečastega triasnega apnenca so navpične, jurski plastovit apnenec pa vpadla proti severozahodu in jugovzhodu pod kotom 20 do 50°. Južno od hriba Mali Medvedjek (409 m) najdemo temnejše jurske oolitne apnenec, ki vpadajo proti jugozahodu za 20 do 40°. Nekoliko zahodno, in sicer juž-



Slika 7.2: Podtalne, občasno poplavljene škraplje pri Biču.

no od naselja Veliki Gaber, so v jurskih apnencih megalodontidne školjke. Apnenci tu vpadajo proti severovzhodu pod kotom 30 do 50°. To pomeni, da poteka v jurskih apnencih sinklinala z smerjo osi severovzhod–jugozahod. Ob lezikah jurskega apnenca zasledimo tudi zdrse, med plastmi pa prelome, na katerih so sledovi navpičnih premikov.

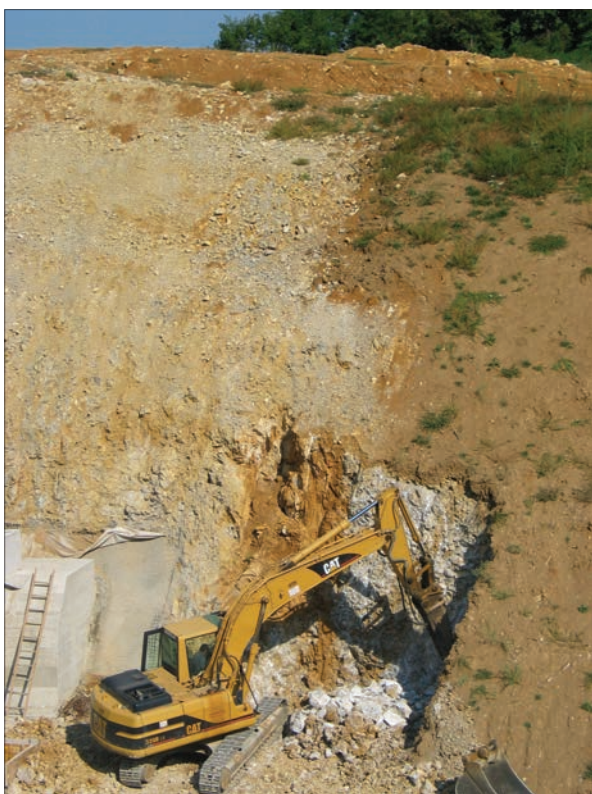
Po Buserju (1976) prištevamo raziskovano ozemlje k zahodnodolenjskim mezozojskim grudam. Temeniški prelom poteka po dolini reke Temenice, mimo Velikega Gabra in Dobrave pri Dobrniču. Stiškemu prelomu lahko sledimo po dolini Stiškega potoka mimo Rdečega kala, severno od hriba Šumberk (540 m) in južno od Dobrave pri Dobrniču. Buser (1976) je potek Žužemberškega preloma določil drugače kot Placer (1999a). Po Buserju (1976) poteka omenjeni prelom pri Lipoglavu, severno od Zagradca, mimo Žužemberka in Dvora po dolini reke Krke. Po Placerju (1999a) pa se pri Krški vasi Žužemberški prelom ne nadaljuje po dolini

reke Krke, ampak poteka bolj južno, prek vasi Plešivica.

Del prečnodinarsko usmerjenega Orliškega preloma (Placer 1999a) je Premru (1976) imenoval Straški prelom, Pleničar in Premru (1977) pa ga imenujeta Krški prelom. Straška tektonska udorina je zapolnjena s pleistocenskimi sedimenti. Navpični premik ob Straškem prelomu je 350 metrov na njegovi južni strani (Premru 1976).

Obravnavano ozemlje je del trikotnika med Idrijo in Srednjemadžarsko tektonsko cono, ki se imenuje Savski kompresijski klin in predstavlja ozemlje, ki je bilo izpostavljeno pritiskom v smeri sever–jug. Ti so povzročili gubanja in kot rezultat nastanek Savskih gub v smeri vzhod–zahod. Zaradi gubanja se je kompresijski klin skrčil v smeri sever–jug za okrog 20 kilometrov, kar je povzročilo premik Periadriatske tektonske cone proti jugu in njeno zožanje (Placer 1999a, 1999b).

Izrazito gubanje področja Savskih gub se je najverjetneje začelo v miocenu ali pliocenu.



Slika 7.3: Jama, zapolnjena z naplavinami in sigo.



Slika 7.4: Brezno.

Kompresija se je vršila tudi v kvartarju in je lahko prisotna celo danes (Placer 1999a).

Vzrok za oblikovanje Savskega kompresijskega klina vidimo v razvoju Idrijsko-srednjemažarske presečne tektonske cone, v kateri glavna strižna smer ne more biti določena. To pomeni, da se je kompresijski klin oblikoval v obdobju mirovanja intenzivnih strižnih premikov v notranjem delu Idrijske in Srednjemažarske tektonske cone (Placer 1999a).

Nastanek Savskih gub je povezan z oblikovanjem Idrijsko-srednjemažarske presečne tektonske cone ter s spremembo napetostnih pogojev od desnih strižnih prek transpresivnih k normalnim pravokotno na Periadriatsko tektonsko cono v smeri sever–jug, ki je verjetno povezana z rotacijo širših razsežnosti.

Čeprav je na OGK, list Ribnica (Buser 1969) južno od Medvedjeka prikazan normalni litološki kontakt med zgornjetriasnim in spodnjepaleozojskim apnencem, in sicer vzdolž doline »Dolge dole«,

pa podatki tektonskega kartiranja kažejo, da je morfologija doline »Dolge dole« tudi tektonsko pogojena, saj poteka po njej močna prelomna cona v smeri severozahod–jugovzhod (230/60). Vzporedne prelomne cone se nadaljujejo tudi proti zahodu, kjer smo izmerili desnozmični prelom 220/80 in levozmični prelom 10-40/70-90. Menimo, da gre ob prelomu severozahod–jugovzhod za vsaj dve fazi tektonskega vodoravnega premikanja (desni in levi zmiki). Tudi na OGK, list Ribnica (Buser 1969) je v tem predelu označen močnejši prelom s smerjo vpada 60° , ki na severu prihaja iz doline reke Temenice, poteka vzhodno od naselja Veliki Gaber, prečka zahodni rob Malega Medvedjeka (409 m) in se naprej nadaljuje jugozahodno od Dobrnica. Buser je leta 1976 ta prelom imenoval Temeniški prelom. Prelom, ki poteka čez Dolge dole, predstavlja severovzhodno spremljajoči prelom Temeniškega preloma.

Med močnejše prelomne cone s tektonsko zdobljeno kamnino prištevamo cono s smerjo

vpada 310/70, ki se nahaja pred Korenitko. Verjetno gre za starejšo prelomno cono širine okrog 4 m, ki jo prelomna cona severozahod–jugovzhod, ki poteka po dolini Dolge dole, seka. Menimo, da so verjetno najstarejše tektonske deformacije cone v smeri severovzhod–jugozahod, sledijo jim cone severozahod–jugovzhod (vodoravno premikanje, desni in levi zmiki), najmlajše so cone smeri vzhod–zahod (vodoravno premikanje, desni zmik). Tudi narivne deformacije so verjetno starejše.

ODKRITI KRAŠKI POJAVI

Kraške uvale z estavelami

Južno od Biča je v dnu morfološke uravnave, ki spominja na občasno poplavljenega kraško polje, več estavel (požiralnikov). Vhodi so odprti v naplavini. Dobska uvala, po kateri poteka zahodni del raziskovane trase ceste, je ena izmed mnogih neznačilnih kotanj vzdolž dolenskega podolja s prevladujočim fluviokrasom. Leži na stiku zgornjetriasnega dolomita, ki ga sledimo na severni strani doline in jurskega oolitnega apnenca na južni strani. Glede na pestro geološko sestavo je pričakovati lokalno različno vodno prepustnost oz. slabšo vodno prepustnost na sploh. Uvala je najnižji del Šentviške okolice. Zaradi dna, ki je večjih razsežnosti, bi kotanjo lahko imenovali kraško polje. Ker pa v dnu ni večje naplavne ravnine in ker večina oboda ni sklenjena ter nima podobe značilnega dinarskega kraškega polja, jo imenujejo uvala (Gams 1987). Površinski tokovi (Dobovščica, Šentviški potok in Glogovnica), ki površinsko pritečejo iz dolomita, poniknejo v oolitnih apnencih. Ob močnejših padavinah priteka voda v uvalo tudi z zahoda in vzhoda. Manjši izviri ob višjih vodah zelo narastejo in si podaljšujejo površinski vodni tok proti jugovzhodnemu robu uvale. Pred izgradnjo hitre ceste so obsežnejše poplave na tem področju občasno ovirale promet na stari magistralni cesti (Gams 2004). Hitrejši odtok površinske vode in manjši obseg

poplav ob dobroprepustnih požiralnikih kaže na široko izoblikovan pozemski splet kanalov plitvo pod površjem. Na to kažejo tudi pogosti grezi in oblike na skali, ki so posledica nihajoče vode.

Ob trasi avtoceste najdemo še druge morfološke depresije – uvale, kot na primer Kljuka, Žurmanca. Uvala Kljuka kot prelomna cona poteka v smeri vzhod–zahod.

Morfološka depresija Dolge dole je razvita na litološkem in tektonskem kontaktu.

Škraplje

Podtalne škraplje na tem področju lahko razdelimo na dve vrsti. Prve nastajajo zaradi enakomernega navpičnega prenikanja vode skozi bolj ali manj debelo plast prsti, ki prekriva razpokano karbonatno kamnino. Pod debelejšo plastjo naplavin in prsti so na izrazito pretrti kamnini nastale špranje, ki imajo oblike podobne bolj ali manj široki črki V. Globoke so lahko več metrov. Oblika med njimi nas spominja na podtalne zobe, ki so oblikovani v močno zdrobljeni kamenini. Iz redkeje razpokane in ponekod proti koroziji odpornejše kamnine pa so nastali pravi kamniti zobje s koničastimi ali rezilastimi vrhovi, ponekod celo manjši kamniti gozdovi (Knez idr. 2003). Členijo jih podtalni žlebovi. Njihova površina je značilno podtalno razjedena, razmeroma gladka na enakomerno in drobnozrnati kamnini in bolj hrapava na raznovrstno sestavljeni ali pretrti kamnini. Pred odstranitvijo prsti so na površje štrlele le manjše škraplje ali pa kosi kamnine. Površje je bilo poraslo in njihova površina pogosto prekrita z mahom. So pa bile na njih škavnice, podtalne vdolbine in deloma že preoblikovane podtalne oblike, žlebovi in zajede (Slabe 1998a). Slednje so sled počasne erozije prsti.

Drugo vrsto podtalnih škrapelj (slika 7.2) pa so odkrila arheološka izkopavanja v dnu podolja pri Biču. Škraplje so se oblikovale v celoti pod tlemi. Plast naplavine in prsti je ponekod razmeroma debela, drugod pa škraplje segajo skoraj do površja. Njihovi vrhovi so priostreni. Zanimiv in poveden je njihov skalni relief. V zgornjem delu



Slika 7.5: Špranjasta jama, zapolnjena z drobnozrnato naplavino.

prevladuje razmeroma gladka, za oblikovanje pod prstjo in drobnozrnatimi naplavinami značilna skala. V spodnjem delu škrapelj so najbolj izrazite podtalne zajede. Večje in vodoravne dosežejo meter premera, manjše so ena nad drugo. Polkotičaste zajede so zaključki navpičnih podtalnih žlebov, ki so nastali ob najbolj prevodnih poteh. Posamezni vrhovi podtalnih zob nad najbolj izrazitimi zajedami so gobasti. Podtalne žlebove na teh škrapljah lahko razdelimo na navpične

in vodoravne. Prvi so prevodniki nihajoče vode ob najbolj prevodnih poteh. Drugi, ki prepredajo položnejše, tudi večje površine skale, pa se sooblikujejo tudi z vlago, ki se v njih zadrži najdlje časa, tudi po znižanju gladine podzemeljske vode. Podobno se ob šibkostih v kamnini, največkrat so to drobne razpoke, oblikujejo podtalne vdolbine, ki sčasoma lahko prerastejo v cevi. Med vdolbinami in žlebovi so torej podtalne cevi, ki prepredajo skalo v različnih naklonih.

Podobno tovrstno oblikovanje podtalnih škrapelj je ponazoril tudi poskus z mavčnimi stebrički, ki smo jih prekrili s prstjo in nato izpostavili umetnemu dežju (Slabe 2005). Voda je na spodnji strani odtekala iz modela. Zgornji del stebričkov je oblikovala voda, ki je razpršeno prenikala skozi prst, spodnji pa se je oblikoval v lokalno zaliti coni. Odtok vode je bil namreč prepočasen in voda je zato zalila spodnji del modela.

Če strnemo, lahko iz oblike škrapelj in njihovega skalnega reliefa izluščimo dva prevladujoča načina njihovega oblikovanja. Poseben pečat jim dajejo skalne oblike, ki so sled pogostega nihanja gladine podtalne vode, ki škraplje poplavlja od spodaj. V času nizkih podtalnih voda jih oblikuje voda, ki občasno in razpršeno penika iz površja skozi prst in enakomerno polzi po skali navzdol. Dlje časa se zadrži v podtalnih vdolbinah in položnih žlebovih ter ob manj prepustnih stikih kamnine z naplavino, ki jih obdaja.

Jame

Večjih jam je na raziskanem področju malo. Nekoliko več jih je na višje ležečih obrobjih uval. Dokler je bila kraška vodna gladina bližje površja, so debeli pliokvartarni sedimenti nedvomno zavirali globinsko zakrasevanje (Gams 2004). Na obravnavanem podolju se je namreč zaradi visoke gladine podzemne vode in skromne erozije ohranila debele plasti preperine, ki je v triasu prekrivala velik del slovenskega Krasa.

Na 5 kilometrov dolgem odseku avtoceste Bič–Korenitka smo odkrili 10 novih kraških jam.

Izven avtocestne trase je bilo že pred gradnjo znanih več požiralnikov. Med Dobravico pri Velikem Gabru in Bičem se nahaja požiralnik Dobravska jama. Vzhodno od Biča najdemo Špajo jamo (kat. št. 3464), stopnjasto brezno dolžine 68 metrov in globine 44 metrov. Vzhodno od Zagorice pri Velikem Gabru sta požiralnika Kovačeva rupa in Volčji kevder (globina 7–8 m).

Pri zemeljskih delih se je odkrilo razmeroma

majhno število jam. Še največ jih je bilo v globljem useku Mali Medvedjek. Večina jam je bila zapolnjena z drobnozrnato naplavino (slika 7.3), le posamezna brezna so bila votla (slika 7.4). Največji rov, katerega stene so bile prekrite s kopo sige, je meril 5 metrov, ostali pa merijo meter ali dva v premeru. Skalni obod rovov je bil obnaplavinsko preoblikovan. V njihovem položaju in obliki se največkrat odslikava pretrost kamnine. Posebna vrsta so špranjaste jame (slika 7.5), ki so nastale ob izrazitejših pokončnih razpokah in prelomih ter sečiščih plasti in tektonskih deformacij. V preseku so bolj ali manj navpične, ponekod tudi vijugaste. V vseh primerih sledijo litotektonskemu stanju v kamnini. Širina in prostornina zapoljenih prostorov v kamnini sledi lokalni pretrosti kamnine. Takšne jame pogosto sledijo ožjim prelomnim conam, iz katerih je material iznotranje prelomne cone odnesen v podzemlje in nadomeščen s površinskim sedimentom. Na stenah teh jam, ki niso širše od metra ali dveh, so še vidne sledi zadnjega premikanja blokov kamnine. Navpično pretakanje ni potekalo samo na eni točki, temveč vzdolž celotne razširitve preloma oziroma vzdolž enake pretrosti kamnine. Njihova oblika kaže na posebnost razvoja. Kot kaže, so se oblikovale kot podnaplavinske votline. Manjše votline se nastale tudi v izrazito v drobne kose pretrti in deloma v brečo sprijeti kamnini. Njihov obod je zato grobo hrapav.

SKLEP

Dejstvo je, da je apnenec vzdolž trase Bič–Korenitka močno tektonsko pretrt v široke porušene in zdrobljene cone, kjer so apnenci večkrat pretrti do stopnje tektonske breče. To je razumljivo, saj je obravnavani teren del savskega kompresijskega klina (Placer 1999a), ki je pretrpel več faz tektonskih procesov. Kras je v primerjavi z jugozahodno Slovenijo, kjer prevladujejo kredni apnenci, razvit v triasnih in jurskih apnencih, ki so prekriti z debelejšo preperino kot na primer v

jugozahodni Sloveniji. Najbolj vidni kraški pojavi so torej požiralniki na dnu uval. Pri gradbenih delih pa so se razkrile tudi podtalne škraplje ter jame. Izjemnih oblik so tiste, ki so nastale v dnu podolij in ki jih podtalne vode pogosto poplavijo. Imajo povsem svojevrsten, kot vemo, tokrat prvič opisan skalni relief. Stare jame, skozi katere so se nekoč pretakali vodni tokovi, pričajo o znižanju gladine podzemeljske vode, ki površje dosega le v najnižjih podoljih. Dobršen del jam je zapolnjen z drobnozrnato naplavino in pod njo tudi preoblikovan. Oblikovanje špranjastih jam, ki so večino-

ma ob navpičnih razpokah, pa bi lahko opredelili kot podtalno. Voda, ki je širila razpoke v špranje, jih je sproti zapolnjevala z drobnozrnatimi naplavinami. Skratka, razkrivajo se nam značilnosti plitkega (podzemeljska voda je blizu površja) in z naplavinami pokritega, za Slovenijo svojevrstnega krasa. Te značilnosti bi bilo treba kar v največji meri upoštevati pri nadaljnjih poseganjih v Kras, saj so nam na prvi pogled skrite, vsakršno poseganje v Kras pa nam jih razkrije in mnoge od njih (jame, podtalne škraplje ali kamniti gozdovi) so vredne, da jih zaščitimo in ohranimo.

PODTALNI KAMNITI GOZDOVI IN DRUGI KRAŠKI POJAVI MED HRASTJEM IN LEŠNICO

MARTIN KNEZ, TADEJ SLABE

Krasoslovna spremljava gradnje odseka dolenske avtoceste se je tudi tokrat izkazala kot zelo koristna tako pri razkrivanju naše naravne dediščine kot pri poglobljanju vedenja o oblikovanju in razvoju tega dela slovenskega krasa. Pod bolj ali manj debelimi plastmi naplavin, ki prekrivajo kraško površje, se je to značilno podtalno oblikovalo. Podtalno oblikovanje karbonatnih kamnin daje pečat tudi vsej epikraški in vadozni coni. Površje je razčlenjeno v podtalne kamnite gozdove (sliki 8.1, 8.2), manjše so površine škrapelj, odkrilo pa se je tudi veliko votlih in z drobnnozrnatimi naplavinami zapoljenih brezen. Svojevrstnost oblikovanosti kraškega površja je predvsem posledica velikih površin kamnitih gozdov, ki pa jih je pred zemeljskimi deli oziroma geofizikalnimi raziskavami težje razbrati. Večina površja je višje nad gladino podzemeljske vode. Izjema je le začetni predel avtoceste pri Hrastju, ki pa zaradi načina gradnje, nasutja grušča na posebno podlago, v celoti ni bil razkrit. Zato smo lahko sledili predvsem kraškim oblikam, ki so nastale zaradi prenikanja vode s kraškega površja. Posebnih podtalnih škrapelj, ki so jih razkrila zemeljska dela pri Biču in ki so se oblikovale tudi z nihanjem gladine podzemeljske vode (Knez idr. 2004), nismo našli. Kraški pojavi, razkriti pri gradnji, omogočajo vpogled v značilnosti in način oblikovanja krasa na širšem področju južne

Slovenije, torej razkrivajo še eno posebnost naše kraške naravne dediščine, ki je površnemu opazovalcu skrita, in nam narekujejo tudi smernice za načrtovanje posegov v površje.

POTEK TRASE CESTE IN GLAVNE ZNAČILNOSTI POKRAJINE

Severozahodni del odseka avtoceste se začne v bližini ponora potoka Igmanca pri vaseh Hrastje, Dolenja vas in Šentjurij in poteka mimo vasi Selo po značilnem dolenskem podolju. Pokrajina je tam prekrita z lateralno spreminjajočimi relativno debelimi plastmi naplavin in prsti. Talna voda je blizu površja, prevladuje fluviokras. Tu zasledimo posamezne kraške pojave, med njimi manjše ponorne jame, estavele, v manjši meri tudi izdanke karbonatne kamnine. Teren se rahlo dviguje proti hribu Strmec in Dobrava, kjer ima cesta večji vzpon, in se kmalu za tem prek prevala spusti proti reki Krki. Vz dolž prevala smo zasledili tanjše plasti sedimentov in številne izdanke zelo zakrasele kamnine, ki večinoma razpada v drobne fragmente. Površinske vode je tam manj, saj zaradi naklona terena, tanjših plasti naplavin in nesklenjenosti preperinskega pokrova relativno hitro odteče v podzemlje. Kamnite gozdove in v različne globine segajoče škraplje sestavlja tako



Slika 8.1: Podtalni kamniti gozd.

kompaktna kot tudi zelo tektonsko zdrobljena kamnina. Kjer je kamnina nezdobljena ali prevladujejo med razpokami trdni bloki apnencev, smo že na površini opazili številne kamnite zobe. Le-ti so se marsikje ob zemeljskih delih pokazali kot pravi kamniti stebri. Kjer pa je kamnina tektonsko pretrta ali zdrobljena, na površini škrapelj nismo zasledili, pač pa so ponekod pod prstjo sicer oblikovani zametki kamnitih zob med zemeljskimi deli takoj razpadli. Med hribom Brezovica in Lešnico ponovno sledimo značilnemu nizkemu Dolenjskemu krasu s talno vodo blizu površja, značilnimi grezi in kotanjami. Na površju se oblikuje redka rečna mreža, znaten del površinskih ter stranskih grap pa navadno nima stalnih tokov. Pogosti so manjši izviri podzemljskih vod, ki se pretakajo po posameznih, korozivsko večinoma skromno razširjenih razpokah v ka-

mnini. Površinski in podzemljski kraški pojavi so redki. Doline v okolici so večji del leta suhe, po nalivih pa se v njih pojavijo potoki in poplave. Infiltrirana voda napaja majhne, a stalne izvire. Nihanje pretokov v izvirih je majhno, le občasno pa bolj izdatno, kar je odraz večje prepustnosti in prevotljenosti. Podzemno pretakanje vode je plitvo pod površjem, zato kras s takšnimi značilnostmi imenujemo tudi »plitvi kras«.

Debele plasti pliokvartarnih sedimentov na karbonatnih kamninah, zlasti na mokrotnem zemljišču, so navadno kisle. Ni še povsem jasno, ali so ti sedimenti avtohtoni ali prineseni iz bližnje dolomitne okolice (Gams 2004). Po primerjavah z razmerami v tropskem krasu se je oblikovalo mnenje, da se je v tem podolju zaradi visoke gladine talne vode in slabe erozije debela preperina lahko ohranila in pod njo se razvija podtalni kras.



Slika 8.2: Obsežni stebri podtalnega kamnitega gozda.

GEOLOŠKE ZNAČILNOSTI PODROČJA

Trasa avtoceste med Hrastjem in Lešnico poteka, z nekaj izjemami, po zgornjejurskih (spodnjemalm-skih) kamninah. V nekaj primerih prečka tudi pliokvartarno naplavino in aluvialne rečne naplavine. Z geotektonskega vidika področje pripada Zunanjim Dinaridom, za katere je značilna blokovska razkosanost in dinarska smer prelomov in osi gub. Vzdolž zahodnega dela odseka ceste poteka pokrit prelom. Antiklinalna guba zgornjejurskih plasti poteka v dinarski smeri od Dolenje Nemške vasi na severozahodu do Novega mesta na jugovzhodu. Cesta večinoma poteka po njenem severnem boku. Vpad plasti je spremenljiv, na splošno pa plasti vpadajo proti severovzhodu. Vzdolž trase lahko v kamnini sledimo različni mikro- in makrofavni, v srednjem delu trase pa tudi makroflori.

Zgornje jurske plasti na severu mejijo na zgornjekredne rjave in zelene laporje, peščene laporje, laporne apnenice ter sive in rdečkaste ploščaste apnenice z vložki apnenčaste breče. Na jugu pa mejijo na pliokvartarne rjave ilovnate preperine. Severno od Prečne zasledimo manjše področje zgornjetriasnih sivih plastnatih in neplastnatih dolomitov.

Po pregledni geotektonski karti (Pleničar, Premru 1977) leži področje odseka avtoceste na t. i. Novomeški grudi. Njen severni del predstavlja prehod med Posavskimi gubami in Dolenjsko-notranjskimi grudami. Najstarejše kamnine so tu srednje- in zgornjetriasni dolomiti, prek katerih so diskordantno odloženi jurski apnenci, čez njih pa zgornjekredne pelagične kamnine. Značilnost terena so dinarsko usmerjene sinklinale in antiklinale, ki ponekod divergirajo iz svoje značilne smeri.



*Slika 8.3:
Biokorozijsko
razjedena površina
škrapelj.*



Slika 8.4: Obsežne površine podtalnih kamnitih gozdov.

Jurske plasti v okolici Novega mesta v splošnem sestavlja večinoma svetlosiv apnenec, ki leži na cordevolskem zgornjetriasnem dolomitu in je podlaga za na njih diskordantno odložene zgornjekredne pelagične sedimente (Pleničar, Premru 1977).

Kamnine spodnjega malma so vzdolž odseka avtoceste severno od Novega mesta (Pleničar idr. 1975) zelo raznolike. V tako imenovanem severnem in južnem razvoju se izmenjavajo bel do siv apnenec, oolitni apnenec, grebenski apnenec s hidrozoji in plastovit apnenec z roženci.

Severnemu razvoju lahko v širšem smislu sledimo med Poljanami in Malim Slatnikom vzhodno od Novega mesta (Pleničar, Premru 1977), kar je večinoma vzdolž severovzhodnih predelov odseka avtoceste. Tu prevladujeta svetlo siv, neplastovit, grebenski apnenec in debeložrnata grebenska breča. Tu in tam med temi plast-

mi zasledimo tudi temnosiv in skoraj neplastovit apnenec. V neplastnatem apnencu je bogata hidrozojska favna. Ponekod naletimo tudi na ploščast apnenec z roženci.

Vzdolž jugozahodnih predelov pa najverjetneje sledimo srednjemu razvoju, ki je litološko podoben severnemu razvoju, hidrozoji so v kamnini manj pogosti. Med grebenskim apnencem so tu tudi oolitni apnenci (Pleničar, Premru 1977). Ponekod se pojavljajo korale. Kamnin južnega razvoja, za katerega so značilni sivi, gosti in oolitni plastoviti apnenci, po podatkih geološke karte in tolmača (Pleničar idr. 1976; Pleničar, Premru 1977) vzdolž trase ni.

Jugozahodno od Mačkovca v pliokvartarnih naplavinah zasledimo izdanke bentonitnih glin. Glina leži v žepih triasnega dolomita in v jurskih apnencih. Ponekod je odložena v plasteh v skupni debelini do 12 metrov.



Slika 8.5: Vrtača v podtalnem kamnitem gozdu.



Slika 8.6: Podtalni kamniti steber s podtalnimi skalnimi oblikami.

ŠKRAPLJASTO POVRŠJE

Večino površja višjega sveta, doli so prekriti s plastmi naplavin, členijo škraplje. Jasno pa jih je mogoče razlikovati v dve vrsti. Na predelih, ki niso prekriti z naplavinami, deloma pa jih prekriva prst, so škraplje v prvotnem pomenu besede. Prekrivajo pretežni del površja. Karbonatna kamnina je razčlenjena ob razpokah, na skali pa lahko razbiramo sledi njenega nekdanjega podtalnega oblikovanja pod prstjo (Slabe 1999; Slabe, Knez 2004), teh je razmeroma malo, posrednega preoblikovanja s padavinami, površje je bilo poraščeno, in drobnega členjenja z biokorozivskimi dejavniki. Površje je bilo namreč večinoma poraslo z gozdom. Takšne škraplje so bile na površju kope v dolu na začetnem delu odseka avtoceste.

Še posebej na področju hribov Strmec in

Dobrava smo zasledili in opazovali zelo močno biokorozivsko delovanje na številnih škrapljastih izdankih karbonatne kamnine. Močno biokorozivsko je raztopljena kamnina na bolj osončnih ali senčnih predelih. Tam prevladujejo mahovi, medtem ko so lišaji pogosti tudi na bolj soncu izpostavljenih mestih. Biokorozivski procesi se ne odvijajo po celotni površini skale enakomerno, temveč selektivno (slika 8.3). Najverjetneje litološko rahlo različni klasti v zdrobljeni in ponovno zacementirani skali so različno globoko raztopljeni ali pa so na različnih sosednjih klastih različni organizmi. Še posebno so korozivsko raztopljeni kontakti med posameznimi klasti, ponekod celo več mm globoko.

Večji del površja, poraslega z gozdom, pa so členile večinoma posamezne, a različno obsežne skale z deloma podobnimi sledmi oblikovanja



Slika 8.7: *Podtalni žleb.*

kot zgoraj opisane škraplje. Pogosto pa so razčlenjene z lijakastimi ustji večjih navpičnih podtalnih žlebov. Dosegale so meter do dva višine in bile proti vrhu zožene, med njimi pa so bile večje površine prsti.

Zemeljska dela so jih razkrila kot vrhove večjih površin kamnitih gozdov.

PODTALNI KAMNITI GOZDOVI

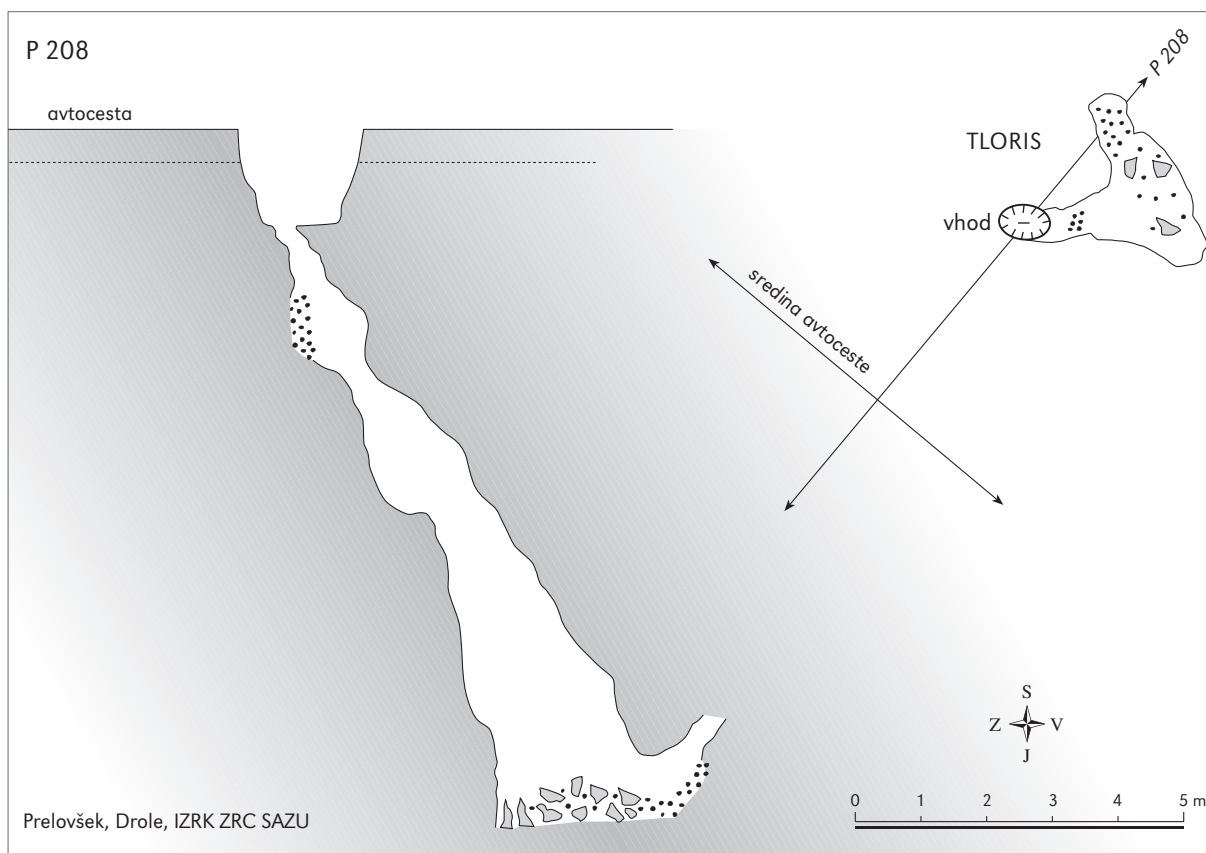
Razmeroma velike površine podtalnih kamnitih gozdov (slika 8.4) pričajo o načinu in dolgotrajnem podtalnemu oblikovanju tega dela kraškega površja, ki je prekrito z drobnozrnatimi naplavinami in prstjo. Kamniti stebri so v celoti pod naplavinami in prstjo ali pa so na površju le njihovi vrhovi.

Površje je razčlenjeno z manjšimi in večjimi

vrtačami (slika 8.5). Največje imajo premer več deset metrov. Nekatere so zapolnjene s sivo ilovico, katere izvor še proučujemo. So pa oboje razčlenjene s podtalnimi kamnitimi gozdovi.

Podtalne kamnite gozdove sestavlja gosta mreža bolj ali manj čokatih in koničastih stebrov (slika 8.6), ki dosega 8, redkeje 10 metrov višine, večina pa je nižjih. Ožji stebri z metrom ali dva premera imajo na vrhu eno, ostro ali zaobljeno konico, čokati, ki so široki tudi 5 m, pa več ali pa so njihovi vrhovi oblike bolj ali manj priostrenih in vijugastih razov. Med njimi so večinoma lijakasta ustja navpičnih podtalnih žlebov ali pa bolj ali manj vodoravni podtalni žlebovi.

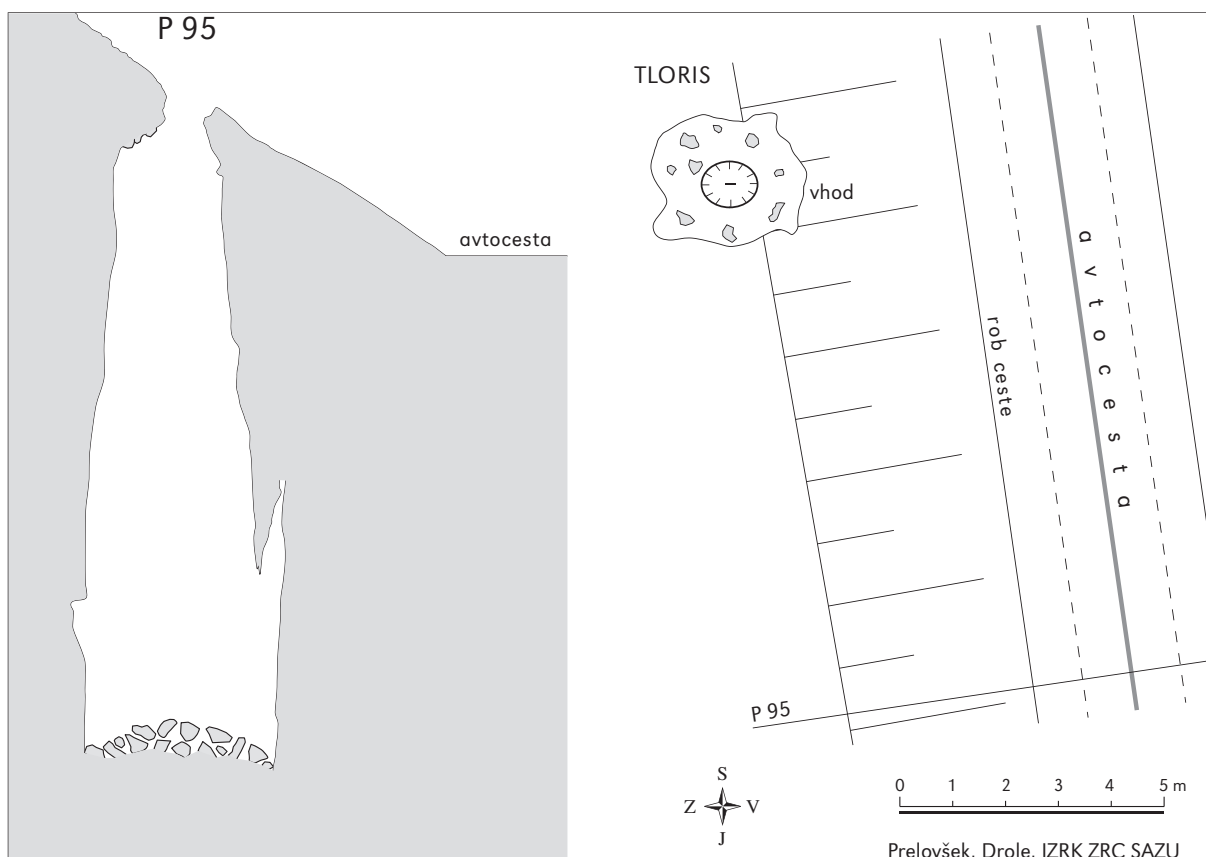
V skalnem reliefu stebrov prevladujejo podtalne skalne oblike (Slabe 1999; Slabe, Knez 2004), ki pričajo o težnostnem pretakanju vode s površja. To so predvsem podtalni žlebovi (slika 8.7),

Slika 8.8: *Brezno*.

najbolj značilni so navpični s premerom meter in več, največje, kot ugotavljamo v nadaljevanju, lahko poimenujemo tudi podtalna brezna, ki se na vrhu razširijo v lijakasta ustja. V njih se zbira voda s površja, ki polzi po skalah in se steka iz prsti. Lijakasta ustja so v prečnem prerezu različnih oblik. Lahko so odprta, polkrožna ali pa skorajda krožna. Njihova oblika je pogosto posledica prepustnosti stika skale in naplavine, po katerem odteka voda navzdol. Dolgotrajno oblikovanje ustja ob slabo prepustnem stiku povzroči, da se skalna oblika zaje globlje v skalo. Redkeje si je voda utrla pot skozi skalo, torej so nastali pravi lijaki. Ob slabše prepustnem stiku ali pa ko se na površju zbira manjša količina vode, to je značilno seveda za ožje stebre, katerih konice štrlijo iz prsti, nastanejo manjši in vijugasti žlebovi. Redke so podtalne fasete, ki praviloma pričajo o prepustnem stiku skale z naplavino, ki jo obdaja,

še več, na stenah stebrov lahko najdemo podolgovate zajede, ki so sled zastajanja vode ob slabše prepustnem delu stika in pospešenega zajedanja skale ob njem.

Skalna površina kamnitih stebrov je tik pod površjem, kjer skalo prekriva prst, razmeroma gladka, globlje, ob stiku z naplavinami, ki prekrivajo površje, pa grobo hrapava, pogosto razčlenjena z manjšimi zaobljenimi štrlinami. Kamnina je namreč preperela. Debelina preperela plasti meri do enega centimetra. Vlažna je mehka, suha, ko je dlje časa na površju in iz nje izhlapi voda, pa se strdi. Preperelost povrhnjice kamnine je posledica stika z naplavino, ki je večino časa vlažna. Stik je razmeroma neprepusten, zato voda, ki pronica po njem navzdol, le počasi spira raztopino. Stik z bolj porozno prstjo je bolj prepusten.



Slika 8.9: Brezno, odkrito pri gradnji avtoceste.

KRAŠKE VOTLINE

Razkrite votline so večinoma sled navpičnega prenikanja vode skozi epikraški in vadozni del vodonosnika. Brezna lahko razdelimo na votla in tista, zapolnjena z naplavino. Slednje, zaradi podobnosti oblikovanja s podtalnimi skalnimi oblikami seveda predvsem navpičnimi podtalnimi žlebovi, imenujemo podtalna.

Petnajst brezen (sliki 8.8, 8.9), navpičnih in večinoma preprostih, le eno je bilo izrazito stopnjasto, najgloblje je merilo 24 metrov, še tri so presežala globino 10 metrov, ostala pa so bili manj globoka, njihov premer je dosegal 5 metrov, večinoma pa manj, priča o mestoma, zaradi izrazitejši navpične prelomljenosti ali navpičnih skladov kamnine, večji prepustnosti, ki omogoča strnjeno navpično prenikanje vode. Brezna so med podtalnimi škrapljami in gozdovi. Ne

dosegajo površja. Njihove stene so razčlenjene z večjimi in manjši navpičnimi žlebovi in pogosto prekrte s tanjšo plastjo naplavine, ki pogojuje njihovo drobno razčlenjenost (Slabe, Knez 2004). Tla brezen so pogosto prekrita z naplavino oziroma naplavina zapolnjuje njihov spodnji del.

Podtalna brezna (slika 8.10) so bolj ali manj navpične votline, podobne navadnim breznom, po katerih prav tako prenika voda s kraškega površja, so pa skoraj v celoti zapolnjena z naplavinami, le posamezni navpični odseki so lahko votli. Voda, ki se pretaka skozi njih, prinaša in odlaga naplavino, s katero je pokrito površje. So bolj ali manj krožnih prečnih prereзов ali razpotegnjeni ob razpokah in lezikah. Njihov premer dosega 2 metra. Zapolnjenost z naplavinami omogoča členjenje njihovega oboda, ob manj prepustnih stikih nastanejo zajede. Podtalna brezna nastajajo ob lokalno strnjenem pretoku večjih količin



Slika 8.10: Podtalno brezno, zapolnjeno z drobnozrnato naplavino.

vode. Lahko se razvijajo iz podtalnih žlebov. Na njihovih stenah pa so obnaplavinske skalne oblike, ki so sledi oblikovanja na stiku z drobnozrnato naplavino. Ob povečani prevodnosti v kraški notranjosti se podtalna brezna lahko izpraznijo.

Ob vodoravnih lezikah in razpokah so pogosto nadnaplavinski žlebovi ali pa mreže anastomoz, sledi paragenetskega členjenja skale. Lokalno torej nastanejo občasno zaliti predeli in voda, ki prenaša drobnozrnato naplavino ter jo odlaga, se vrezuje navzgor.

SKLEP

Vse bolj se nam razkrivata svojevrstna naravna dediščina in razvoj pokritega Dolenjskega krasa.

Tokrat smo imeli možnost slediti prenikajoči vodi v epikras in zgornji del vadozne cone, ki sta se oblikovala pod razmeroma debelimi plastmi naplavine in prstjo, kjer se na velikih površinah oblikujejo podtalni kamniti gozdovi, brezna in podtalna brezna.

Izjemnost kamnitih gozdov, posebne geomorfološke kraške oblike, ki je značilna prav za ta del krasa (Knez idr. 2003), nam narekuje izhodišča za nadaljnje načrtovanje posegov v kras.

KRAŠKI POJAVI MED VIPAVO IN SELOM

MARTIN KNEZ, ANDREJ MIHEVC, BOJAN OTONIČAR, TADEJ SLABE

V večinoma nekarbonatnem flišu so debele plasti apnencev (apnenčasti peščenjaki in breče), ki so genetsko vezani na fliš. Ti apnenci so zakraseli. Na stikih s spodaj ležečimi neprepustnimi nekarbonatnimi fliši se ponekod pojavljajo izviri. V manjši meri so zakrasele tudi slabo cementirane pobočne breče.

LOKACIJE IN OBSEG KAMNIN, KI ZAKRASEVAJO

Dno Vipavske doline gradijo večinoma klastične kamnine in sedimenti različne starosti in izvora. Trasa hitre ceste med Vipavo in Selom poteka v začetnem delu po kmetijsko spremenjenih kvar-



Slika 9.1: Stik apnenca s flišem.



Slika 9.2: Plasti breče.

tarnih sedimentih aluvija, nato prečka rahlo valovito pokrajino, ki jo gradijo spodnjeocenski nekarbonatni in karbonatni turbiditi (slika 9.1), v zadnjem delu pa seka kvartarne lokalno cementirane pobočne gruščne (slika 9.2).

V flišnem zaporedju se izmenjujejo plasti siliciklastičnih peščenjakov, glinavcev in laporjev, med katerimi se pojavljajo debele plasti (*mega-beds*) resedimentiranih karbonatov.

Plasti karbonatega fliša so debele od nekaj decimetrov do več kot 10 metrov in jih sestavlja siv apnenčast peščenjak (kalkarenit) ter različno zrnata organogena apnenčasta breča (kalkrudit). Debele karbonatne plasti so pogosto razpokane in prepredene z debelimi kalcitnimi žilami. Že v predhodnih raziskavah je bilo z vrtnami ugotovljeno, da so ti apnenci ponekod zakraseli, votline pa zapolnjene z mastno in pusto glino ter drobnim flišnim gruščem in prodom.

Kvartarni grobozrnati karbonatni pobočni grušč, v katerih se ponekod nahajajo veliki apnenčasti bloki, je lokalno cementiran, kar se



Slika 9.3: Breča nad flišem.

odraža v »gobastih« tvorbah breče (sliki 9.3, 9.4) med sipkim gruščem. Pobočne breče tega tipa so lahko v manjši meri zakrasele.

Na stikih med eocenskimi resedimentiranimi karbonati in kvartarnim karbonatnim gruščem ter spodaj ležečim neprepustnim flišem se pojavljajo izviri (slika 9.5). Manjši stalni izviri se pojavljajo tudi na stikih med pretežno čistim karbonatnim gruščem in brečo z večjimi skalnimi bloki ter glino.

KRAŠKA PREVOTLJENOST KAMNINE

Votline na trasi lahko razdelimo na manjša brezna, ki so nastala v apnencu v flišu, torej zaradi stika ali pa zaradi zbiranja vode na neprepustni kamnini, in jame, ki so nastale v breči, ki leži nad neprepustnim flišem (slika 9.5).

Za Dobravljami pri potoku Košivec se je ob izkopu za temelje podvoza odprl vhod v 3,7 metrov globoko brezno (slika 9.6). Vhod v brezenca je ovalne oblike dimenzij 0,7 × 0,5 m. Do globine dveh metrov ima meter premera, nato se razširi na 3,5 × 2 m. Glavna os tlorisa brezna poteka v smeri 320°. Na dnu brezenca je manjša razpoka, globoka do 2 metra. Brezenca je po vsej verjetnosti oblikovala voda iz občasnega potoka Košivec, ki ponika med skalovje 4 metre severozahodno ob prelomu (320/90).

Drugo brezno (slika 9.7) je globoko 4 metre in do 1,5 metra široko. Spodnji del brezna je bil zasut zaradi podora skal vanj. Brezno je v debelo-plastnatem apnencu, ki je v flišu.

Pri kopanju useka so se na stiku med zgornjo, ponekod več metrov debelo plastjo karbonatne breče in spodaj ležečim flišem majhne votline, ki imajo premere velike do 0,5 metra. Iz stika pritekajo manjši vodni tokovi (slika 9.5). Voda, ki razpršeno prenika skozi prepustno brečo, se torej steka po razpredeni mreži manjših votlin, ki je nastala ob stiku. Odprli sta se tudi dve nekoliko večji votlini. Večjo sestavlja več rogov z metriskim premerom. Na stičišču rogov je jama široka 3



Slika 9.4: Neprepustna flišna podlaga pod brečo.

metre in visoka 1,5 metra. Obod jame razpada, saj breča ni trdno sprijeta.

Trasa hitre ceste v delu med vasjo Cesta in Potočami, južno od Skrilj, je prerezala ozki greben, ki ga grade paleogenski, alveolinsko-numulitni apnenci. V preseku so bili apnenci jasno razvidni, vendar v njih nismo opazili pomembnejših kraških oblik ali pojavov.

OB ZAŠČITNIH ARHEOLOŠKIH IZKOPAVANJIH NA TRASI HITRE CESTE MED LOGOM IN AJDOVŠČINO

Arheologi so pod plastjo prsti, v kateri so bili ostanki prazgodovinske keramike, naleteli na sterilni gruščnati sloj. Vrhnja površina te plasti ni bila ravna, pač pa so se v njej videle plitve ulekni-



Slika 9.5: Majhen rov z vodnim tokom v breči nad stikom s flišem.

ne in podolgovati jarki. Ker je obstajala možnost, da so te neravnine morda delo človeka, smo si ogledali odkopane profile, poskušali ugotoviti izvor tega sloja in oceniti nastanek neravnin v njegovem gornjem delu.

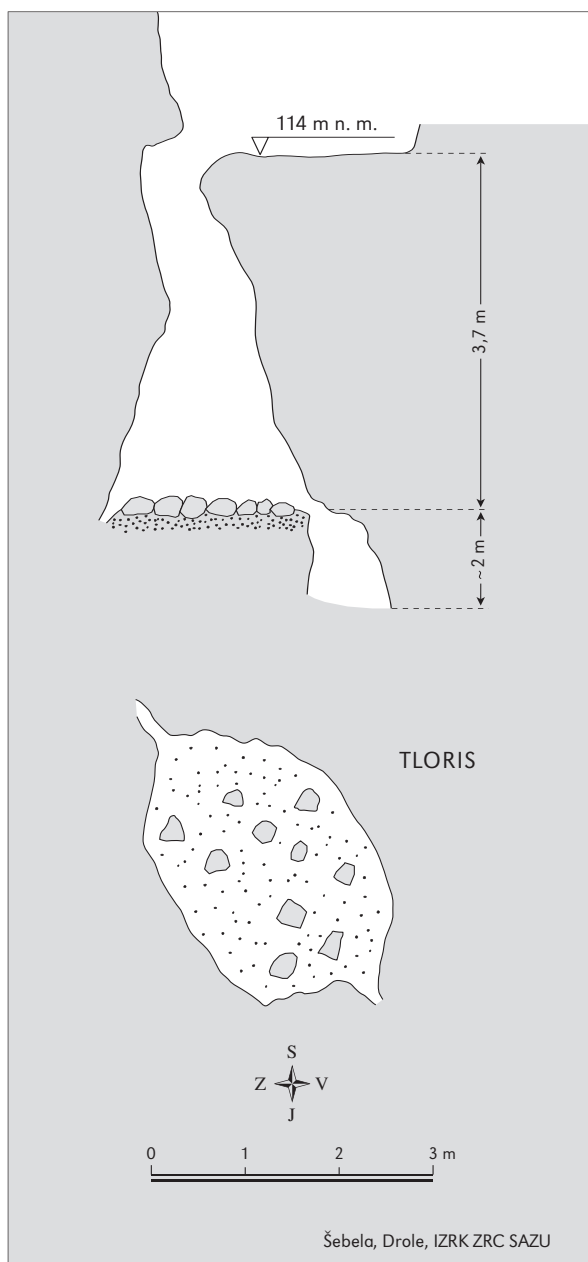
Nastanka vdolbin povsem natančno nismo mogli ugotoviti, vendar vse kaže, da so naravnega izvora. V slovenski geomorfološki literaturi so opisane podobne grbine na površju, ki so nastale zaradi korozije v različno debelih morenskih gruščih.

Gruščnati sloj je sestavljal apnenčasti grušč, pomešan z rumenorjavo ilovico. V apnencu, iz katerega so gruščji, so številni fosili jurske starosti. Grušč je robat, vendar po površju korozijsko razjeden, zato so njegovi robovi nekoliko zaobljeni. Velikost klastov je bila različna, največji so bili veliki do 20 centimetrov, ponekod pa so bili med njimi tudi večje skale iz apnenca. Grušč je nesortiran in brez fluvialnih sedimentacijskih struktur. Gruščnati sloj je odložen na matično kamnino, ki je v tem delu Vipavske doline eocenski flišni peščenjak in lapor.

Okrog pol kilometra severneje se prično strmejša pobočja doline, ki so oblikovana v eocenskih flišnih laporjih in peščenjakih. Tu izvira več manjših potočkov, ki pa so v ravnejšem delu doline meliorirani in močno spremenjeni ter danes prenašajo le droban prod ali pesek.

Plast grušča, pomešanega z ilovico pod kulturno plastjo, nedvomno izvira iz gruščev, ki jih najdemo višje na obrobju Vipavske doline. Enakomerna velikost grušča kaže na nastanek v hladnih pleistocenskih pogojih na strmih robovih Trnovskega gozda. Grušč je kasneje bodisi spolzel ali pa so ga prenesle vode in ga nasule v spodnji del doline. Nezaobljenost grušča nakazuje kratek transport.

Na območju izkopavanj se tla pod blagim naklonom, 1 do 2°, spuščajo proti najnižjemu delu doline ob reki Vipavi. Na tako majhnem naklonu lahko potoki prenašajo le drobno plavje. Grušča, ki ga sestavljajo klasti večjih dimenzij, pa takšni potočki ne morejo prenašati. Verjetno je bil grušč z melišč presedimentiran v položnejši del doline



Slika 9.6: Načrt jame, odkrite pri kopanju temeljev za cestni nadvoz.

bodisi ob močnih deževjih ali pa s soliflukcijskim polzenjem. Ostrorobi grušč, majhen naklonski kot nasutega grušča, pomešanega z ilovico, in nesortiranost pa kažejo na soliflukcijsko polzenje v hladni pleistocenski klimi.

Vrhna ploskev gruščnate plasti ni bila ravna. V njej so do nekaj 10 centimetrov globoke kroglaste ali podolgovate uleknine, široke od ne-



Slika 9.7: Brezno, ki se je odprlo pri kopanju cestnega useka.

kaj 10 centimetrov do prek metra. Podolgovate uleknine so verjetno struge manjših potočkov, ki so kasneje tekli po tem zasipu. Zaradi majhnega strmca niso imeli moči prenašanja grušča, lahko pa so spirali finejše glinene delce.

Kroglaste vdolbine so lahko nastale na več načinov. Lahko so nastale na mestih, kjer so koreninila drevesa ali grmovje v času sedimentacije grušča. Lahko so nastale tudi kasneje, ko so na tem površju začela rasti drevesa. Korenine dreves lahko razrinejo grušč, ko pa drevo odmre, ostane luknja, ki se zapolni z drobnejšim gradivom iz sosedstva. Vdolbine so lahko nastale tudi na mestih, kjer je bila korozija grušča lokalno močnejša, na primer, kjer je bilo več drobnejšega grušča.

SKLEP

Resda se na tem odseku ni razkrilo veliko kraških pojavov, so pa svojevrstni in zanimivi. Jame v karbonatih v flišu in brečah, ki ga prekrivajo, nam razkrivajo način oblikovanja in razvoj krasa v teh posebnih geoloških razmerah, v različnih kamninah in na stiku karbonatov z nekarbona-

tnim in neprepustnim flišem. V breči, ki je nad flišem, je nastal pravi jamski splet z votlinami, katerih premeri so večinoma dosegali več decimetrov. Splet kaže na enakomerno pretakanje vode po vsem stiku. Prav gotovo je tudi ta posebni del krasa pomembna vsebina naše bogate in raznovrstne naravne dediščine.

KRAS V BREČI REBRNIC V VIPAVSKI DOLINI

MARTIN KNEZ, ANDREJ MIHEVC, TADEJ SLABE

Na pobočju Rebrnic smo imeli možnost preučiti del mladega krasa, ki nastaja v pobočnih brečah. Breče nastajajo iz grušča pod strmim zahodnim robom Nanosa. Grušč prekriva fliš, ki obrobja južni in zahodni del visoke kraške planote. Površje pobočja so oblikovali podori, ki so se na flišni podlagi spreminjali tudi v plazove. Razčlenile so jih tudi vode, ki se pretakajo nad flišem. Debelina plasti grušča oziroma breče je mestoma različna. Na večjih skalah, ki štrlijo na kraško površje, so skalne oblike, ki jih dolbe deževnica. Najbolj izraziti so žlebiči. Za njihovo zrelo obliko je potrebnih dva tisoč let razvoja (Gams 1990). Torej se površje podorov in plazov na tem delu pobočja že dlje časa ni izrazito spreminjalo. So pa v breči nastale bolj ali manj navpične razpoke, ki kažejo na napetosti v pobočju. Ob gradnji, ko se je trasa globlje zasekala v pobočje, pa je stik med gruščem, brečo in flišno podlago izkazal izredno krhko ravnotežje. Po obilnih padavinah je po stiku med flišem in brečo, ki so ga razkrili useki, na dan privrela množica manjših vodnih tokov. Več jih je zajetih.

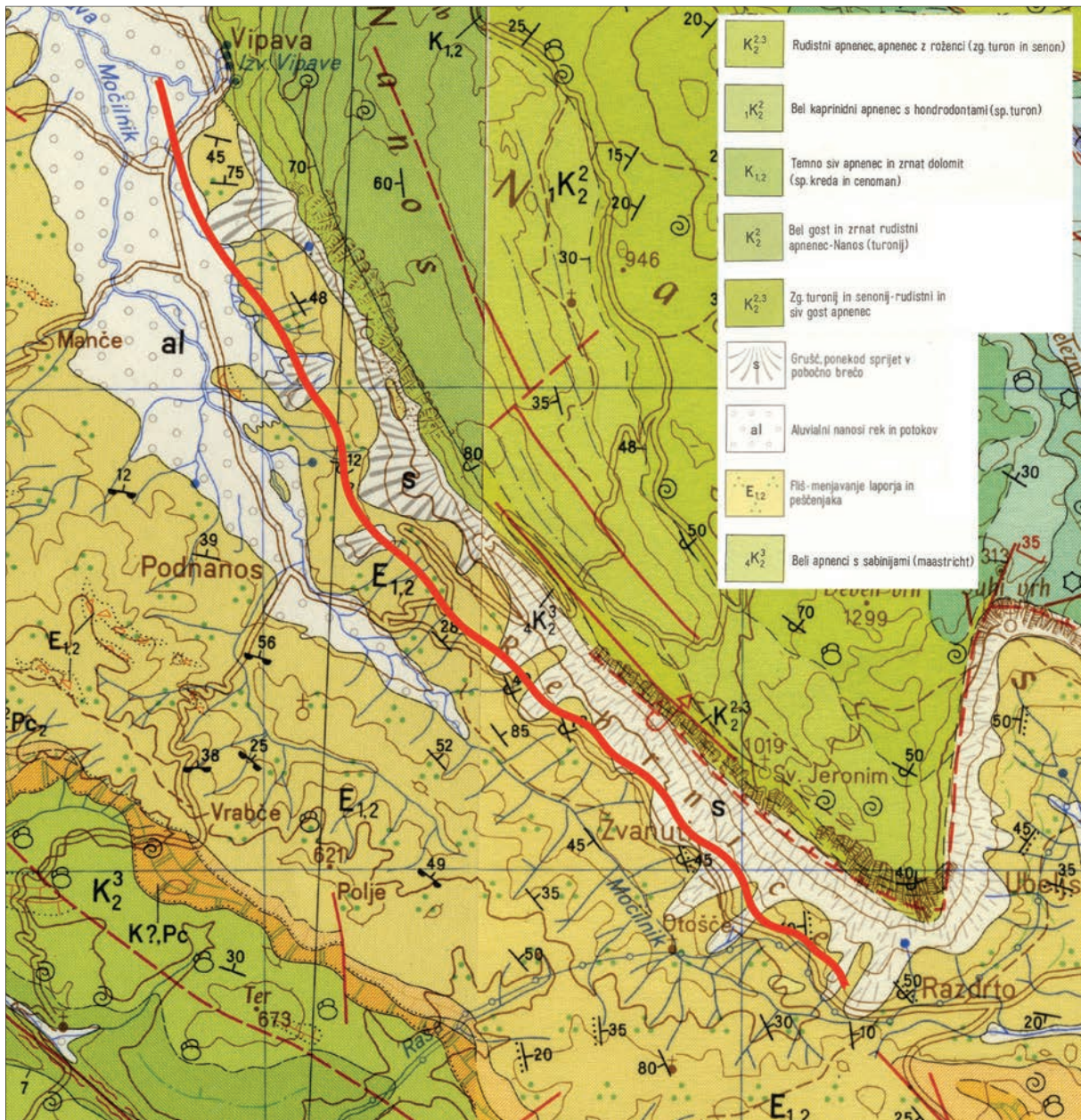
V brečah, ki leže na nagnjeni neprepustni osnovi fliša, so se razkrili za tovrstni kras značilni, za krasoslovje pomembni in pri nas razmeroma redki kraški pojavi. Razložili smo začetne stopnje razvoja vrtač in značilne vrste jam. To so manjše kraške votline v najbolj strnjenih delih breče, naj-

večje votline so nastale nad stikom s flišem, špranjaste jame pa so nastale ob prečnih razpokah, ki so razmeroma gosto prepredale pobočje.

Trasa hitre ceste poteka po treh geomorfološko različnih enotah, po jugozahodnih pobočjih Nanosa, na Rebrnicah in Bregu ter po dnu Vipavske doline.

Pobočja Nanosa, Podgora in Rebrnice so izrazita geomorfološka enota. Posebna geološka narivna zgradba, klimatska prehodnost ozemlja in posebni pobočni procesi ter sedimenti so se tu odrazili v morfologiji pobočij ter botaničnih posebnostih. Te lastnosti so pripeljale do razglasitve krajinskega parka Južni in zahodni obronki Nanosa. Geomorfološko kartiranje je zajelo območje ob trasi, ponekod pa tudi nekoliko širše območje nad in pod traso predvidene hitre ceste. Pokazalo se je, da cesta, ki poteka prečno na pobočja, prereže pravzaprav vse mogoče reliefne tipe in reliefne oblike.

Pobočja Nanosa in Trnovskega gozda so prvi proučevali geologi pri geološkem kartiranju ozemlja. Na pobočjih so podrobno določili stik fliša in apnenca ter razširjenost kvartarnih pokrovov grušča in večjih podorov (Buser idr. 1967; Mlakar 1969; Buser 1968a, 1973; Pleničar 1970; Placer 1981). Proučeni so bili tudi stiki apnencev in fliša na vzhodni strani Nanosa ob robu Pivške kotline (Čar 1980).



Slika 10.1: Geologija Rebrnic (Buser idr. 1967, Buser 1968).

Z geomorfološkega vidika je bilo manj proučevanj. Izrazita pobočja je opisal Melik (1960) v svoji monografiji. Habič (1968) je proučil pobočja Nanosa v sklopu proučevanj visoke kraške planote Nanosa in Trnovskega gozda. Opisal je različne pobočne materiale, grušč, konglomerate, ostanke podorov in večja melišča in vršaje. Na Rebrnicah je opazil inverzni relief, ko so debelejšje plasti gruščev in breč v nekdanjih graphah,

ki so vrezane v flišno podlago. Grušči in breče so odpornejši, zato so se potoki kasneje vrezali v nekdanje flišne hrbte.

Radinja (1961) je pri Črničah pod Čavnomo opazoval različne pobočne sedimente in poljenja pobočnih gruščev na flišu, poskušal je določiti posamezne genetske tipe drobirja.

GEOLOŠKE RAZMERE NA OBMOČJU TRASE

Trasa ceste poteka po dveh pokrajinskih enotah: po dnu Vipavske doline in jugozahodnih pobočjih Nanosa, po Bregu in Rebrnicah (slika 10.1). Trasa poteka v smeri severozahod–jugovzhod in se v skrajni južni točki pred Razdrtim prične obračati proti vzhodu.

Breg in Rebrnice pripadata gmoti Nanosa, ki je južni del obsežnega naravnega pokrova. Kredni apnenci, ki ga grade, so v obliki obsežne prevrnjene oziroma polegla, tudi delno narinjene gube na eocenskem flišu Vipavske doline (Pleničar 1970). Litološki stik med krednimi apnenci in eocenskim flišem poteka v glavnem visoko v pobočjih Nanosa, v večjem delu okrog 200 metrov nad traso ceste. Stik je morfološko izrazit, v apnencih so pobočja strma ali celo navpična, na flišnih kamninah položnejša. Geološki stik kamnin spremlja morfološko in vegetacijsko izrazit niz še živih, neporaslih melišč.

Na južni strani Nanosa, na območju pri Razdrtem in v Rebrnicah, vpadajo plasti fliša in nad njimi konkordantno tudi plasti senonskih, turonskih in cenomanijskih apnencev proti severovzhodu (50/40). Pri Podborštu, severno od Podnanosa, pa vpadajo v isto smer, vendar bolj strmo (50/70). Še dlje proti severu, pri Vipavi pa so plasti apnenca in tudi fliša že skoraj navpične.

Vipavska dolina je mlajša, tektonsko pogojena dolina s širokim ravnim dnom. Dno grade flišne kamnine, ki so jih prekrili mlajši kvartarni sedimenti, predvsem naplavine potokov in hudo-urnikov z Nanosa ali s flišnih Brd.

Trasa ceste poteka v manjšem delu po ravnem, nasutem dnu doline. Flišne kamnine so tu različno globoko pod naplavinami, ki so jih hudo-urniki in potoki nanесли s pobočij Nanosa ali Brd. Nanosi z nanoške strani vsebujejo med flišnimi tudi apnenčaste slabo zaobljene in sortirane prodnike. V bližini trase hitre ceste izdanjajo apnenci le na nekaj mestih. Na območju Mlak, na vojaškem strelišču, grade apnenci iz numulitnih

breč manjšo vzpetino. Numulitni apnenec je vložen med flišne plasti eocenske starosti.

Iz krednega rudistnega apnenca je nekaj manjših območij v pobočjih. Takšna sta Šembijški zatrep nad Podnanosom in manjša krpa krednega apnenca pri Orešju nad Lozicami. Pri teh zatrepih je vidna še plastovitost krednega apnenca, vendar pa po razlomljenosti in razpokanosti kamnine sklepamo, da gre tu za večje gmote apnenca, ki so se odtrgale od Nanosa ter spolzele po flišni podlagi.

Na območju Brega in Rebrnic poteka trasa po flišnih kamninah ali po kvartarnih pobočnih sedimentih.

Flišne kamnine predstavljajo laporji in peščenjaki s karbonatnim vezivom. Te plasti so po večini tanko plastovite, močno nagubane in tudi drugače tektonsko poškodovane. Mestoma so med njimi tudi plasti numulitnih breč. Te apnenčaste plasti so odpornejše in izražene v reliefu. Ob njih so nastali v pobočjih manjši pregibi, v strugah potokov in v erozijskih jarkih pa tudi manjši skoki ali slapovi.

Večji del Brega in Rebrnic pokrivajo različno debeli pobočni sedimenti in preperelina. Ti so ponekod sestavljeni le iz krednih rudistnih apnencev, pogosto pa so med njimi tudi delci flišnih kamnin. Debelina in granulacijska sestava pobočnih sedimentov je zelo pestra. Sestavljajo ga oglati grušči, pomešani z večjimi apnenčastimi skalami in bloki. Ponekod so plastoviti, večinoma pa brez vidnih sedimentacijskih struktur. Pomešani so lahko tudi z drobnim karbonatnim materialom in rdečkastimi ilovicami. Mestoma so ti pokrovi cementirani s kalcitno sigo.

Izvor apnenčastih kamnin je v pobočjih Nanosa, od koder so se ti v obliki melišč ali večjih odlomov razširili prav do dna doline Močilnika.

Morfološko izrazite so pobočne breče. Grade jih pobočni grušči in bloki metrskih dimenzij. Vezivo breč je karbonatno, breče pa so verjetno med najstarejšimi ohranjenimi pobočnimi sedimenti. Najdemo jih v obliki večjih pokrovov ali kot posamezne manjše gmote cementiranih po-

bočnih gruščev. Večji pokrovi breč so morfološko izraženi z enakomernimi nakloni, ob njihovih robovih pa z izrazitimi pregibi v pobočjih, manjšimi stopnjami in stenami. Posamezne gmote breč so nastale tudi znotraj nevezanih pobočnih apnenčastih gruščev tam, kjer so lokalni pogoji omogočali izločanje kalcitnega veziva. So razvrščeni brez opaznega reda.

GEOMORFOLOŠKI RAZVOJ POBOČIJ NANOSA

Jugovzhodna pobočja Nanosa, Rebrnice, Breg in dolina Močilnika ter del dna Vipavske doline, kjer poteka trasa ceste, so se oblikovali na stiku treh izrazitih morfostrukturnih enot. Te enote so Nanos, Brda in Vipavska dolina. Hipsografske spremembe in hidrološki ter morfološki razvoj teh treh enot je povzročil generalni razvoj in oblikovanje pobočij, drobne oblike reliefa pa so nastale na osnovi lokalnih pogojev.

Nanos je visoka kraška planota, kjer se padavinska voda tako s planote kot s strmih, v apnenicah oblikovanih pobočij odteka podzemsko proti izvirov Vipave. Zaradi tega na površju ne najdemo fluvialnih oblik, dolin ali grap, ki bi nato segale čez rob planote in rezale pobočja. Ker je odtok kraški, izviri pa so le na severozahodni strani masiva, v nadmorski višini okrog 100 metrov, više na pobočju ni kraških izvirov. Groba oblika Nanosa je tako določena z geološko strukturnimi pogoji, rob planote pa oblikujejo le kraški, razpadni in pobočni procesi.

Površinska rečna mreža se je razvila na delu pobočij, ki jih gradi fliš. Zaradi majhnih vodnih količin in pokrovov gruščja prek fliša pa so tu lahko nastale le majhne fluvialne reliefne oblike.

Brda grade eocenski fliš. Zavzemajo območje med Senožecami ter Raškim prelomom in dolino Raše ter Vipavsko dolino in Nanosom. Na njih je oblikovana površinska rečna mreža s potoki, ki pripadajo porečju Raše in Močilnika. Za oblikovanje Rebrnic je zlasti pomembna dolina Močil-

nika, ki zbira vodo z Brd, pa tudi s pobočij pod Nanosom. Dolina potoka je v dnu ozka, razširi se šele pod Lozicami. Dno doline in hitrost njenega poglobljanja določata erozijsko terminanto za potočke pod Nanosom, pa tudi za različne pobočne procese polzenja.

Dolina Močilnika se severno od Podnanosa odpre v Vipavsko dolino, ki pa je tektonsko pogojena udorina z uravnanim in nasutim dnom. Njeno dno je lokalna erozijska baza za vse fluvialne in pobočne procese celotnega območja. Tu se stekajo potoki s pobočij Nanosa, Močilnik in potoki z Brd.

Pretekli geomorfološki razvoj teh treh enot ni dobro poznan oziroma proučen ter časovno determiniran. Povezan je z nastankom postecenske krovne narivne zgradbe, v kateri so se oblikovali obsežni narivi Trnovskega gozda ter nagubana struktura Nanosa.

Med kasnejšimi radialnimi premiki je prišlo do dvigovanja Nanosa in grezanja njegovega obrobja, najbolj na območju Vipavske doline. To je omogočilo kraško pretakanje in oblikovanje površja planote Nanosa. Ta planota se je oblikovala brez vplivov površinskih voda, podzemna drenaža pa se je vsa združila na iztok v skupini izvirov pri Vipavi. Zaradi nizke nadmorske višine izvirov so se pričele proti njim pod Nanosom pretakati tudi ponikalnice iz severozahodnega roba Pivške kotline (slika 10.2).

Ob jugozahodnem robu Nanosa je na flišnih kamninah nastalo vodozbirno območje Močilnika. Značilna je asimetričnost rečne mreže Močilnika, ki dobiva le leve pritoke, iz območja flišnih Brd. Ti pritoki so oblikovali globoke doline in grape. Manj vodnati pritoki s pobočja Nanosa niso oblikovali pomembnejših dolin oziroma niso pomembno razčlenili pobočij (slika 10.3).

Vzroke za značilno oblikovanje reliefa pobočij Nanosa moramo tako iskati v kraškem načinu odtekanja vode z Nanosa, geološki strukturi in oblikovanju doline Močilnika.

Zaradi apnencev, ki leže na flišu, je v pobočju Nanosa nastala izrazita strukturna stopnja.

Pobočja, oblikovana v flišu, so položnejša, pobočja, oblikovana v apnencu, pa bolj strma. Pregib v pobočjih poteka na nadmorski višini okrog 800 metrov v gornjem delu Rebrnic na prevalu, okrog 650 metrov nad Lozicami in okrog 350 metrov nad izviri pri Vipavi. Stik kamnin torej leži visoko nad dnom doline Močilnika in Vipavske doline ter okrog 200 metrov nad načrtovano traso hitre ceste.

Ker se planota Nanosa in tudi njegova apnenčasta pobočja drenirajo kraško, so pobočja brez površinskih voda, ki bi oblikovale fluvialne doline oziroma razčlenile premočrtna, strukturno pogojena pobočja Nanosa.

Strukturna stopnja z apnenci nad flišnimi



Slika 10.2: Planota se je oblikovala brez vplivov površinskih voda, podzemna drenaža pa se združuje v izviri pri Vipavi.



Slika 10.3: Manj vodnati pritoki s pobočja Nanosa niso oblikovali pomembnejših dolin oziroma niso pomembno razčlenili pobočij.



Slika 10.4: Ponekod so obsežni pokrovi apnenega drobirja cementirani s kalcitno sigo.

kamninami je zelo pomembna, saj omogoča nastanek nestabilnih strmih apnenčastih pobočij in intenzivno mehanično razpadanje apnenca. Krušenje, odlomi ali podori strmih pobočij so na položnejši flišni del nasuli obsežne pokrove apnenčastega drobirja. Ponekod so ti pokrovi cementirani s kalcitno sigo (slika 10.4).

Pokrovi apnenčastega drobirja in večjih skal so ponekod debeli prek 10 metrov. Pričenjajo se na stiku med apnencem in flišem in segajo navzdol, ponekod do dna doline Močilnika. V večjem delu so pokrovi omejeni z izrazitimi pregibi v pobočjih. Pregibi so nastali ob njihovih spodnjih robovih, pogosto nad izviri ali roji izvirov. Izraziti pregibi v pobočjih pa jih omejujejo tudi bočno, kjer so vzporedno z njimi nastale erozijske grape potokov na mestih, kjer fliš ni prekrit z apnenčastim drobirjem.

Morfološko so zlasti izraziti pokrovi pri Razdrtem, med Gradiščem in Žingarco ter pokrova na vrhu hriba Hraščak, nad Hraščami in na Slatni oziroma Gradišču nad Podnanosom.

V sedanjih pogojih pokrovi ne nastajajo več. Krušenje in razpadanje apnencev je omejeno na strma pobočja Nanosa in se odraža v še živih meliščih, ki segajo navzdol do stika s flišem. Očitno je torej, da so veliki apnenčasti pokrovi nastali v drugačnih klimatskih pogojih, ko je bilo razpadanje apnenca intenzivnejše, časovno pa te faze razvoja niso določene. O starosti pokrovov govori njihova cementiranost v breče in dvignjenost nad pobočji v njihovem gornjem delu.

Pokrovi so pomembna morfološka in strukturna enota pobočij, ki zaradi svojih lastnosti vplivajo na nadaljnje oblikovanje pobočij. Padavinska voda zlahka prenika skozi te plasti do stika s flišem v podlagi. Voda se ob stiku zbira, spira finejše delce in tu povzroča nestabilnost ter polzenje pobočnih sedimentov, pojave izvirov v spodnjih delih pobočij, ponekod pa tudi nastajanje plitvih dolinic ali globljih grap.

Skoznje prenika padavinska voda, zato na njih ni fluvialnih oblik. Te nastajajo šele pod njimi, pod izviri.

Ker je prenikanje vode skozi pokrove počasno in imajo ti sedimenti precejšnjo retinenco, je iztok iz izvirov pod njimi dušen. To se odraža v večji stalnosti izvirov in manjši erozijski sposobnosti njihove vode oziroma v manjšem erozijskem razčlenjevanju pobočij.

ZNAČILNE RELIEFNE OBLIKE V TRASI HITRE CESTE

Strukturne oblike

Strukturne reliefne oblike so nastale zaradi različnih fizikalnih ali kemijskih lastnosti ob stiku različnih kamnin ali različnih geoloških struktur, kot so prelomi, narivi ali plastovitost kamnin. V takih reliefnih oblikah se očitno izraža različna geološka zgradba površja.

Strukturne reliefne oblike so nastale na stiku apnenca in fliša, apnenca in pobočnega gruščča ter na stiku pobočnega gruščča s flišem. Pogoste so strukturne oblike v flišnih kamninah, ki jih sestavljajo različno odporne in debele plasti laporjev, peščenjakov in tudi apnencev. Izrazitejša strukturne stopnje pa so v flišu nastale le tam, kjer so med lapornatimi plastmi debele plasti numulitnih breč oziroma apnenca. Najbolj izrazite strukturne stopnje v flišnih kamninah so nastale na severnem pobočju Slatne.

Strukturna stopnja Nanosa

Strukturne stopnje nastanejo tam, kjer odpornejše kamnine leže nad manj odpornimi. Zaradi pobočnih procesov nastanejo v odpornejših kamninah strmejša, v manj odpornih pa položnejša pobočja. Pregib pobočja je na stiku različnih kamnin.

Strukturna stopnja Nanosa je največja strukturna oblika na celotnem južnem pobočju Nanosa. Gornji del, ki ima naklone okrog 35 do 45°, je oblikovan v apnencu in pripada Nanosu v ožjem smislu. Pod njim leže položnejša pobočja Nanosa, Rebrnice in Breg. Oblikovana so v flišnih kamninah. Njihov naklon je okrog 15°. Pregib je izrazit, oster in mu sledimo vzdolž pobočij od Razdrtega do Gradišča pri Vipavi. Stik kamnin in pregib potekata okrog 200 metrov nad traso hitre ceste.

Reliefne oblike na karbonatnih gruščih ali brečah

Velik del pobočij Nanosa pokrivajo karbonatni gruščiči in podori s strmega, apnenčastega pobočja Nanosa. Krušenje, odlomi ali podori so bili intenzivni zlasti v hladnih pleistocenskih klimah. Ta pokrov je bil kasneje močno preoblikovan in razčlenjen. Preoblikovali so ga korozija, spiranja karbonatnih delcev, erozija in polzenje tal. Tako se je enotni pokrov, zlasti niže v pobočju, razčlenil v bočno ločene ali stopničasto razporejene pokrove. Trasa ceste prereže več takšnih pokrovov.

Poleg debelih pokrovov gruščev in breč so v

pobočjih tudi obsežna področja tankih pokrovov. Tu gre le za tanko plast apnenčastega grušča, ki leži na flišu. Ta plast preprečuje nastajanje erozijskih reliefnih oblik, modificira debelino prsti in njene lastnosti ter pomeni bolj kamnito površje.

Tanki pokrovi so pogosto na gornjih delih večjih pokrovov ali pod njihovimi strmimi spodnjimi robovi. Morfološko so izraženi kot kamnita površja z redkimi erozijskimi reliefnimi oblikami.

Podorne oblike

Ob strmi strukturni stopnji Nanosa je zaradi nestabilnosti podlage prihajalo do odlomov večjih delov pobočij. Tak odlomljen del počasi polzi po mehkejši flišni podlagi navzdol. Zaradi premikov po podlagi takšna gmota, ki jo gradi kredni apnenec, močno razpoka, notranja struktura, na primer plastovitost pa se v veliki meri ohrani, zato se takšne gmote lahko ločijo od pobočnih breč, kjer je struktura povsem drugačna.

Za večjimi odlomi so se nakopičili tudi pobočni grušči in bloki, zato so lahko tako nastale oblike podobne gruščnatim in brečastim pokrovom. Največji taki obliki sta Šembijški zatrep in odlom nad Gladežnico.

Podorni bloki

Od strmih pobočij Nanosa se trgajo veliki bloki apnenca. Taki bloki se lahko zakotalijo daleč navzdol na fliš. Bloki, ki leže na površju, so relativno mladi in so nastali potem, ko so se glavni podorni in gruščnati pokrovi že oblikovali.

V sami trase ceste ni takih večjih blokov, ležijo pa nad njo, na območju Ravenc, Partov ter pod Šembijškim zatrepom.

Erozijske oblike

Celotno obravnavano površje je oblikovano v flišnih kamninah in ima površinski odtok, vendar pa so v večjem delu pobočij flišne kamnine različno debelo prekrite s karbonatnimi gruščmi. Ti grušči pa so močno vplivali na oblikovanje površja.

Flišne kamnine so neprepustne, zato se je na njih razvilo površinsko odtekanje in erozijske oblike. Velik del površja pa je brez površinskih tokov. Padavinska voda se namreč pretaka pod površino skozi prst in pobočne grušče. Ker je vodna količina, ki se zbere na kratkem flišnem pobočju, majhna in ker grušči dušijo iztekanje, je erozijska sposobnost vseh teh potokov majhna. Ker so povirni deli potokov manjši, večina potokov poleti presahne.

Vse to je vplivalo, da so na pobočjih, ki jih prečka trasa ceste, nastale sicer izrazite, vendar majhne, plitve erozijske reliefne oblike. Lahko jih razdelimo na erozijske struge, erozijske jarke in erozijske grape. Erozijske struge so korita, po katerih stalno ali občasno tečejo vodni tokovi. Nastali so z erozijskimi procesi.

V območju gradnje hitre ceste lahko govorimo le o erozijskih strugah in erozijskih jarkih. Erozijske grape so se oblikovale šele nižje v pobočjih, tik pred sotočji z Močilnikom.

Zlasti na pokrovih grušča in breč so plitvi jarki, ki pa so suhi oziroma neaktivni in porasli z vegetacijo. So verjetno ostanek drugačnih klimatskih razmer, lokalnih sprememb načina pretakanja ali pa so nastali v drugačnih pogojih ob izsekavanju gozdov. Hitra sprememba vegetacijskega pokrova bi lahko sprožila lokalno okrepljeno erozijo.

Grbinasta tla

Grbinasta tla so po obliki in nastanku lahko različna. Na flišnih pobočjih, kjer je debelejša plast prepereline in kjer je veliko talne vode, lahko pride do polzenje dela flišne prepereline. Nastanejo lahko s spiranjem drobnejših delcev v nehomogenih meliščih, podobno kot ledeniške grbine, ali pa zaradi polzenja celotne gmote pobočnega materiala po flišni podlagi.

Takšne grbine so na vseh gruščnatih pokrovih. So neenakomerne in pretežno odvisne od velikosti grušča ali skal, ki tak pokrov grade. Zlasti velike so na robovih pokrovov in tam, kjer so med gruščmi velike skale ali bloki breče.

ANTROPOGENE OBLIKE

Erozijsko preoblikovane poti

Ker so pobočja erozijsko občutljiva, so se številne gozdne ceste z erozijo poglobile v prave erozijske jarke. Takšne poti najdemo tako na flišnih kamninah kot tudi tam, kjer so prek fliša tanki pokrovi grušča.

Škarpe, groblje in suhi zidovi

Stalna poselitev, ki pomeni obenem tudi kmetijsko rabo tal obravnavanega območja, sega že v prazgodovino. Izpričana je z arheološkimi najdbami in ostanki gradišča nad Žingarco pri Razdrtem in Gradiščem nad Hraščami v neposredni bližini trase. Kmetijska raba tal Rebrnic, Brega in Vipavske doline je vplivala na njihovo obliko, najbolj opazni sledovi rabe površja pa so očiščene kamnite površine s kamenjem, zloženim v škarpe, groblje in suhe zidove.

Škarpe najdemo v območju trase ceste pred-

vsem na flišnih kamninah, kjer so z njihovo pomočjo izravnali tla v pobočjih v terase za njive. Takšne škarpe so nad cestarsko hišo nad Lozicami, pobočjih Gradišča nad Hraščami, pobočjih Slatne in v manjši meri nad vasmi Podboršt in Dobrova.

Groblje najdemo povsod na gruščih in brečah. Največje so na večjih pokrovih in uravnanih zatrepih. Kažejo na čiščenje in urejanje pašnikov in travnikov. Po količini največje groblje pa so na pobočjih nad vasema Podboršt in Dobrova.

NASTAJANJE BREČE

V prečnih prerezih pobočja, ki so jih razkrili cestni useki, je bilo pogosto mogoče razločiti več plasti grušča oziroma breč (slika 10.5). Njihova skupna debelina je največkrat dosegala 10 metrov, na posameznih delih, pri kopanju vodnjakov za stebre viadukta celo 25 metrov. Praviloma



Slika 10.5: Plasti breče.

se plasti razlikujejo po stopnjah sprijetosti grušča v brečo. Le posamezne plasti so bile razmeroma dobro sprijete. Karbonatno vezivo povezuje grušč v brečo najprej okoli večjih skal. Zemeljska dela so namreč pogosto razkrila več kubičnih metrov velike gmote breč, okoli katerih je bil še nesprijet ali slabo sprijet grušč. Med večjimi in manjšimi delci grušča ter skalami, ki tvorijo brečo, so votli prostori, deloma zapolnjeni s sigo (slika 10.6). Sprijetost v brečo je torej posledica starosti podorov, položaja globlje ali plitko pod površjem in značilnosti voda, ki enakomerno prenikajo s površja, ki je prekrito s tanko plastjo prsti in je poraščeno. Breča je na posameznih mestih že, seveda svojevrstno, zakrasela.

Voda, ki je prenikala skozi grušč in ga sprijemala, je s seboj prenašala in še prenaša raztopljen kalcijev karbonat. Vezivo klastov breče na pobočju Nanosa je torej skoraj izključno karbonatne narave. Breče so večinoma, razen na površju, že trdno vezane, izjemoma na površju imajo manjšo trdnost. Kosi v brečah so odlomki senonskih, turonskih in cenomanijskih apnencev ter najverjetneje tudi spodnjekrednih apnencev. Spodnjekredne plasti so v zgornji polovici pobočja Nanosa namreč razvite podobno kot zgornjekredni cenomanijski apnenci (Pleničar 1970; Buser 1973), zato na kartah niso ločeni med seboj (Buser idr. 1967; Buser 1968).

Med izvajanjem del smo vzdolž trase naleteli na več različkov breč. Material, ki gradi breče, je



Slika 10.6: Sestavni delci breče.

različnih velikosti: od drobnega peska do blokov metrskih dimenzij. Večina breč je še zelo poroznih. Klasti tam največkrat ne presegajo 5 do 10 cm premera. Med klasti ni drobnega materiala in klasti tudi niso prekriti s sigo. Podobno zgradbo kažejo na pogled podobne breče, le da so tam klasti popolnoma prekriti z milimetrom ali dvema plastovite, večinoma prozorne ali bele sige. Med njimi prav tako ni drobnega materiala (slika 10.7). Ta breča je zelo porozna. Kjer je voda med klaste prinašala tudi preperino s površja, drobnih odlomkov apnenca pa manj, je nastala le delno porozna breča. Na mestih, kjer so se med klaste premera nekaj cm vgradili tudi drobcici apnenca velikosti peska, so predeli breče bistveno manj porozni. Vsebujejo tudi med sigo vezano pre-



Slika 10.7: Med klasti breče skoraj ni drobnega materiala.



Slika 10.8: Nekatere breče vsebujejo tudi med sigo vezano preperino.

perino (slika 10.8). V nekaterih primerih je klaste med seboj povezal kalcijev karbonat, med katerega je voda nanašala večje količine preperine. Tudi v tem primeru so breče malo ali skoraj neporodne, vezivo je značilne rdečerjave barve. Med klasti so se ponekod oblikovale sigo prekrite votline, kjer lahko opazimo zametke večjih kalcitnih kristalov.

ZAKRASEVANJE BREČE IN VOTLINE

Na karbonatnih blokih na površju so žlebiči, ki kažejo na dolgotrajno oblikovanje skale z deževnico. V neposredni bližini trase se pojavljajo tudi škavnice (slika 10.9). Nimajo večjih dimenzij, kljub temu pa daljša os nekaterih škavnic znaša med 0,8 in 1 metrom. Večina je manjših.

Z vodami, ki večinoma razpršeno prenikajo s prepustnega površja, so se na posameznih mestih že začele oblikovati vrtače (sliki 10.10, 10.11). Te so majhne in prekrte s prstjo ter zato slabo izrazite na površju. Njihov premer dosega 3

metre. Pod njimi pa je, seveda zaradi zemeljskih del, v prečnem prerezu mogoče jasno razbrati navpične, meter do dva široke pasove svojevrstno spranega grušča in breče. To so torej sledi že strnjenega penikanja vode, kar je tudi posledica strjevanja grušča v brečo.

Odrplo se je več votlin. Razdelimo jih lahko na tri vrste, pri čemer ne upoštevamo majhnih,



Slika 10.9: Škavnica.



Slika 10.10: Majhne vrtače.



Slika 10.11: Pas breče pod vrtačo.

zgoraj opisanih votlin, ki so ostale med delci grušča in skalami.

Prve so spleti manjših votlin (slike 10.12, 10.13), ki so nastale v najbolj strjenih plasteh breče. So bolj ali manj okroglih prečnih presežkov. Njihov premer ni presegal pol metra. Najbolj pogosto jih najdemo in največje so ob razpokah in stikih plasti breče. Pogosto so zapolnjene z naplavino. To so prave kraške votline.

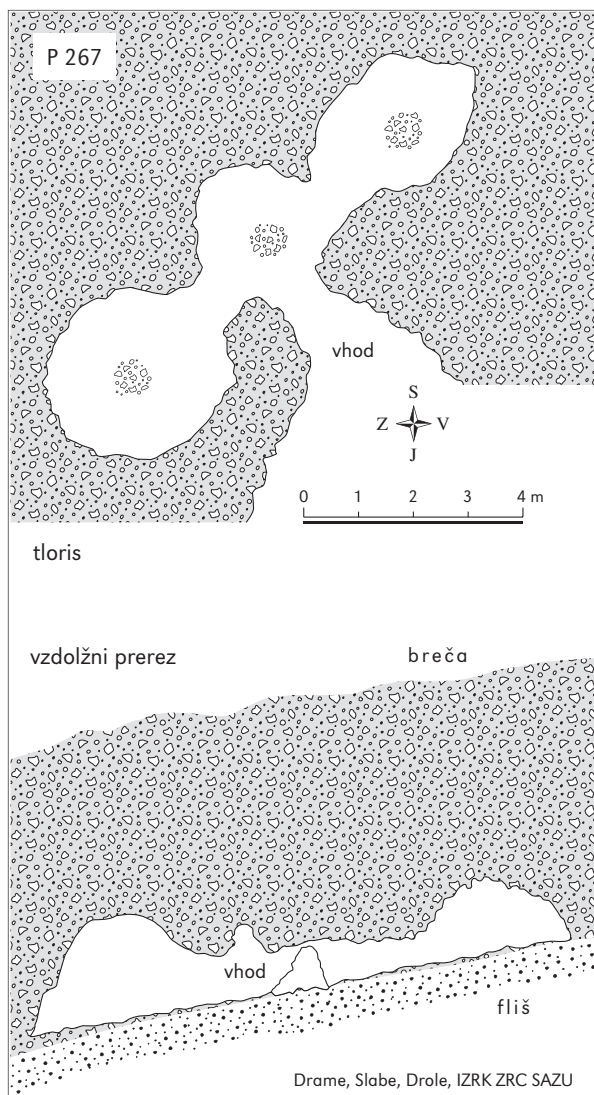
Druge najdemo na stiku fliša in breče nad njim. Največje so bile pristopne. Imele so oblike razvejanih, ponekod tridimenzionalnih spletoev manjših rovov s kupolastimi razširitvami (slike 10.14, 10.15, 10.16). Premer kupol je dosegal 3 metre. Še zlasti ob razpokah so kupole višje in ožje. Njihove stene so razčlenjene in hrapave, kot jih narekuje sestava breče. Sklepamo lahko, da so te jame nastale zaradi pretakanja vode na stiku s flišem in izpiranja delcev kamnine. Različna stopnja sprijetosti grušča v brečo se odlikava v obliki jam. Pod kupolami so, če se je na flišu ob manjših podorih nakopičila večja količina



Slika 10.12: Votlina, zapolnjena z drobnozrnato naplavino.



Slika 10.13: Z drobnozrnato naplavino zapolnjena jama.



Slika 10.14: Jama nad flišem.

kamnine, ki je voda ni odnesla, pogosto nastale večje kope sige.

Pri gradnji hitre ceste so se na odseku Vipava–Selo v breči, prav tako na stiku s flišem, odprle manjše votline s premerom do pol metra. Skoznje so se pretakali manjši vodni tokovi.

Ob vsem stiku lahko sledimo pretakanju manjših ali večjih količin vode. To je še zlasti izrazito po obilnejših padavinah. Fliš se kaže kot razmeroma slabo prepustna kamnina, še posebej, kjer je njegova zgornja plast preperela. Ob večjih strnjenih tokovih, ki so še zlasti izraziti v pobočnih zajedah, nastanejo pogoji za razvoj jam. Na več mestih je breča že odnesena in nad potoki nastanejo manjše doline, seveda je to izraziteje, kjer je plast breče in grušča nad flišem tanka.

Tretje pa so špranjaste votline (slika 10.17). Oblikujejo se ob razpokah, ki so nastale v breči. Pogosto so prečne na padec pobočja. Največje so dostopne. Večinoma pa so ožje, njihov premer ne presega decimetrskosti, globina pa je seveda odvisna od debeline plasti breče in značilnosti razpoke. Njihove stene so pogosto prevlečene s sigo, najmanjše pa sigo lahko zapolnjuje.

Remškar (2006) je za primerjavo zbral podatke o jamah v brečah Vipavske doline. Opretil je vrste jam in njihov nastanek. Deli jih na tiste, ki so nastale ob razpokah, na jame, ki jih je oblikoval vodni tok, in spodmole.

Siga pogosto zapolnjuje manjše prostore med delci kamnine, ki sestavljajo brečo. Kjer je prostor, nastajajo cevčice, ko so sestavni deli breče skale, pa manjše sigaste kope, katerih plastovitost ponekod kaže na sprva zapolnjeno votlino (slika 10.18). Na stenah pobočnih razpok pa so rebraste sigaste prevleke. Večje kope sige so bile seveda odkrite v jamah, ki so nastale ob stiku s flišem.

ZAKRASEVANJE FLIŠA IN STIKA S KARBONATI

Karbonatna sedimentacija, katere rezultat je nastanek apnencev, se je po odložitvi alveolinsko-numulitnega apnenca v cuisiju, pred približno 50 milijoni leti, končala. Začelo se je odlaganje fliša



Slika 10.15: Splet kupolastih rogov nad flišem.



Slika 10.16: Rov nad flišem.



Slika 10.17: Špranjasta jama.



Slika 10.18: Siga v breči.

in flišu podobnih sedimentov. Po odložitvi flišnih sedimentov se je morje iz jugozahodne Slovenije dokončno umaknilo.

Fliš leži v neposrednem stiku pod apnenecem, ponekod zasledimo tudi alveolinsko-numulitne breče kot vložek v flišu. Na stikih karbonatne (prepustne) in nekarbontne (neprepustne) kamnine tudi drugod po Sloveniji ugotavljamo močno hidrološko aktivnost. Vemo, da stik z neprepustno kamnino ni le vodna prepreka, temveč področje, kjer voda zastaja, hkrati pa lahko tam tudi izrazito niha, s tem spira in odnaša kamnino, tam lahko prihaja do sprememb pritiskov in voda oblikuje večje kanale. Po teh poteh se prenaša tako apnenec kot flišni delci. Kljub temu, da so flišne kamnine, ki so na krasu v stalnem neposrednem stiku s karbonati, pogosto predstavljene kot izključno neprepustni skladi, lahko poudari-

mo, da je fliš (marsikje manjših debelin) le izolirana leča na prepustnih karbonatnih kamninah. Poleg tega smo že na več mestih ugotovili, da se v flišnih kamninah prav tako oblikujejo, sicer manj številni, podzemni prevodni kanali, in da tudi na flišu zbrana padavinska voda lahko odteka v kras.

Kot primer lahko omenimo zanimiv flišni predel med pokritima vkopoma Šumljak in Boršt (slika 10.19). Tam prevladujejo laporne plasti sivo olivno in rumeno rjave barve. Peščenjakov je manj. Plasti so večinoma zelo tanke, debele od nekaj centimetrov do 15 centimetrov, le v jugozahodnem delu odkritega profila do okrog metra. Flišne plasti strmo vpadajo proti jugozahodu ter prehajajo v subvertikalno smer. Debelejše plasti so zelo tektonsko razlomljene, tanjše plasti, debele nekaj centimetrov, pa se iverasto krojijo. V jugo-



Slika 10.19: Fliš.

zahodnem delu profila so dobro vidni singenet-ski flišni klasti, ki pravokotno na vpad plasti kažejo izrazito značilno koncentrično preperevanje. Plasti niso le nagnjene do skoraj navpične lege, temveč tudi nagubane. Kjer koli so plasti razlomljene ali nagubane, se po razpokah ali razmiku med plastmi zaradi gubanja, pretaka voda. Močno pretakanje vode je, tudi najverjetneje zaradi navpičnih plasti, po medplastnih stikih. Voda, ki se pretaka po teh stikih, odnaša flišni material, širi razpoke ter hkrati obdobjno in lateralno različno odlaga kalcijev karbonat. Pogosto vidimo tudi več centimetrov debele kalcitne zapolnitve razpok. Razpoke so ponekod že popolnoma zapolnjene, drugod so v razpokah do centimetra veliki skalenoedrični kalcitni kristali; veliko razpok je prekritih s tanjšo (nekaj milimetrsko) plastjo sige. V laporjih, ki se izrazito školjkasto lomijo,

so marsikatero razpoke že zapolnjene z debelo-kristalnim kalcitom. Pomembno je poudariti, da je vezivo karbonatno in da je v marsikateri plasti lahko tudi znatno več kot 10 % delcev karbonatnega izvora. Med pretakanjem vode skozi razpoke in vzdolž prelomov torej ne poteka le erozija, temveč tudi korozija. Nedvomno pa zakrasevanje poteka v zelo majhnem obsegu.

Vzdolž razpok in prelomov, po katerih se pretaka padavinska in površinska voda, prihaja do močnega preperevanja kamnine v notranjost nepretrtega bloka kamnine. Po večini takšnih kontaktov se izloča kalcijev karbonat (siga).

V tanjših plasteh, ki se iverasto krojijo, je zakrasevanje v flišu praktično neopazno, tudi kalcitnih žil je manj. Takoj, ko je takšna plast izpostavljena atmosferi, začne precej hitro razpadati.

Kalcimetrične analize še niso dokončane.

Kljub temu in glede na analize vzorcev iz bližnje trase ceste pa predvidevamo, da laporji, predvsem pa peščenjaki, vsebujejo poleg kalcitnega veziva tudi znatno količino karbonatnih delcev. Zato fliš ni za vodo samo »neprepustna bariera«, temveč tam, seveda v bistveno manjšem in nekoliko specifičnem obsegu, kot je to v karbonatih, poteka tudi zakrasevanje.

SKLEP

Raznovrstnost slovenskega krasa, tako geološka, geomorfološka, speleološka in hidrološka, se je izkazala tudi pri proučevanju zakraselosti breč, ki nastajajo pod zahodnim pobočjem Nanosa. Voda, ki večinoma razpršeno prenika skozi prepustno površje grušča ali breče do bolj ali manj neprepustne flišne podlage, ustvarja mlade kraške pojave.

Večje kamninske bloke na kraškem površju deževnica prekriva z žlebiči in škvavicami. Površje se torej večinoma že dolgo časa ne premika izrazito. Razpoke, ki kamnino prečijo vzdolžno s pobočjem, pa kažejo na napetosti v kamninski gmoti in izpostavljenost plazenju. Breča in grušč sta namreč na nagnjenem flišu in na stiku z njim se pretaka večina voda, kar povzroča njegovo nestabilnost.

Trasa hitre ceste Razdrto–Vipava je prerezala celotno južno pobočje Nanosa na območju Rebrnic, Brega in del dna Vipavske doline. Ker bo hitra cesta potekala prečno na pobočja, bo v njihovih gornjih in spodnjih delih prerezala številne in različne reliefne oblike.

Morfološko kartiranje je prikazalo razporeditev in obseg različnih reliefnih oblik v območju trase in v njeni neposredni bližini. Nova cesta je spremenila številne reliefne oblike, vendar

ni bistveno spremenila največjih. Trasa jih seka prečno, tako da so večji pokrovi gruščev in breč ostali nespremenjeni. Drobne oblike so v trasi ceste popolnoma uničene, spremenjene pa tudi v njeni bližnji okolici. Gradnja ceste je tudi posredno vplivala na številne, zlasti fluvialne reliefne oblike. Zaradi sprememb v odtokanju s pobočij so verjetne spremembe starih in nastanek novih reliefnih oblik.

Na delih najbolj strnjene breče se prenikajoča voda združuje. Zemeljska dela so nam razkrila začetna obdobja oblikovanja svojevrstnih vrtač.

V mladi in le mestoma strjeni in močno porozni breči, ki leži na bolj ali manj nagnjenem flišu, torej na neprepustni osnovi, so se razvile značilne vrste votlin. Prave kraške votline so majhne in njihov razvoj je omogočila naplavina, ki se je odlagala na njihovem dnu in jih praviloma zapolnjuje. Nastale so na lokalno in občasno poplavljenem področju ali pa so paragenetsko povečane. Največje votline so nastale nad stikom z neprepustno flišno podlago, na kateri so se zbrali večji vodni tokovi. V njihovi obliki se odraža tudi raznovrstna strjenost breče. V delih manj kompaktnih breč in ob razpokah so povišane v kupole. Ob razpokah, ki so posledica drsenja breče in grušča po nagnjeni podlagi pogosto razmočenega fliša, so prečno na smer padca pobočja nastale špranjaste votline, nekatere zelo dolge in mestoma dovolj široke, da so pristopne. Njihove stene so praviloma prekrite s sigo.

Čeprav je opisani kras razmeroma mlad, razkrit v začetnih razvojnih obdobjih, pa nam razkriva vse značilnosti zakrasevanja breče v značilnih geoloških, geomorfoloških in hidroloških razmerah. Njegovo poznavanje širi poznavanje naše raznovrstne kraške naravne dediščine in je podlaga za nadaljnje načrtovanje posegov v okolje.

KRASOSLOVNE RAZISKAVE ZA IZDELAVO IDEJNEGA PROJEKTA AVTOCESTNEGA ODSEKA BIČ-HRASTJE, PODODSEK PONIKVE-HRASTJE, VARIANTA SV. ANA

MARTIN KNEZ, JANJA KOGOVŠEK, ANDREJ KRANJC,
METKA PETRIČ, TADEJ SLABE

Celotno področje nove trase avtocestnega pododseka Ponikve-Hrastje gradijo vodoprepustne karbonatne kamnine, ki ne izdajajo povsod enako pogosto. Marsikje na vzhodni strani Temeniškega podolja so velike reliefne oblike erozijske, kamninska podlaga, hidrografska funkcija in drobne površinske oblike so pa kraške – gre torej za fluviokras oziroma fluviokraške oblike, ki so ravno tod med najlepše razvitimi v Sloveniji.

Kraške vode, ki poniknejo na obravnavanem območju, se raztekajo na širše področje jugovzhodne Slovenije in napajajo nekatere, z vodoskrbovalnega vidika pomembne kraške izvire, hkrati pa napajajo skupni podzemni kraški vodonosnik, ki predstavlja pomemben vir črpanja pitne vode v tem delu države.

Problem mogočega negativnega vpliva na podzemna kraška vodna zajetja, kot eno najpomembnejših vprašanj pri proučevanju kraških terenov, je na področju avtocest še posebej izpostavljen.

Predvidena avtocesta naj bi se po do sedaj zbranih podatkih različnih tematskih študij torej gradila na ekološko izredno ranljivem kraškem ozemlju.

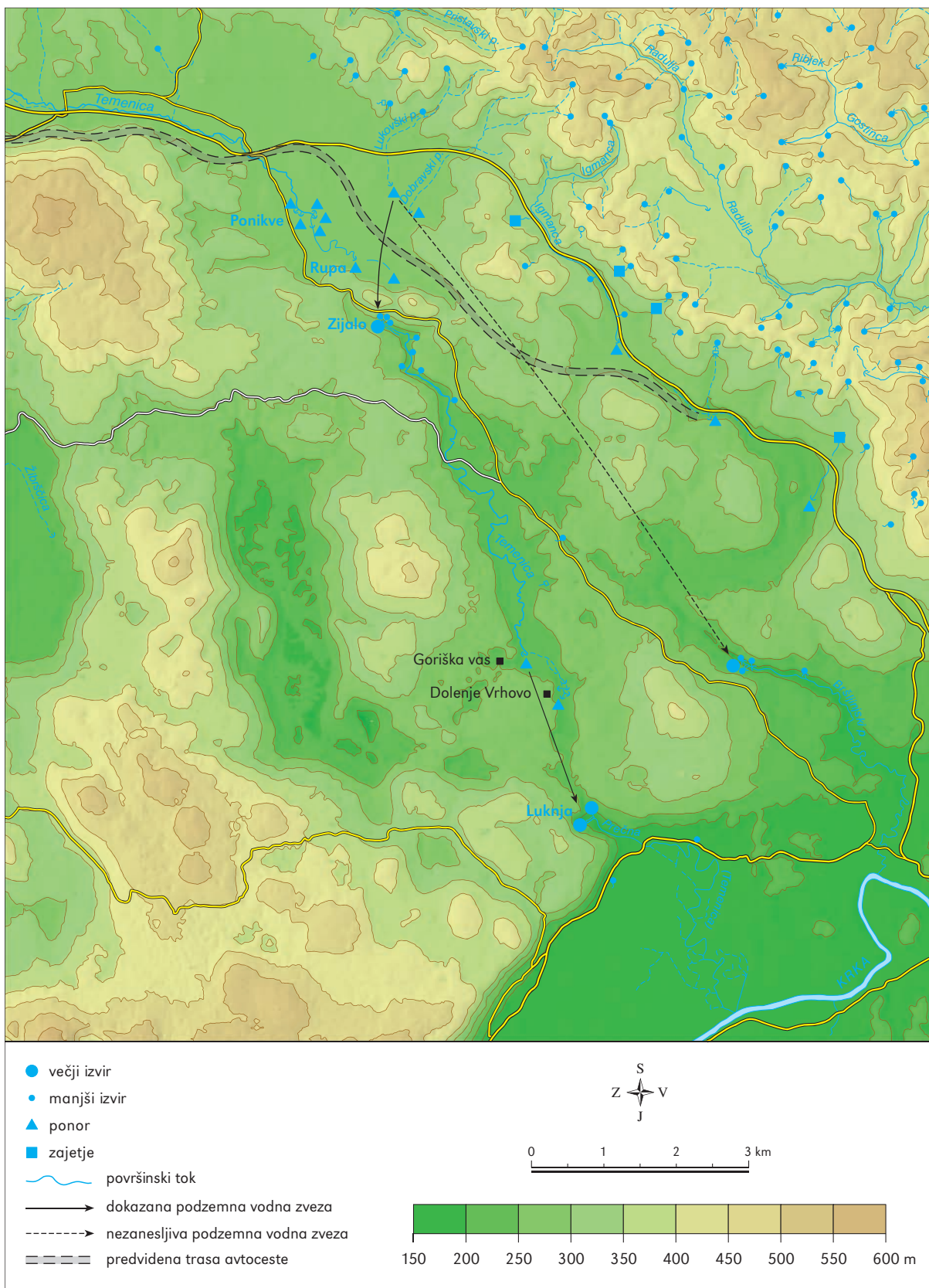
GEOMORFOLOŠKE RAZMERE

Pokrajina, po kateri bo potekal odsek avtoceste Ponikve – Hrastje sodi k osrednji Dolenjski.

Leži na stiku večjih pokrajinskih oziroma geomorfoloških enot: Posavskega hribovja, kjer prevladuje erozijski (normalni) relief, in dolenjskega dela slovenskega Dinarskega gorstva, kjer prevladuje kraški relief.

Stik teh pokrajinskih enot ni oster, ampak postopen in zato obravnavano ozemlje ni le »stik« oziroma ne moremo reči, da del te pokrajine sodi k Posavskemu hribovju, del pa k Dolenjskemu krasu, ampak je to posebna, sama po sebi enotna pokrajina, v kateri pa se zlivajo in sestavljajo morfološki elementi obeh sosednjih enot. Zaradi tega je tudi nastal poseben tip pokrajine, kjer prevladujejo oziroma za katerega so značilne posebne oblike – fluviokraške oblike. Tak prehod med obema večjima entotama seveda ni le na območju avtocestnega odseka Ponikve-Hrastje (slika 11.1), ampak širše na tem delu Dolenjske. S skupnim imenom ga lahko imenujemo Dolenjsko podolje. Zaradi svoje notranje enotnosti ima obravnavana mala pokrajinska enota tudi ime Temeniško podolje.

Slovenski geografi in geomorfologi so za ta del Slovenije predlagali različne regionalizacije, strinjajo pa se, da gre za stično področje, v okvi-



Slika 11.1: Predvidena trasa avtoceste k Temeniškemu podolju.

ru tega področja pa za samostojno pokrajinsko in geomorfološko enoto, ki so jo pa različno poimenovali: Temenica (Melik 1961, 1962), Nizki Dolenjski kras (Ilešič 1958), Temeniško podolje, Dolenjsko podolje, Srednjedolenjski fluviokras, Dolenjsko podolje (Gams 1959, 1962a, 1962c, 1986, 1987; Kladnik 1996).

Ne glede na ime je med Posavskim hribovjem na severu in severovzhodu ter Dinarskim krasom na jugu in jugozahodu pas nižjega sveta – podolje, ki se vleče od Ljubljanskega barja do Krške kotline.

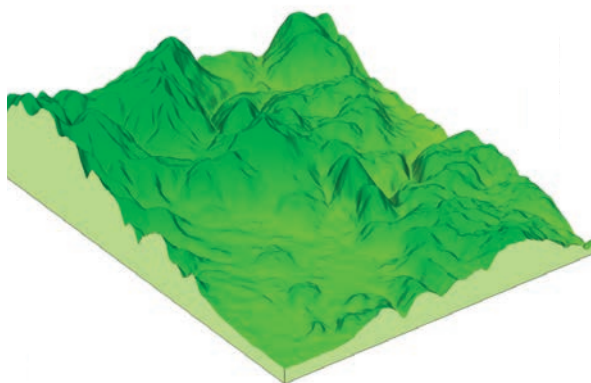
Tako kot v celotnem oziroma v tem »velikem« Dolenjskem podolju, so take prehodne ali stične značilnosti v manjšem merilu nakazane tudi v tej pokrajini, kjer je načrtovani odsek avtoceste Ponikve–Hrastje. Ker je to del večjega Dolenjskega podolja se za ta, manjši del, zdi najprimernejše ime Temeniško podolje.

Temeniško podolje je absolutno in relativno nižji svet, dna dolin oziroma depresij so v glavnem pod 300 metri nadmorske višine, griči in vzpetine v podolju pa ne presegajo 100 metrov relativne višine. Tudi glede na okoliške reliefne

enote podolje ni bistveno poglobljeno, saj relativne višinske razlike ne presegajo 300 metrov. S severa in severovzhoda ga omejujeta Mirensko hribovje (Rihpovec 492 m, Poljanska gora 477 m) in Radulja, z juga in jugozahoda pa vzhodna Suha krajina (Ajdovska planota – Srobotnik 593 m oziroma Golobinjek 461 m nad Mirno pečjo).

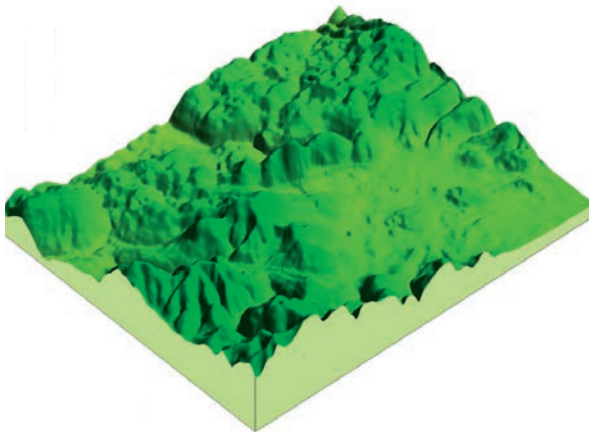
S severa in severovzhoda segajo v Temeniško podolje reliefne oblike, značilne za Posavsko hribovje, z druge strani, z juga in jugozahoda pa se širi kras. V prvem primeru gre za odrastke – lepo zaobljena in uravnana stranska slemena in hrbte Mirenskega hribovja (Jagodnik 374 m, Hrib 400 m) in vmesne doline z relativno strmimi pobočji in razmeroma ozkim, a ravnim dnom – aluvialno poplavno ravnico – z bolj ali manj debelim aluvialnim nanosom. Tudi z vidika nasipanja oziroma nanašanja sedimentov se lepo kaže prehodnost te pokrajine: vode, ki pritekajo oziroma so pritekale (v geološki preteklosti je prišlo do večih pretočitev iz enega porečja v drugega) s Posavskega hribovja, so na krasu odlagale kremenov prod in pesek (Šifrer 1970). Lepi primeri so dolinice Lukovškega in Dobravskega potoka ter Igmance. To so značilne, lepo razvite oblike normalnega – erozijskega – reliefa, značilne za Posavsko hribovje in za »nekraški« del Dolenjske sploh, za relief, ki je značilen za Dolenjsko in mu često rečemo »dolenjsko gričevje« (slika 11.2).

Vendar se ti reliefni elementi ne zaključujejo z večjo dolino, kot bi pričakovali, ampak se relief na karbonatnih kamninah spremeni v kraški relief. Tudi potoki, ki tečejo po dolinah iz Mirenskega gričevja, se ne izlivajo v večji tok, potok ali reko, ampak vsi prej ali slej, odvisno od geološke podlage, od sedimentov v dnu doline in od količine vode, poniknejo v kraško podzemlje. Običajno se »normalna« dolina nadaljuje s suho dolino (to je kraška oblika), po kateri ob poplavih in višjih vodah občasno še teče voda, ki je požiralniki ne morejo sproti požirati. Tako npr. Lukovski in Dobravski potok običajno ponikneta takoj, ko pritečeta na karbonatno podlago, medtem ko se ob poplavih njun tek podaljša za oko-

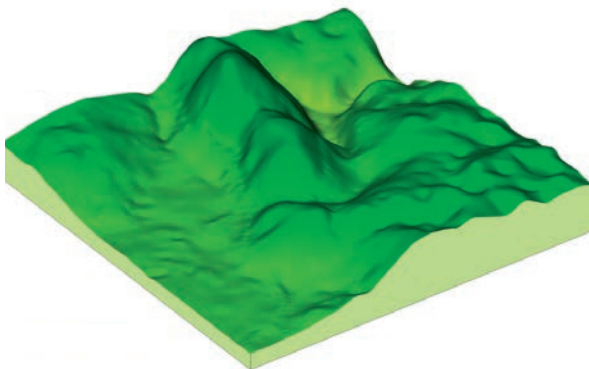


Slika 11.2: Pogled prek Temeniškega podolja z jugozahoda. V ospredju je široka slepa dolina Temenice, na desni je del uravnane površja kraške planote Suhe krajine, na levi je normalni (erozijski) relief Mirenskega gričevja in Radulje (griči, slemena, erozijske doline).

li kilometer do kilometra in pol, do vasi Jezero, kjer končno ponikneta. Še lepši primer je potok Igmanca, ki običajno ponika pod Šentjurijem, ob poplavih pa teče dalje po dolini še okoli dva ki-



Slika 11.3: Pogled prek Temeniškega podolja s severa. Spredaj desno je slepa dolina Temenice, onstran Sv. Ane sta vidna rob in planotasto kraško površje Suhe krajine.

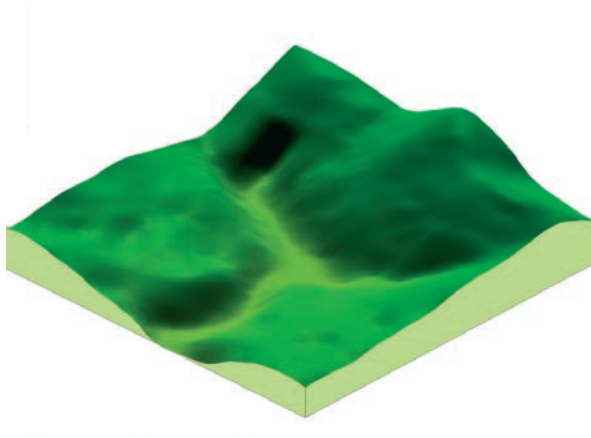


Slika 11.4: Podrobnejši pogled (z zahoda) na »pregrado«, ki jo sestavlja Sv. Ana s sosednjimi kopastimi griči: na levi strani je skrajno dno (ponorni del) slepe doline Temenice, onstran pregrade (na desni) je vidna zatrepna dolina Temenice (kjer ta ponovno izvira). Med slepo in zatrepno dolino je lepo vidna kraško poglobljena slepa dolina v zahodnem vznožju Sv. Ane.

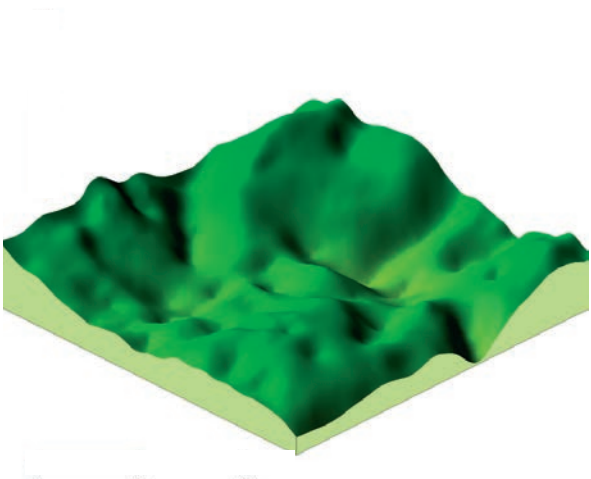
lometra in ponika pod Selom. Marsikje na vzhodni strani temeniškega podolja so velike reliefne oblike erozijske, kamninska podlaga, hidrografska funkcija in drobne površinske oblike so pa kraške – gre torej za fluviokras oziroma fluvio-kraške oblike (Melik 1959), ki so ravno tod med najlepše razvitimi v Sloveniji. Kras, ki je na stiku nekarbonatnih in karbonatnih kamnin oziroma ki je razvit na karbonatnih kamninah v sosesčini nekarbonatnih, imenujemo kontaktni kras. Spodnji del doline Temenice oziroma njena slepa dolina pod Ponikvami je tudi primer takega krasa oziroma je izrazita oblika kontaktnega krasa. Temenica priteče od Trebnjega po dolini, vrezani v nekarbonatno kamninsko podlago, ko preide na karbonatne kamnine, je vanje vrezala slepo dolino, na koncu katere tudi ponikne.

Zahodni rob Temeniškega podolja tvori jo odrastki kraških planot Suhe krajine. Tod je planota razmeroma nizka in ne preveč značilno razvita, predvsem pa ni opazne ostre razlike med podoljem, strmimi pobočji in planoto. Prevladujejo zaobljene oblike in počasni prehodi med posameznimi reliefnimi enotami in z ostanki fluvialnih elementov: suhe doline, ki se odpirajo v Temeniško podolje (pri Dolenjih Ponikvah, pri Kurji vasi in nad Hrastjem), suha dolina jugozahodno pod Sv. Ano (slika 11.3).

Osrednji del Temeniškega podolja je kraški. Menjavajo se ravni deli, kot npr. slepa dolina z ravnim dnom pred požiralniki Temenice pod Sv. Ano (trikotnik Sv. Ana – Jezero – Gorenje Ponikve, to je največja slepa dolina na Dolenjskem), kjer poleg Temenice občasno ponikajo tudi vode že omenjenih Lukovškega in Dobravskega potoka. Široka dolina je tudi ob spodnji Temenici (med Vrhpečjo in Vrhovim) in ob spodnjem delu Igmanca. Vmesni del Temeniškega podolja predstavlja nižji zakraseli del s položnimi griči. Izjema je niz kopastih vrhov, pod katerimi teče pod zemljo Temenica med požiralniki pod Sv. Ano in ponovnim izvrom izpod Zijala pri Vrhpeči. To je niz štirih gričev, od Smedovca (335 m) na severozahodu do Peščenjaka (376 m) na jugovzhodu, s



Slika 11.5: Podrobnejši pogled (z juga) v konec zatrepne doline Temenice (Zijalo) pod Sv. Ano.



Slika 11.6: Primer uravnane kraške površja robnega dela suhokrajinske planote zahodno nad dolino spodnje Temenice – Gabrje z nizom vrtač v osrednjem delu.

Sv. Ano (407 m) kot najvišjim. Temeniška dolina se šteje tudi za vzhodno mejo slovenskega strnjenege krasa.

Manjše površinske kraške oblike (mezooblike) predstavljajo manjše vrtače, ki so predvsem na uravnanih delih in jih je lahko tudi do nekaj 10/km². Manj je večjih vrtač oziroma zaprtih depresij, dolov. Značilen primer je dol nad Zijalom,

ki je okoli 500 metrov dolg, do 300 metrov širok in okoli 20 metrov globok.

Tako morfološke kot tudi hidrografske oblike obenem so kraški izviri in požiralniki, ki so ravno za fluviokras značilni in pogosti. V Temeniškem podolju je predvsem veliko požiralnikov različnih oblik, od takih v aluviju in v obliki skalnih špranj do pravih ponornih jam. Po svoji funkciji so stalni ali občasni. Posebna pozornost velja kraškemu izviru pod spodmolom Zijalo pod Sv. Ano, iz katerega (ponovno) izvira Temenica. Zato tudi ne čudi, da so izvir s spodmolom in ožja okolica zaščiteni kot naravni spomenik (UL RS 38/92) (Skoberne, Peterlin 1991).

Marsikje v Temeniškem podolju lahko govorimo tudi o plitvem krasu oziroma o razmeroma plitvem piezometričnem nivoju, o »gladini kraške podzemelske vode«, ki je relativno blizu površja. Tudi to je pogosto ena od značilnosti fluviokrasa. Zaradi tega so tudi bolj opazne morfološke spremembe, ki pričajo o tem, da v Temeniškem podolju poteka relativno močno zakrasevanje, se pravi, da kraški procesi prevladujejo nad fluvialnimi, erozijskimi in da kraško izvotljevanje (korozija) prevladuje nad sedimentacijskimi procesi. Gre za relativno mlade morfološke spremembe (ki jih človek lahko neposredno opazi in opazuje), ki se obenem izražajo tudi v hidrografskih spremembah (slike 11.4, 11.5, 11.6).

Značilna sta dva primera: leta 1959 se je 30 metrov dalje od požiralnika v Ušivku nenadoma odprl tri metre globok grez. Drugi primer je potok Igmanca, ki je nekdanje tekla običajno precej dlje od Šentjurija, sredi tega stoletja pa se je pri cerkvi v Šentjuriju odprla rupa, ki zdaj požira vso njeno vodo (Savnik 1962).

Take spremembe pa niso značilne le za Temeniško podolje, ampak so značilnost tudi drugih delov plitvega oziroma prehodnega Dolenjskega krasa, kot pričajo primeri iz Škocjana pri Turjaku in z Žalnskega polja. Ravno zaradi tega pa je treba biti pri gradnjah na takem terenu še posebej previden (primer greza, ki se je odprl v cestišču – prehitevalnem pasu – na avtocesti Lju-

bljana–Razdrto pri Stari vasi pri Postojni), obenem pa to potrjuje, da je na takih ozemljih kraška talna voda še posebej ranljiva in ogrožena zaradi onesnaževanja. Promet oziroma avtocesta pa sta gotovo dva zelo pomembna dejavnika ogrožanja.

JAME

V trasi avtoceste ali blizu nje sta dve jami. Prva je Zgončarica (kat. št. 2362). To je ena večjih jam v tem delu krasa. Jama je sestavljena iz 20 metrov globokega vhodnega brezna in rova na dnu jame. Sigo v jami razjeda prenikajoča voda. 25 metrov južno od južne različice trase je Zgonuha (kat. št. 2187). Na dnu obsežnega vhodnega brezna s premerom pet metrov je manjši rov. Rov, ki poteka proti severovzhodu, v njem pa je odložena siga, je oblikoval vodni tok. Stene brezna je oblikovala polzeča voda.

V okolici trase pa je še 13 jam. Poznavanje jam, ki so blizu trase, nam pomaga poglobiti znanje o prevotljenosti tega dela krasa. To je pomembno tudi pri gradnji cest, ko se pri zemeljskih delih praviloma odprejo številne jame.

Najdaljša je vodna jama Risanica, ki meri 150 metrov. Tudi Velban kevder, ki je v njeni bližini, je dolg več kot 150 metrov. Ostale jame so krajše od 50 metrov. Risanica je globoka 30 metrov, Zgončarica 23, Velban kevder in Zvonuha pa 17 metrov, ostale so globoke manj kot 10 metrov. Jamski rovi so razmeroma majhni, njihovi premeri največkrat merijo od meter do tri metre. Vodne jame so med nadmorskima višinama 255 metrov in 264 metrov, le Gabroviška jama, ki je ponor sredi ravnice, prekrte z naplavinami, pri vasi Jezero, je višje, na 273 metrih nadmorske višine. Višje so stare, danes suhe jame.

Jame lahko razdelimo na vodne jame in stare jame, ki so danes suhe, v njihovi obliki in naplavinah pa so ohranjene sledi pretakanja vode. Do nekaterih starih, nekoč vodnih jam, vodijo mlajša brezna.

Večina vodnih jam je v strugi Temenice, ki ponika v Rupah na Zemljančevem travniku (kat. št. 2365, 2366). Le ob dolgotrajni suši že pred njima. Ponora sta umetno razširjena in prekrita z rešetkami, ki zadržujejo plavje. Pod obzidanim breznom sta vodoravna vodna rova, ki sta razčlenjena s špranjami. Tako razčlenjeni so tudi prečni prerezi rovov. Na koncu stare struge Temenice sta še dve največji vodni jami. Visoke vode ponirajo v udornici blizu Velbanega kevdra (kat. št. 2189), do Risanice (kat. št. 2348) pa naj bi pritekale le še najvišje površinske vode, kakršne naj bi bile zadnjič leta 1932.

Na dnu Velbanega kevdra je jezero, ki ima gladino vode, ta seveda niha, na nadmorski višini 244 metrov. Ob najvišjih vodah je njegov vhod poplavljen. Rovi, ki so nastali ob lezikah in razpokah, so bili oblikovani z vodnimi tokovi. Na njihovem stropu so kotlice. Risanica je največja jama v tem delu krasa. Je razčlenjen splet navpičnih, poševnih in vodoravnih rovov. Na njenem dnu so tri jezera. Stene rovov členijo fasete, ki kažejo na pretakanje vodnih tokov skozi rove v času visokih voda. Tla jame so prekrita z ilovico. Za jama so značilna izrazita nihanja gladine podzemeljske vode. Tudi v Požgajski jami (kat. št. 5147) so v ilovici, ki pa je že prekrita s sigo, sledi njenega občasnega poplavljenja.

Nekoliko višje (tabela 11.1), na robu struge, pa so stare jame. V večini jam so sledi nekdanjega pretakanja vodnih tokov. To so Jama pod Rupami (kat. št. 6579), Zgonuha (2187), ki ima star rov na dnu večjega brezna, Požiralnik Temenice na Požganju (2344), Mala Risanica pa je spodmol.

Vodna je tudi Gabroviška jama (kat. št. 6233). To je manjši ponor pri vasi Jezero. Vanj ponira Lukovski potok, ki priteče po podolju s severa. Na površju ga ohranja naplavina, ki prekriva karbonatne kamnine. Te so pri ponoru razgaljene.

Tudi ostale jame so oblikovali nekdanji vodni tokovi. Na zakraselem gričevju, zahodno in severozahodno od vasi Jezero, sta to Zemljančeva jama (kat. št. 2188) in mrežasto špranjasti splet rovov, ki jih je oblikovala tekoča voda v Luknji v

Cerkvenem dolu. V to skupino jam sodita tudi že opisani Jama pri desnem kamnu in Zgončarica (kat. št. 2362), jama na zakraselem gričevju, jugozahodno od Dolenje vasi pri Mirni peči. Zaradi znižanja gladine podzemelske vode so te jame suhe. Klopušna jama je manjša udornica, severovzhodno od Mirne peči.

Prevotljeno je torej celotno področje na karbonatnih kamninah. Vode se pretakajo tudi pod predeli, ki jih prekrivajo naplavine in po katerih tečejo površinski tokovi. Ti ponikajo ob razgaljenih karbonatih. Na zakraselem, največkrat višjem površju, kjer je več naplavine ohranjene le v vrtačah, padavinske vode neposredno prenikajo v tla.

Med znanimi jamami prevladujejo tiste, ki jih oblikujejo ali pa so jih nekoč oblikovale vode, ki so se pretakale skozi. Na gričevnatem, višjem delu pa je med škrapljami prav gotovo več

manjših brezen, ki bi jih lahko odkrila tudi zemeljska dela.

Jame so največkrat del razvejanih, mrežastih spletov rovov, ki so nastali ob lezikah in razpokah. Rovi, ki so manjših velikosti, so torej vodoravni, navpični ali pa poševni. Velikokrat ohranjajo, seveda poleg tistih, ki so jih značilno oblikovali vodni tokovi, špranjaste oblike. Za ves predel je značilno znatno, na podnebje vezano kratkotrajno nihanje gladine podzemelske vode, ob hkratnem počasnem zakrasevanju, torej njenem nižanju. Najvišje ležeče jame so zato suhe, tiste ob gladini podzemelske vode so večkrat poplavljeni, ostale pa so seveda pod gladino vode.

Sklepamo lahko o dobri prevotljenosti krasa. Pri zemeljskih delih, ki bi se zasekala v karbonatne kamnine, se bodo po naših izkušnjah prav gotovo odprle jame.

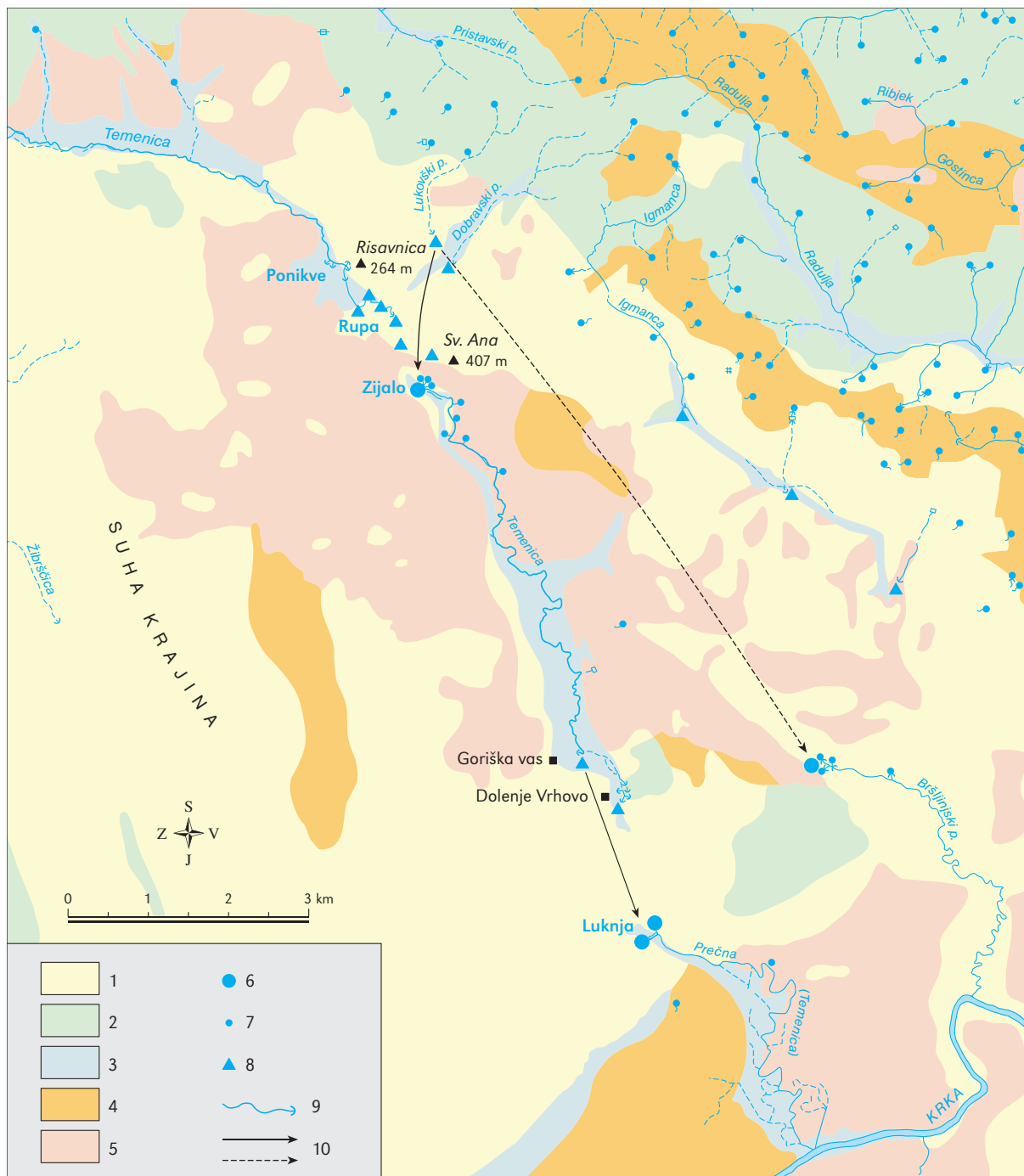
Tabela 11.1: Jame v trasi.

Katastrska številka	Ime	Vrsta jame	X	Y	Nadmorska višina	Dolžina	Globina
393	Jama pri desnem kamnu	stara jama	5084175	393	270	14	5
1764	Klopušna	udorna jama	5080560	5508150	340	10	5
2187	Zgonuha	stara jama	5082635	5505432	275	38	17
2188	Zemljančeva jama	stara jama	5083850	5504912	290	13	5
2189	Velban kevder	vodna jama	5082620	5505130	255	113	17
2343	Luknja v Cerkvenem talu	stara jama	5083850	5504875	295	46	14
2344	Požiralnik Temenice na Požganju	stara jama	5082475	5505275	260	12	7
2348	Risanica	vodna jama	5082300	5505340	258	150	30
2362	Zgončarica	stara jama	5081134	5507442	310	40	23
2365	Rupa 1 na Zemljančevem travniku	vodna jama: stalni ponor	5083150	5504250	264	31	7
2366	Rupa 2 na Zemljančevem travniku	vodna jama: občasni ponor	5083175	5504240	264	31	7
5147	Požganjska jama	stara jama	5082470	5505300	260	22	7
5238	Mala Risanica	spodmol	5082350	5505375	250	5	1
6233	Gabrovška jama	vodna jama: stalni ponor	5083500	5505390	273	6	6
6579	Jama pod Rupami	stara jama	5082900	5504450	260	13	0

HIDROGEOLOŠKE IN HIDROLOŠKE RAZMERE

Območje načrtovanega avtocestnega odseka

omejujeta dva površinska vodotoka: Temenica in Igmanca (slika 11.7). Oba sta značilna ponorna vodotoka, ki v zgornjem površinskem toku zbirata vodo iz številnih manjših pritokov, ob pre-



Slika 11.7: Hidrogeološka karta območja načrtovanega avtocestnega odseka. Legenda: 1. kraški vodonosnik, 2. razpoklinski vodonosnik, 3. medzrnski vodonosnik, 4. zelo slabo prepustne kamnine – hidrogeološka pregrada, 5. zelo slabo prepustne kamnine – viseča hidrogeološka pregrada, 6. pomembnejši kraški izvir, 7. izvir, 8. ponor, 9. površinski tok, 10. dokazana in nezanesljiva podzemna vodna zveza.

hodu na zakrasela tla pa ponikneta in se podzemno pretakata proti kraškim izviro. Glede na ugotovljene hidrogeološke značilnosti lahko to ozemlje opredelimo kot prehodno območje med nekraškimi in kraških pretočnim režimom. Nekoliko slabše prepustni dolomiti triasne starosti in zelo slabo prepustni paleozojski klastiti v zgornjem toku Temenice in Igmanice ter njihovih površinskih pritokov (Buser 1969) omogočajo površinsko zbiranje voda. Razmere pa se značilno spremenijo ob prehodu v zakrasele, dobro prepustne apnenice pretežno jurske starosti. Ti so sicer ponekod prekriti s pliocenskimi in kvartarnimi naplavinami (Pleničar idr. 1976), ki pa imajo zaradi majhne debeline značaj viseče hidrogeološke pregrade in samo lokalni vpliv na hidrogeološke razmere. S prehodom na apnenice se začneja značilni kraški teren s številnimi ponori in kraškimi izviri, ob njih pa so razvite tudi kraške jame in brezna. Površinski in podzemni tokovi se zdru-

žujejo v dolinah Temenice in Igmanice, zato območje med obema rekama nima voda na površini in se očitno razlikuje od nekraškega dela s številnimi manjšimi izviri in potoki. Značilna kraška pokrajina je tudi ajdovski del Suhe krajine, ki napaja Temenico z jugozahodne strani.

Zgornji tok Temenice ponika pri Ponikvah na zakraselih jurskih apnencih v številnih požiralnikih. Kateri izmed njih so aktivni, je odvisno od hidroloških razmer, ki se odražajo na vodostaju reke. Ob nizkem vodostaju v celoti ponikne v ponoru Rupa I na nadmorski višini 264 metrov (slika 11.8), ob najbolj nizkih vodah pa celo v požiralnikih na desni strani struge približno 150 metrov po toku navzgor. Z višanjem vodostaja ti ponori niso več sposobni požirati celotne količine vode in reka zalije tudi regulirano nadaljevanje struge, ki je ob nizkem vodostaju suho. Površinski tok dosega vedno več ponorov, ki postanejo aktivni. Nekateri izmed njih ob zelo viso-



Slika 11.8: Ob nizkih vodah predstavlja skrajno točko zgornjega dela površinskega toka Temenice ponor Rupa pri Ponikvah.

kem vodostaju celo spremenijo svojo hidrološko funkcijo in začnejo delovati kot izviri. Skrajno točko zgornjega dela površinskega toka Temenice ob najvišjih vodah predstavlja udornica pod Mačkovo jamo. Od udornice je še 600 metrov fosilne struge do jame Risanica.

Po približno dveh kilometrih podzemnega toka se na južnem obrobju Sv. Ane na koti 245 metrov Temenica spet pojavi na površju v pravem povirju z več stalnimi in občasnimi izviri, ki ga opisujemo kot izvire Zijalo (slika 11.9).

Od izvirov teče nato reka površinsko do požiralnika pod Goriško vasjo, kjer na nadmorski višini 230 metrov v celoti ponikne (slika 11.10). Le ob zelo visokem vodostaju teče še približno kilometer po strugi v ponikve pod Dolenjim Vrhovim. Na srednjem odseku reka nima nobenega površinskega pritoka.

Od ponora pod Goriško vasjo do izvirov v Luknji, kjer Temenica na koti 180 metrov spet pride na površje, je približno dva in pol kilometra zračne razdalje. Pri tem dobi reka tudi novo ime

Prečna (slika 11.11). Poleg stalnega izvira Prečne pod Lukenjskim gradom je še nekaj občasnih izvirov, od katerih lahko omenimo izvir iz Jame pod gradom Luknja. Reka Prečna se pri Zalogu 4 kilometre vzhodno od Novega mesta izliva v reko Krko.

Manjši potok Igmanica teče po površju približno 10 kilometrov vzhodno od Temenice. Nato ponika v požiralnike med Dolenjo vasjo in Zagorico ter se po podzemnem odseku toka verjetno spet pojavi na površju v izviri Bezgavške vode. Ti napajajo Bršljinski potok, ki se pri naselju Bršljin izliva v Krko.

Poleg manjših pritokov, ki se stekajo v Temenico in Igmanico površinsko, sta zanimiva še Lukovski in Dobravski potok. Nimata neposredne površinske zveze z obema večjima vodotokoma, pri vasi Jezero pa ponikata in ju napajata podzemno. Povezava je bila potrjena s sledilnim poskusom, ki je opisan v nadaljevanju.

Večji kraški izviri se na obravnavanem območju pojavljajo le kot skrajne točke podzemne-



Slika 11.9: Izvirno območje Zijalo sestavlja več stalnih in občasnih izvirov, ki se združujejo v reko Temenico.

ga toka Temenice (izviri Zijalo in izviri v Luknji) in Igmanice (izviri Bezgavške vode). V tem predelu je tudi manjši izvir pod Sv. Ano. Številni manjši izviri severovzhodno od Igmanice zbirajo vode s hribovitega, pretežno dolomitnega terena in napajajo prej omenjene površinske pritoke. Nekateri od teh izvirov so zajeti tudi za lokalno vodooskrbo posameznih vasi.

Hidrološke meritve

Merjenje pretokov Temenice izvaja Agencija Republike Slovenije za okolje. Pretok v zgornjem toku merijo pri Rožnem vrhu pred Trebnjem, v Prečni pa še pretok spodnjega toka reke Temenice ali z drugim imenom Prečne (slika 11.7). Iz Hidroloških letopisov Slovenije za leta od 1990 do 1995 (Hidrometeorološki zavod RS 1995–1997) smo povzeli podatke o minimalnih in maksimalnih pretokih za 30-letno obdobje 1961–1990 in jih primerjali z izmerjenimi ekstremnimi vrednostmi za leta med 1990 in 1995. Za obdobje 1990–1995 smo na osnovi podatkov iz letopisov izračunali še srednje mesečne pretoke za obe lokaciji. Dobljene vrednosti so prikazane v tabelah 11.2 in 11.3 ter na sliki 11.12.

V obdobju od 1961 do 1990 je bil torej najmanjši pretok Temenice pri Rožnem vrhu 60 l/s in Prečne v Prečni 560 l/s, največji pa za prvo 14 m³/s in za drugo 21,8 m³/s. Glede na te skrajne vrednosti lahko za Temenico od 1990 do 1995 leta ocenimo z najmanjšimi pretoki pod dolgotrajnim ekstremom in visokimi vodami, precej manjšimi od maksimuma v obdobju od 1961 do



Slika 11.10: Glavni ponor srednjega dela površinskega toka Temenice pod Goriško vasjo.

1990. Pri Prečni so razmere nekoliko drugačne, saj ekstremno nizke vode v letih od 1990 do 1995 niso bile zabeležene.

Na levem diagramu slike 11.12 so pretoki Temenice in Prečne izraženi v enakem merilu, zato lahko jasno vidimo velike razlike v pretoku zgornjega in spodnjega dela toka reke. Primerja-

Tabela 11.2: Minimalni in maksimalni pretoki Temenice in Prečne.

	Temenica	Rožni vrh	Prečna	Prečna
	Q_{\min} (m ³ /s)	Q_{\max} (m ³ /s)	Q_{\min} (m ³ /s)	Q_{\max} (m ³ /s)
1961–1990	0,06	14,00	0,56	21,8
1990	0,07	4,18	1,28	17,9
1991	0,09	4,18	0,86	18,9
1992	0,03	4,13	1,22	18,7
1993	0,001	4,44	1,12	18,4
1994	0,06	5,11	1,23	16,4
1995	0,06	7,44	1,35	16,7

Tabela 11.3: Srednji mesečni pretoki za obdobje od 1990 do 1995.

	Temenica Q (m ³ /s)	Prečna Q (m ³ /s)
Januar	0,73	4,65
Februar	0,42	3,15
Marec	0,80	3,84
April	0,68	4,45
Maj	0,56	3,81
Junij	0,75	4,01
Julij	0,40	2,14
Avgust	0,31	1,85
September	0,49	2,72
Oktober	0,86	3,99
November	1,16	6,29
December	1,05	5,72

va potrjuje ugotovitev, da reka Temenica v svojem celotnem toku zbira tako površinske kot tudi podzemne pritoke. Pomemben delež ima dotok iz obsežnega kraškega vodonosnika Suhe krajine. Neposredno stekanje voda s tega območja v

reko Krko ovira dolomitni pas, ki spremlja levi breg Krke od Zagradca do Dvora, zato se večji del vzhodne Suhe krajine drenira v reko Temenico (Novak 1970).

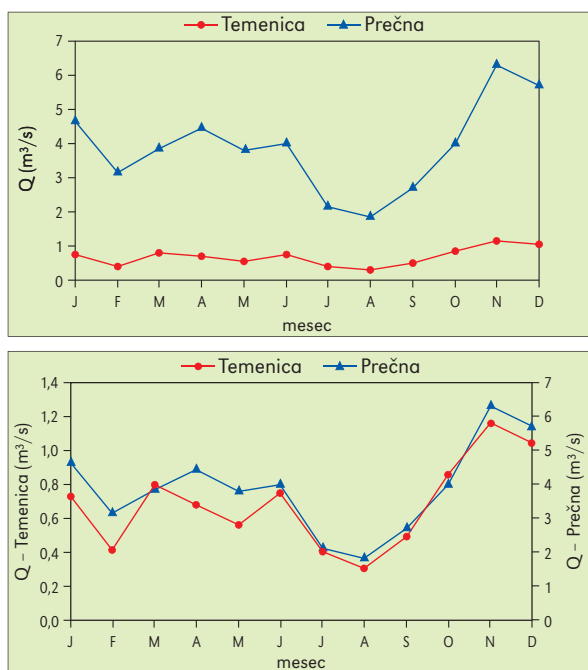
Na desnem diagramu slike 11.12 pa so zaradi primerjave značilnosti režimov obeh delov vodotoka pretoki prikazani še v različnem merilu. Ugotovimo lahko nekatera odstopanja, ki so posledica razlik v napajanju posameznih delov zaledja, v glavnem pa krivulji odražata podobnost hidroloških režimov. Maksimalni pretoki so bili zabeleženi v novembru, izrazitega spomladanskega viška pa v tem šestletnem intervalu ni. Najnižji vodostaji so v avgustu, pozimi pa ima reka v povprečju najmanj vode meseca februarja.

Smeri in hitrosti podzemnega pretakanja vode

Glede na morfologijo ter položaj ponorov in izvirov je zelo verjetna podzemna povezava Temenice pri ponorih Rupa in na izviru Zijalo.



Slika 11.11: Stalni izvir Prečne v Luknji.



Slika 11.12: Srednji mesečni pretoki Temenice v obdobju 1990–1995.

Potrjujejo jo tudi opravljene kemične analize, pri katerih so bile ugotovljene praktično enake trdote vode (Ladišič 1981). Sledenje na tem območju ni bilo izvedeno.

V sklopu naloge inventarizacije reke Temenice, ki jo je vodil Zavod za varstvo naravne in kulturne dediščine Novo mesto, pa je bil 9. avgusta 1994 obarvan Lukovski potok (Hudoklin 1995; Novak 1994). Injiciranje 5 kg fluorescentnega sledila uranina pred ponomom v Gabrovško jamo v vasi Jezero je bilo izvedeno v poletnem sušnem obdobju ob nizkem vodostaju (slika 11.13), ko na povečanje pretoka in hitrosti pretakanja vode vplivajo v glavnem le nevihte. Opazovali so izvire v Zijalu (glavni izvir, Gradiški, Mikličev, Žagarski in Jelševski izvir), izvir v Luknji in izvir Bršljinskega potoka. Vzorčenja so potekala enkrat dnevno. Vodne vzorce smo na fluorescenco analizirali z luminiscenčnim spektrometrom LS 30, firme Perkin Elmer, v laboratoriju Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU.

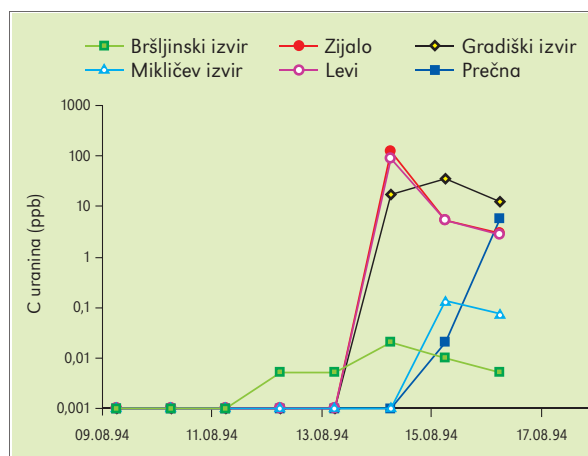
V izviru Zijalo se je sledilo pojavilo šele peti dan, ko je po razmeroma sušnem vremenu dvo-

dnevno deževje okrepilo pretoke in so se povečale hitrosti pretakanja vode (Hudoklin 1995). Padec na tem odseku vodnega toka je kar 17,5 %. Sledilo se je pojavilo v veliki koncentraciji (zajemanje vzorcev je bilo, žal, le enkrat dnevno), ki je nato razmeroma hitro upadala. Izračunana navidezna hitrost pretakanja je bila majhna (0,45 cm/s), kar pa gre pripisati predvsem počasni potovalni hitrosti v času pred padavinskim vodnim valom.

Intenzivno se je sledilo pojavilo tudi v obeh izvirihih z leve strani pod jezom in v nižje ležečem Gradiškem izviru, kamor pa verjetno doteka tudi voda izza jezua. Najmanjše koncentracije sledila z enodnevnim zaostankom za drugimi izviri pa so bile izmerjene v Mikličevem izviru (Hudoklin 1995). S pomočjo obstoječe literature in na osnovi že opravljenih raziskav teh razlik ne moremo razložiti.

Sledilo je nato od Zijala potovalo vzdolž Temenice in se pojavilo v izviru Prečne v Luknji. Hitrost potovanja sledila med Zijalom in Prečno je bila kar 4,1 cm/s, kar je posledica velike prepustnosti površinske in podzemne vodne poti ob padcu 10,3 ‰ in povišanega pretoka.

Izračunana povprečna hitrost pretakanja od injicirne točke do Prečne ob povprečnem padcu 11,9 ‰ je bila 1,3 cm/s (tabela 11.3), torej nekoliko manjša, kot so pokazali izračuni v smeri



Slika 11.13: Sledilni poskus avgusta 1994: detekcija sledila v posameznih izvirihih (Hudoklin 1995 in rezultati analiz fluorescence IZRK ZRC SAZU).

Tabela 11.3: Zračna razdalja (L), višinska razlika (H), padec, čas potovanja sledila (t) in navidezna hitrost pretakanja (v_{dom}) na posameznih odsekih.

Razdalja	L (m)	H (m)	padec (‰)	t (h)	V_{dom} (m/h)	V_{dom} (cm/s)
Lukovški p. – Zijalo	1820	32	17,5	113	16,1	0,45
Lukovški p. – Mikličev iz.	1820	36	19,7	144	12,6	0,35
Lukovški p. – Gradiški iz.	1950	37	18,9	144	13,5	0,4
Lukovški p. – Bršljanski iz.	8000	87	10,9	110	73	2,0
Lukovški p. – Prečna	8500	101	11,9	176	48	1,3
Zijalo – Prečna	6700	69	10,3	45	150	4,1

Bršljinskega potoka (2 cm/s) z nekoliko manjšim padcem. To dejstvo kaže na vprašljivost povezave z Bršljinskim potokom.

Najprej, po močni nevihti, so se namreč sledi uranina pojavile v Bršljinskem potoku, kar je bila presenetljiva ugotovitev (Hudoklin 1995). Zaradi slabo izraženega pojava sledila (nizke koncentracije krajši čas) so predpostavljali, da so bile padavine premalo izdatne in so pljusknile v smer Bršljinskega potoka le manjši del sledila. Vendar pa je mogoče, da je prišlo do kratkotrajnega povečanega signala zaradi spiranja nakopičenih snovi in onesnaženja iz struge po daljšem sušnem obdobju. Iz izkušenj vemo, da ob spiranju onesnaženja lahko pride do takih povečan, zato so v takih primerih potrebna daljša opazovanja že pred injiciranjem.

Ker je bila izračunana navidezna hitrost pretakanja od ponora Lukovškega potoka do Bršljinskega potoka sorazmerno visoka (2 cm/s), posebno še, ker je bil tedaj nižji vodostaj, ko se voda v kraškem podzemlju pretaka počasneje, bi moral biti kraški svet med ponorom in izvirov zelo dobro prepusten (tok v večjem kraškem kanalu), da bi omogočal tako hitro pretakanje. Le s ponovnim sledilnim poskusom ob visokem vodostaju in ob pogostejšem zajemanju vzorcev bi lahko potrdili ali ovrgli to povezavo.

Potok Igmanica, ki ponika pri Dolenji vasi pri Mirni Peči, se verjetno steka podzemno proti Bršljinskem potoku (Novak 1994), vendar pa povezava ni bila dokazana s sledenjem.

Na osnovi sledenja in geološke zgradbe lahko sklepamo, da kraške kamnine med ponori Te-

menice pri Ponikvah ter ponori bližnjih potokov (Lukovški, Dobravski) in izvirov Bršljinskega potoka na jugovzhodu verjetno omogočajo podzemno pretakanje visokih kraških voda. Potok Igmanica prav tako ponika v te kamnine. Vendar pa bi le dodatni sledilni poskus ob višjem vodostaju pokazal, v kolikšni meri se pretaka podzemna voda tudi v Bršljinski potok. Tako sledenje bi tudi podalo tiste največje hitrosti pretakanja, ki nastopajo v obdobjih z obilnejšimi padavinami in ob večji zapolnjenosti krasa z vodo (sledenje avgusta je bilo ob nižjih vodnih razmerah). Pri ugotavljanju prenosa onesnaženja v krasu pa so te hitrosti zelo pomembne.

Fizikalno-kemične lastnosti in kakovost vode

O vodah na obravnavanem območju najdemo v literaturi skromne podatke o pH ter vsebnosti karbonatov, kalcija in magnezija, in sicer iz leta 1961 (Gams 1962c), 1980 (Ladišič 1981) in 1984 (Plut 1984). Podatkov, ki govore o kvaliteti voda, pa v literaturi nismo zasledili.

Po podatkih o sestavi spomladanskih (v februarju) voda je razvidno, da voda Lukovškega in Dobravškega potoka priteka z dolomitnega območja, saj je razmerje Ca/Mg znašalo 1,3 oz. 1,0. Temenica pri Ponikvah je imela višjo celokupno trdoto kot oba potoka, vendar pa tudi večjo vsebnost kalcija, kar da razmerje Ca/Mg=1,9. Na ponovnem izvirov Temenice, v Zijalu, je imela voda nekoliko zmanjšano karbonatno trdoto in vsebnost kalcija, a nekoliko povečano vsebnost magnezija, tako da je bilo razmerje Ca/Mg=1,7.

To govori v prid dotoka bolj dolomitne vode v Temenico med Ponikvami in Zijalom, kar bi lahko razložili s podzemnim dotokom vode Lukovškega in Dobravskega potoka. Sestava vode izvira Prečne v Luknji je pokazala v primerjavi z izvirov Zijalo nižjo vsebnost karbonatov, predvsem pa nižjo vsebnost magnezija ($\text{Ca/Mg}=3,9$), kar nakazuje, da na poti dobi pritoke vode z manjšo vsebnostjo magnezija, oziroma bolj apneniške vode.

Tudi pretok Prečne v Luknji je večji kot na ponoru, kar razlagamo s podzemnim mešanjem z vodami Suhe krajine, ki jo grade apnenci (Ladišič 1981). Junija so izmerili v Prečni višje vrednosti trdot kot februarja (Plut 1984), vendar je imela voda podobno razmerje Ca/Mg , kar kaže na sezonsko nihanje trdot. Tudi Bršljinski potok ima podobno sestavo. Kljub visoki trdoti in mešanju dolomitnih in apnenčevih voda pa Temenica ne izloča lehnjaka kot reka Krka (Gams 1962c).

Podatkov o kakovosti Temenice in pritokov v literaturi nismo zasledili. Vendar poseljenost vzdolž njenega toka, s Trebnjem in s številnimi manjšimi naselji, z železniško in cestnimi povezavami, vpliva na kakovost vode. Že v preteklosti so ugotavljali (Plut 1984), da izvira Prečne zaradi ekološko občutljivega zaledja ne bi mogli uporabljati za vodno oskrbo prebivalstva.

Mogoči vzroki za poslabšanje kakovosti Temenice so povečana aktivnost človeka (naselja, industrija, kmetijstvo...) v njenem zaledju. Na kraškem svetu prihaja do spiranja ali odtekanja onesnaženja s površja neposredno v kras in nato podzemno v Temenico in Bršljinski potok. Ceste s prometom pomenijo onesnaževanje že v rednih razmerah, ob prometnih nesrečah, v katerih pride do razlitij nevarnih in strupenih snovi, pa to pomeni še dodatno veliko nevarnost za kraško vodo, če ceste niso vodotesne in so take nesreče obvladljive (Kogovšek 1995b, 1995c). Drugi vir slabšanja kakovosti Temenice pa so onesnaženi površinski potoki, ki zatekajo v ta kras in Temenico.

Pomen kraških vod na območju Temenice

Za vodooskrbo je zajetih samo nekaj manjših izvirov na dolomitnem območju severovzhodno od Igmanice. Zajetja so lokalnega pomena in imajo relativno majhna zaledja.

Kraški izviri ob Temenici niso v uporabi kot vir pitne vode, je pa voda iz izvira Prečne speljana v večjo ribogojnico v Luknji.

Posebej pa moramo poudariti pomen Temenice in izvirov ob njej kot naravnega spomenika. Z Odlokom o razglasitvi naravnih znamenitosti in nepremičnih kulturnih in zgodovinskih spomenikov v občini Novo mesto, ki je bil objavljen v Uradnem listu Republike Slovenije št. 38/92, so zaščiteni reka Temenica, Zijalo in Luknja.

SKLEP

Obravnavano ozemlje v celoti uvrščamo v povodje Krke. Vode se površinsko in podzemno stekajo proti Temenici in Igmanici, ki predstavljata lokalni bazni nivo. Razvodnico med obema vodotokoma je na kraškem terenu na osnovi obstoječih podatkov nemogoče natančno definirati, upoštevati pa je treba tudi možnost bifurkacije oz. raztekanja v različnih smereh, ki ga nakazuje opravljeni sledilni poskus v Lukovškem potoku. Kljub temu lahko za večji del načrtovanega avtocestnega odseka variante Sv. Ana predpostavimo, da se večinoma drenira proti Temenici. Opravljena študija hidroloških razmer je pokazala, da lahko obravnavano ozemlje opredelimo kot prehodno območje med kraškim in nekraškim pretočnim režimom. Površinski vodni tokovi ob prehodu na zakraseli teren poniknejo, se nato pretakajo v podzemlju in v kraških izviroh spet pridejo na površje.

Predvidena varianta avtocestne trase Sv. Ana poteka večinoma po kraških tleh. Vode s površja se točkovno skozi ponore ali razpršeno skozi razpokane in zakrasele karbonatne kamnine zelo hitro infiltrirajo v podzemlje, tam pa se pretakajo hitro in lahko na velikih razdaljah skozi kraške

kanale in razširjene razpoke proti kraškim izvirovom. Posledica je majhna sposobnost samoočiščevanja in zato večja nevarnost hitrega širjenja onesnaženja. Ranljivost kraškega vodonosnika na različne vire onesnaževanja je zelo velika.

Na obravnavanem območju se vode stekajo proti Temenici. Mogoč je tudi odtok v smeri Bršljinskega potoka, vendar bi bilo treba to poveza vo še preveriti. Morebitno onesnaženje z avtoceste (stalni odtok onesnaženih voda ali enkratni vnos nevarnih in strupenih snovi ob razlitjih v prometnih nesrečah) bo zelo hitro poniknilo v kraško podzemlje in odteklo proti izvirovom ob Temenici, če cesta ne bo vodotesna (Kogovšek 1995b, 1995c). Do sedaj opravljene študije pretakanja skozi vadozno cono (Kogovšek 1995a) so pokazale, da dosega ob padavinah zelo velike hitrosti (okoli 2 cm/s) in tako prihaja do hitrega prenosa morebitnega onesnaženja. V daljših sušnih obdobjih pa je prenos onesnaženja zelo upočasnjen oziroma pride do intenzivnega spiranja šele ob prvih naslednjih izdatnejših padavinah, računati pa moramo z daljšim zadrževanjem in večjimi zakasnitvami. Hitrost vodnega toka od Zijala do Prečne pa je, kot je pokazal sledilni poskus, zelo velika. Še večje hitrosti pa lahko pričakujemo ob višjem vodostaju, ob pomladanskem in jesenskem deževju in s tem tudi hitrejši prenos morebitnega onesnaženja.

Temenica in izviri ob njej niso vir vodooskrbe, so pa zaščiteni kot naravni spomenik, zato je treba z ustreznimi ukrepi ohranjati oz. izboljšati njihovo kakovost. V Luknji je tudi večja ribogojnica, ki ima v bazene speljano vodo iz izvira Prečne. Morebitno onesnaženje v zaledju bi imelo negativne posledice na živelj v njej. Na širšem območju je nekaj manjših izvirov, zajetih za lokalno vodooskrbo, vendar jih predvidena gradnja avtoceste ne ogroža.

V splošnem je z geomorfološkega stališča primernejša tista trasa, ki poteka čim bolj po nekarbonatni podlagi, to je po normalnem reliefu.

Ker izbrana trasa Sv. Ana poteka v večji meri prek fluviokraškega površja in prek plitvega krasa na stiku, po kontaktnem krasu, sta potrebni posebna pozornost in pazljivost predvsem na mestih, kjer bo bodoča avtocesta prečkala stik. Tam lahko prihaja do hitrih morfoloških sprememb, povezanih s hidrografskimi spremembami. Zaradi tega se stabilnost terena lahko hitro spreminja (tako prostorsko kot časovno), še posebej zaradi nenadnih sprememb (vsak človekov poseg je v primerjavi s potekom geoloških in geomorfoloških procesov »nenaden«), obenem pa je ta prehodni svet (bližina ponorov, plitva nezasičena cona oziroma epikraška cona, bližina gladine kraške podzemeljske vode) še posebej občutljiv za onesnaževanje.

V trasi je ena jama, ki je druga najgloblja na tem področju, ena pa je v njeni neposredni bližini. Jami bi bilo mogoče zavarovati z betonskim pokrovom. Sklepamo lahko o dobri prevotljenosti krasa. Pri zemeljskih delih v karbonatnih kamninah se bodo po naših izkušnjah prav gotovo odprle nove jame.

Območje suhe struge Temenice in njegovo obrobje sta enkratni kraški predel, ki ga je treba ohraniti. Ponaša se s svojevrstnim kraškim površjem, jamami in hidrološkimi značilnostmi, reka Temenica pa je zaščiten kot naravna znamenitost. Predlagamo, da se med gradnjo in kasneje med obratovanjem avtoceste čim bolj dosledno upoštevajo navedena dejstva in da se v največji meri izogne nepotrebne mu razvrednotenju tega dela svojevrstnega in značilnega Dolenjskega krasa.

KAMNITI GOZD PRI TREBNJEM

MARTIN KNEZ, BOJAN OTONIČAR, TADEJ SLABE

Na severovzhodnem obrobju Trebnjega se je ob zemeljskih delih pri gradnji razkril podtalni kamniti gozd (slika 12.1), prvi tovrstni v Sloveniji. Posamezni stebri so visoki do 8 metrov in značilno podtalno oblikovani. Kamniti gozd pred posegom na površju ni bil razviden, saj so iz več metrov debelih tal štrlele le konice stebrov, ki bi jih na prvi pogled lahko opredelili za manjše škraplje. Po obliki, velikosti in načinu oblikovanja ga lahko primerjamo z znamenitimi kitajskimi, natančneje lunanskimi kamnitimi gozdovi (Slabe 1998b; Knez, Slabe 2001a, 2001b, 2002b).

SPLOŠNI REGIONALNI IN MORFOLOŠKI PREGLED

Na triasnih dolomitih Dolenjskega podolja je razvit nepopolni karbonatni kras, na katerem prevladuje površinski odtok, znatni del padavin pa odteka tudi navpično v razpokano in porozno kamnino (Habič 1982). Infiltrirana voda napaja majhne, a stalne izvire. Čeprav so površinski in podzemeljski kraški pojavi v glavnem redki, so značilni, zato lahko dolomitni kras označimo kot poseben tip fluviokrasa.

Na prevladujoči dolomitni podlagi je razvit relief z dolinami in ponekod s površinsko hidro-

grafsko mrežo. Prevladujoči hudourniški odtok vpliva na območju visoke Notranjske in Dolenjske na oblikovanje strmih in globokih grap, ki so večinoma zarežane v bolj pretrte in zdrobljene prelomne cone. Na dolomitu severne Dolenjske je izoblikovan precej nižji in blažji relief. Kraške značilnosti dolomita se odražajo v drobnem grbinastem površju, v značilnih suhih dolinah in redkih vrtačah ter plitvih uvalah. Na podzemeljsko drenažo opozarjajo razmeroma gladka nerazčlenjena pobočja slemenastih vzpetin. Očiten znak zakrasevanja so grezi, ki se odpirajo v debelejši plasti dolomitne preperine v dnu globeli.

Pliokvartarne naplavine pokrivajo relativno velik del kamnite podlage Dolenjskega podolja. V času med odlaganjem in po njem so bile predvsem na območju Savskega kompresijskega klina ponekod dvignjene tudi do 450 metrov nad sedanjno strugo reke Save, medtem ko je bilo območje izven klina v tem času dvignjeno relativno malo (Placer 1999a).

Ker so tla na triasnih dolomitih debelejša in bolj sklenjena kot na apnencih in so bila v pleistocenski hladni klimi zaradi sezonske zamrznjenosti delno neprepustna, je tam več znakov nekdanjih pritokov voda na robni apnenec (Gams 1998).



Slika 12.1: Podtalni kamniti gozd.



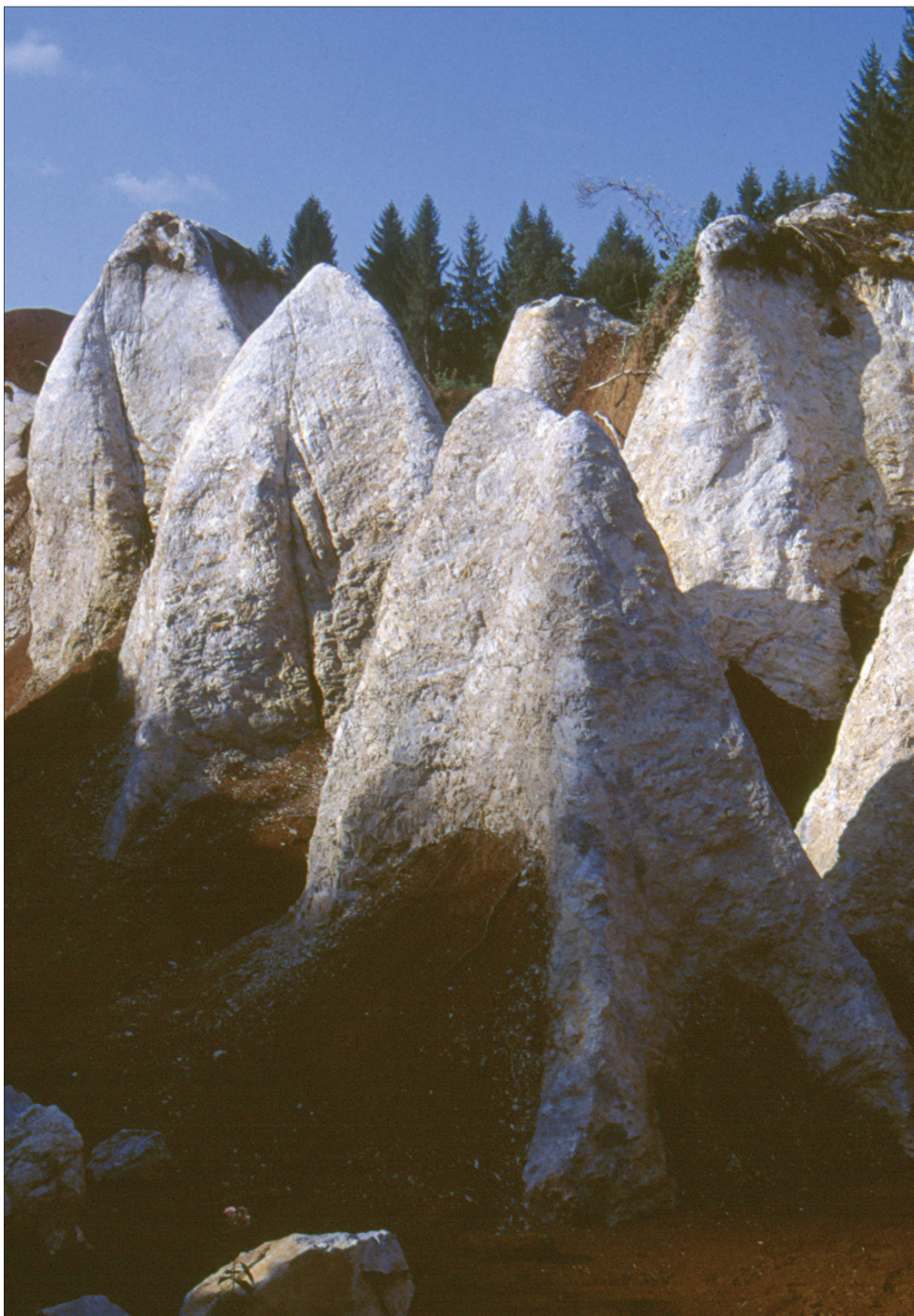
Slika 12.2: Skalno površje na breči.

GEOLOGIJA OBMOČJA

Območje Trebnjega gradijo triasne in jurske plitvomorske karbonatne kamnine, ki jih pogosto prekrivajo do nekaj metrov debele pliocensko-kvartarne usedline in tla (Pleničar, Premru 1977).

Ponekod so ohranjene krpe zgornjekrednih globljemorskih laporjev in peščenjakov, ki ležijo diskordantno prek triasnih in jurskih karbonatnih zaporedij.

V tektonskem smislu pripada območje najvzhodnejšemu delu Hrušiškega pokrova, ki



*Slika 12.3:
Kamniti stebri z
velikimi žlebovi.*



Slika 12.4: *Kamniti zob.*

predstavlja najboljše tektonsko enoto severovzhodnega dela Zunanjih Dinaridov. Območje je tudi del postmiocenskih Savskih gub (Placer 1999a; Vrabc, Fodor 2006).

Na obravnavanem izdanku pri Trebnjem opazujemo dva različna litološko-strukturna tipa kamnine. Večji del izdanka gradi siva grobozrnata dolomitna breča, ki lateralno prehaja v svetlosiv masiven notranje plastovit dolomitiziran apnenec oziroma dolomit z vpadom približno 30° proti jugu. Karbonatne kamnine so ponekod nekoliko okremenjene.

Dolomit pripada zgornjetriasni litostratigrafski enoti glavnega dolomita. To enoto gradijo v veliki meri notranjeplatformni navzgor plitvejši periplimski cikli, kjer se izmenjujejo podplimski sivi dolomitizirani mikriti ter medplimski in nadplimski svetlosivi, lokalno rdečkasto obarvani laminirani in fenestralni dolomitizirani mikriti.

Breča (slika 12.2) je notranje nehomogena in nestratificirana, klasti pa so neorientirani. Klasti se lahko med seboj dotikajo ali pa lebdi v osnovi breče, njihova sortiranost pa je slaba. Velikost klastov je zelo različna, od nekaj milimetrov do več decimetrov, vendar so najpogostejši od nekaj centimetrov do nekaj več kot decimeter v premeru veliki klasti. Njihova oblika je različna, vendar so najpogostejši nekoliko podolgovati klasti. Zaobljenost je zelo slaba, saj so klasti večinoma ostrorobi, nekoliko manj ostre robove kažejo le manjša zrna. Sestava klastov odseva litologijo okoliških dolomitov oziroma dolomitiziranih apnenecv notranje šelfnih litofaciesov.

Osnovo med klasti predstavlja srednje- do temnosiv, lokalno nekoliko rdečkast in zelenkast zrnat dolomit brez vidnih notranjih tekstur. Osnova je do neke mere podobna dolomitiziranemu mikritu, ki gradi podplimske dele navzgor plitvejših parasekvenc glavnega dolomita.

V klastih pogosto opazujemo polifazne razpoke, zapolnjene z osnovo in kalcitnim sparitom. Nekatere kalcitne žile sekajo tako klaste kot osnovo. Stiloliti sekajo tudi kalcitne žile.

Brečo in notranje stratificiran dolomit pre-

kriva do nekaj metrov debel glinen pokrov, ki je v zgornjem delu pedogeno preoblikovan.

OBLIKA KAMNITEGA GOZDA IN STEBROV TER NJIHOV SKALNI RELIEF

Razkritih je le 1000 m² kamnitega gozda (slika 12.3), a je kljub temu mogoče izluščiti njegove poglavitne oblikovne značilnosti. Podtalni stebri, bodisi obsežnejši bodisi manjši, oboji so razmeroma blizu eden poleg drugega, so razvrščeni v pasove. Vrhovi stebrov so večinoma v istem nivoju.

Po obliki lahko stebre razdelimo na dve vrsti. Prevladujejo obsežnejši. Njihova površina v spodnjem delu meri več kvadratnih metrov. Razčlenjeni so s podtalnimi skalnimi oblikami. Nastali so iz večjih kamninskih gmot, ki niso bile izrazito in gosto razpokane. Vrhovi takšnih stebrov so rezilasti in večkraki ter razčlenjeni z lijakastimi zajedami, pod katerimi so veliki podtalni žlebovi.

Druga vrsta stebrov so posamezni (slika 12.4), koničasti in manj obsežni stebri. Tudi njihove stene členijo podtalne skalne oblike.

Oboji se izrazito ožijo proti vrhu, kar je značilnost podtalnega oblikovanja kamnine z vodo, ki razpršeno prenika s površja. To so nam potrdili tudi modeli na mavcu (Slabe 2005).

Najbolj izrazite skalne oblike, ki členijo stebre, so lijakaste zajedne (slika 12.5) in podtalni žlebovi. Lijakaste zajedne na vrhu večjih stebrov imajo od deset centimetrov do dva metra premera, so polkrogelnih oblik in so največkrat ustja podtalnim žlebovom, ki so pod njimi.

Manjši podtalni žlebovi (Slabe 1999) imajo do deset centimetrov premera, večji meter in več. Na navpičnih površinah so razmeroma plitki. Globlji so le pod lijakastimi zajedami. Med njihovimi navpičnimi deli so položnejši odseki, ki so razširjeni v podtalne kotlice.

V spodnjem delu stebrov so večje kotličaste zajedne, ki so nastale zaradi preperevanja kamnine. Kot kaže, se ponekod, največkrat že nekaj me-



Slika 12.5: Lijakasto ustje podtalnega žleba.



Slika 12.6: Pod tlemi razjedeno površje kamnitega stebra.

trov globoko pod površjem, zbira večja količina vlage, ki se tam tudi dlje zadržuje, in razjedanje je zato bolj izrazito.

Preden so bili stebri umetno razgaljeni, so iz tal, ki prekrivajo kamnino, od pol do enega metra visoko štrleli le njihovi vrhovi. Na obsežnejših so nastale škavnice. Žlebiči, torej manjše skalne oblike, na takšni kamnini praviloma ne nastanejo.

Skalno površino lahko ločimo na tisto, ki je bila pod tlemi, in tisto, ki se je oblikovala na površju. Zgornji del prve je razčlenjen, iz površine štrlijo počasneje topni deli kamnine (slika 12.6), kot kaže zaradi hitrejšega odnašanja raztopine. Spodnja površina skale pa je več centimetrov debelo preperela, mehka in hitro razpada. Najbolj izrazito preperela je površina podtalnih zajed. Skalna površina, ki je bila na površju, je sprana, a – kot je za tovrstno kamnino značilno – »dolomitno« razčlenjena. Prepreda jo mreža razjed, ki sledi kalcitnim žilicam. Takšni so tudi obodi

škavnic. Bolj gladka površina se je oblikovala le pod mahovi.

SKLEP

Kljub prostorsko omejenemu izdanku in pomanjkljivim informacijam iz sosednjih območij so opisane značilnosti dovolj izrazite, da lahko opredelimo brečo kot plitvomorsko sinsedimentno depozicijsko telo, nastalo z gravitacijskim masnim tokom in/ali podorom ob prelomu ali manjšem tektonskem jarku v obdobju spreminjanja se geotektonskih in paleogeografskih razmer na območju predhodno relativno monotone zgornjetriasne ali spodnjegorske plitvomorske karbonatne platforme.

Ker v klastih in osnovi breče nismo našli vodilnih fosilov, smo o njeni stratigrafski poziciji skleпали le na osnovi stratigrafske superpozicije

breče ter litoloških značilnosti klastov in osnove breče. Glede na ta merila domnevamo, da je breča nastala v obdobjih zgornjega triasa ali spodnje jure.

Čeprav je kamnina heterogena, se to ne odraža na obliki stebrov. So pravilnih oblik in se enakomerno ožijo proti vrhu. Kamnina pa vpliva na skalni relief kamnitih stebrov. Na njih nastanejo le večje skalne oblike, lijakaste zajede, podtalni žlebovi in na površju škavnice. Žlebiči na taki kamnini ne morejo nastati.

Podtalni kamniti gozd je pomembna kraška

oblika, ki nam razkriva podtalno oblikovanje karbonatnih kamnin in razvoj pokritega krasa. Svojevrstno je privlačen tudi za obiskovalce kraških znamenitosti. Zato je treba to odkritje upoštevati in pri nadaljnjem načrtovanju posegov v kraško površje poskrbeti za ustrezno zaščito. Tovrstne oblike so namreč tudi drugod, kjer so zagotovljeni opisani pogoji, trdna, z mrežo navpičnih razpok prepredena kamnina in debelejši pokrov naplavin ali prsti na njej. Takšen je velik del krasa v jugovzhodni Sloveniji.

JAME BREZ STROPA SO POMEMBNA SLED RAZVOJA KRASA

MARTIN KNEZ, TADEJ SLABE

Jame brez stropa (slika 13.1) so stare jame, ki so zaradi znižanja in razčlenjevanja kraškega površja razkrite ali presekanе. Ohranjajo pa jih zapolnitve, predvsem naplavine in siga. Razbrali smo njihove najbolj značilne oblike in določili njihov pomen pri proučevanju prevotljenosti kraških vodonosnikov, njihovega epikrasa in površja.

Ob gradnji avtocest v Sloveniji spoznavamo, da so jame brez stropa razmeroma pogoste površinske kraške oblike, vsekakor bolj, kot smo si predstavljali, preden so kraško površje razkrila zemeljska dela. Krasoslovci so različne zajede na kraškem površju pogosto razlagali kot različne vrtače ali pa le kot posledice litoloških značilnosti kamnine in njihove pretrtosti. Na 70 kilometrov dolgi in poprečno 25 metrov široki trasi avtocest je bilo v zadnjih petih letih odkritih 350 jam, od tega 90 jam brez stropa. Nekatere so bile seveda del istega jamskega spleta. Novi izsledki so povzročili, da smo postali bolj pozorni na te samosvoje površinske kraške oblike. Odkrite so bile številne jame brez stropa in zapolnjene z različnimi naplavinami (Mihevc 2001; Šušteršič 1978). Bilo je tudi več poskusov tipizacije značilnih oblik jam brez stropa (Mihevc idr. 1998; Knez, Slabe 1999b) in delnih modelov njihovega značilnega oblikovanja (Šušteršič 1998; Mihevc 1999a).

Povzemava naše večletne izkušnje proučeva-

nja tega zanimivega kraškega pojava in dodajava najnovejša spoznanja. Sodiva namreč, da je temu, čeprav že znanemu kraškemu pojavu posvečeno premalo pozornosti. Osredotočila se bova na primere s klasičnega Krasa.

Zaradi površinskega in podtalnega raztapljanja karbonatnih kamnin in njihovega, predvsem nekdanjega, ledenodobnega razpadanja se znižuje kraško površje. Stare jame, ki so jih oblikovali nekdanji vodni tokovi in deloma presekala brezna, skozi katera prenika s prepustnega kraškega površja, so prazne ali pa zapolnjene z naplavinami. Nastale so kot del spleta votlin, ko je bil vodonosnik še visoko zajezen z neprepustnimi kamninami in zato je bila višje tudi gladina podzemeljske vode v njem. Krasoslovci so menili, da je kraško površje s velikimi podolji predvsem sled površinskega pretakanja voda. Na razkitem površju takšnih sledi nismo našli, so pa jasno razvidne sledi nekdanjega pretakanja vodnih tokov skozi karbonatne kamnine, torej mnoge odprte in presekanе stare jame.

RAZPOZNAVANJE JAM BREZ STROPA NA KRAŠKEM POVRŠJU

Večletne izkušnje, pridobljene pri načrtovanju in gradnji avtocest na slovenskem Krasu, nam omo-



Slika 13.1: Jama brez stropa.

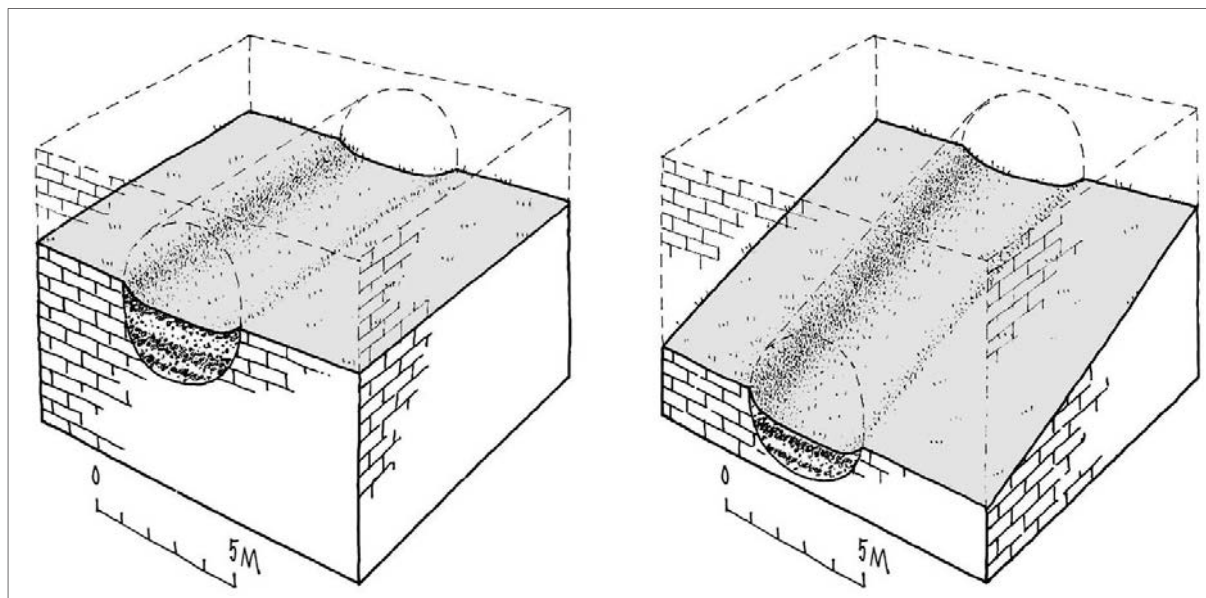
gočajo strniti spoznanja o obliki jam brez stropa na kraškem površju in so nam v veliko pomoč pri preučevanju kraškega površja. Značilna oblika jame brez stropa na kraškem površju je posledica vrste in oblike preoblikovane jame, ki je zapolnjena z naplavinami, in razvoja kraškega površja. Na to vplivajo zlasti kamninska sestava in pretrtost kamnine ter točkovna prepustnost površja, geomorfološka vpetost vodonosnika in njegov razvoj v določenih podnebnih razmerah. Izrazitost površinske oblike jam brez stropa pa je narekovana s hitrostjo odnašanja naplavine iz jam.

Razčlenjeno kraško površje seka jame različnih oblik. Izdvojimo pa lahko dva najbolj očitna primera, ki narekujeta obliko jam brez stropa. Rov, ki ga je odprlo površje, je vzporeden z njim (slika 13.2) ali pa površje prečno preseka (sliki 13.3, 13.4). Svojevrsten primer jam brez stropa je, ko površje odpre na več mestih najvišje dele vijugastega rova oziroma ko nastanejo vrtače znotraj

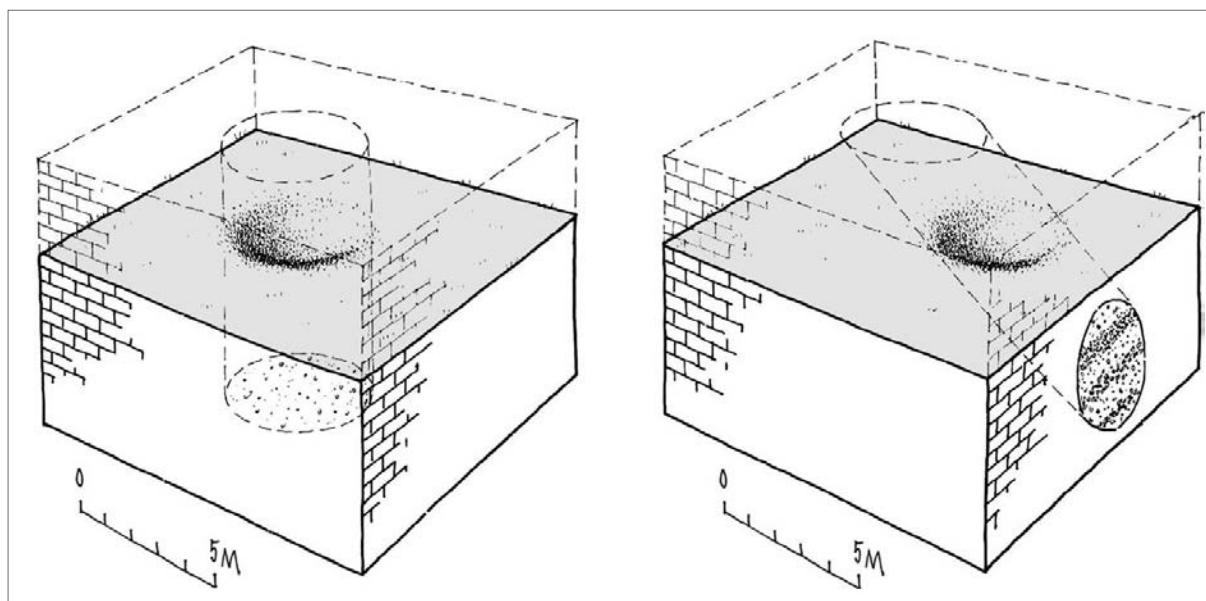
rova (slika 13.5). V prvem primeru so jame brez stropa podolgovate zajede, posamezne vrtače ali pa niz vrtač, ki so nastale v odprtem rovu. Jame brez stropa, ki nastanejo iz rogov, katere je prečno presekal površje, pa so vrtačam podobne oblike. Večkrat presekan vijugast rov se nam kaže kot niz vrtač ali vrtač in zajed.

Izrazitost oblik jam brez stropa na kraškem površju je predvsem posledica hitrosti odnašanja naplavin iz jam. Najbolj izrazite so oblike takrat, ko je odnašanje naplavin iz jam hitrejše kot nižanje okoliškega karbonatnega površja. Prazne jame se hitreje zlijejo s površjem.

Pri preučevanju kraških pojavov, ki so bili odkriti pri gradnji avtoceste na jugozahodnem delu Krasa, smo ugotavljali, da je površje krednega apnenca, na katerem so pogosto tudi dobro razvite, delno podtalne škraplje in različne vrtače, razčlenjeno z ostrimi oblikami. Treba je biti pozoren in ne zamenjevati špranj v škrapljah z zajedami, ki so nastale nad jamami brez stropa.



Slika 13.2: Jame brez stropa, podolgovata zajedna na vodoravnem in nagnjenem kraškem površju. Legenda je pri sliki 13.6.



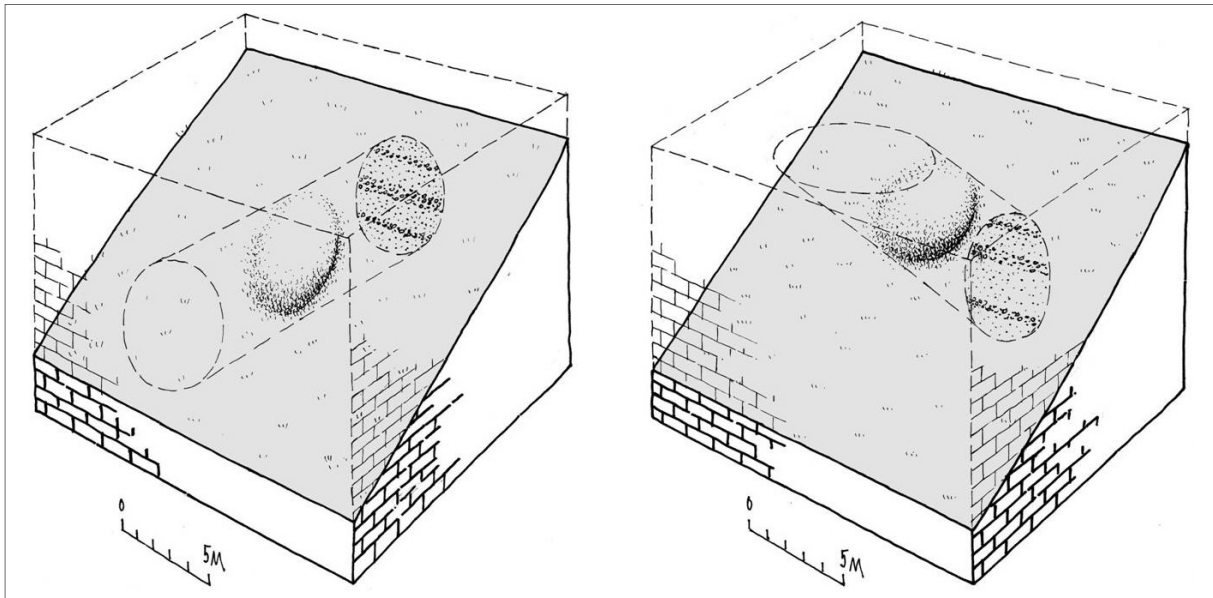
Slika 13.3: Jame brez stropa, vrtači podobni obliki. Legenda je pri sliki 13.6.

Površje paleogenskega apnenca, ki ga prekriva ostrorobati grušč iste starosti, je bolj zaobljeno, razčlenjeno le z vrtačami in manj izrazitimi zajedami. Po razgaljanju pa so na njem lahko razvidne proge sige.

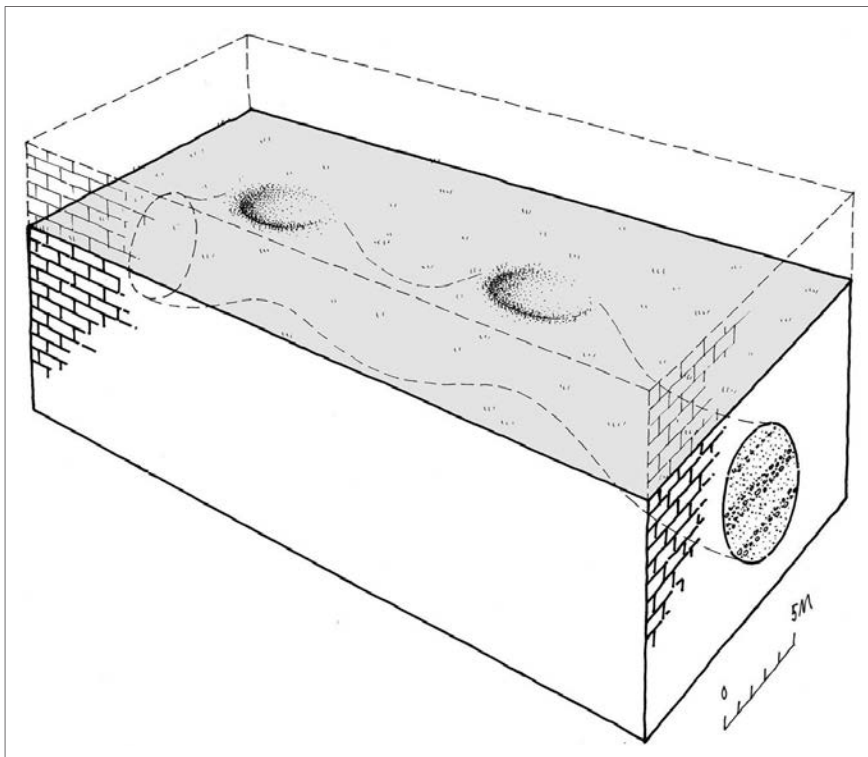
Jame brez stropa, ki smo jih raziskovali, so zapolnjene z različnimi, tudi več metrov debelimi plastmi prodiv in drobnozrnatih naplavin, sled-

mi vodnih tokov in poplavnih voda. V nekaterih je bil ostrorobati grušč, ki je nastal z razpadanjem kamnine v mrzlih obdobjih pleistocena. Skorajda v vseh pa so bile kope sige in stalagmiti.

Med sigo, ki smo jo našli v jamah brez stropa, smo naleteli na primerke z izrazito velikimi kalcitnimi kristali in pa sigo z izredno drobnimi, sladkorju podobnimi kristali. Barva sige je



Slika 13.4: Jami brez stropa, vrtači podobni obliki na nagnjenem površju. Legenda je pri sliki 13.6.



Slika 13.5: Vijugasti rov, presekán s kraškim površjem. Legenda je pri sliki 13.6.

bila različne barve, od povsem bele prek rumene, rdeče in rjave do črne. Med sedimentacijo in kasneje med rekristalizacijo in preperevanjem so se v kalcitne kristale vezali tudi v raztopini prisotni kationi železa in mangana, po zapolnitvi jamskih prostorov pa tudi mulj, glina in organske snovi.

Zaradi procesa rekristalizacije gradijo sigo večinoma veliki kristali kalcita in le izjemoma naletimo na velike kristale, ki bi lahko bili vzrok čiste, počasi mezeče in prenasičene vode iz časa primarnega sedimentacijskega okolja. Drobno-kristalaste sige je bilo manj. Le-ta je bele in ru-

meno bele barve. Številni primerki sige vsebujejo med posameznimi, že po barvi ločenimi pasovi, glino in lastno preperino. Nekajkrat so se v eni točki dotikale tri časovno in dogodkovno povsem različne generacije sige. Večina odkritih sig je še kompaktnih, manjši del pa ob stiku s površino razpada v kalcitne drobce.

Veliki kot tudi povsem drobni kristali so v jamah brez stropa najverjetneje rezultat dolgotrajnega preperevanja v nekarbonatnih naplavinah.

Pojavu pestre palete najrazličnejših morfološko in genetsko različnih sig je treba, poleg datiranja, nameniti bistveno večjo pozornost, kot jo je imel do sedaj.

Pod naplavinami in sigo se je večkrat ohranil tudi jamski skalni relief. Na hitrost odnašanja naplavin iz jam seveda vpliva tudi vrsta naplavin, njihovo razpadanje in raztapljanje.

Zbiramo vzorce naplavin za paleomagnetne, pelodne in mineraloške raziskave (Mihevc, Zupan 1996) ter določanje njihove starosti. Paleomagnetni obrati v naplavinah nam pričajo o večji starosti jam, kot so domnevali krasoslovci pred nami, ko so razlagali njihov razvoj predvsem skozi obdobja pleistocena. V eni najvišje ležečih jam, tik pod površjem, je bilo zaznati obrat na 1,6 do 1,8 milijona let, lahko pa je tudi starejši, med 3,8 do 5 milijonov let, vendar pa ni dodatnih kazalcev, ki bi potrdili datacijo (Bosák idr. 1998b).

VRSTE JAM BREZ STROPA

Jame brez stropa, iz katerih se počasi izpira naplavina, razpoznamo kot:

- del kraškega površja s svojevrstno prstjo in rastjem in
- sige in jamske naplavine na kraškem površju.

Jame brez stropa, iz katerih se naplavina izpira hitreje, so:

- vrtačam in polvrtačam podobne oblike (sliki 13.3, 13.4),

- nizi vrtač (slika 13.5) in
- zajede, dolge več sto metrov ali kilometrov (slika 13.2).

DEL KRAŠKEGA POVRŠJA S SVOJEVRSTNO PRSTJO IN RASTJEM

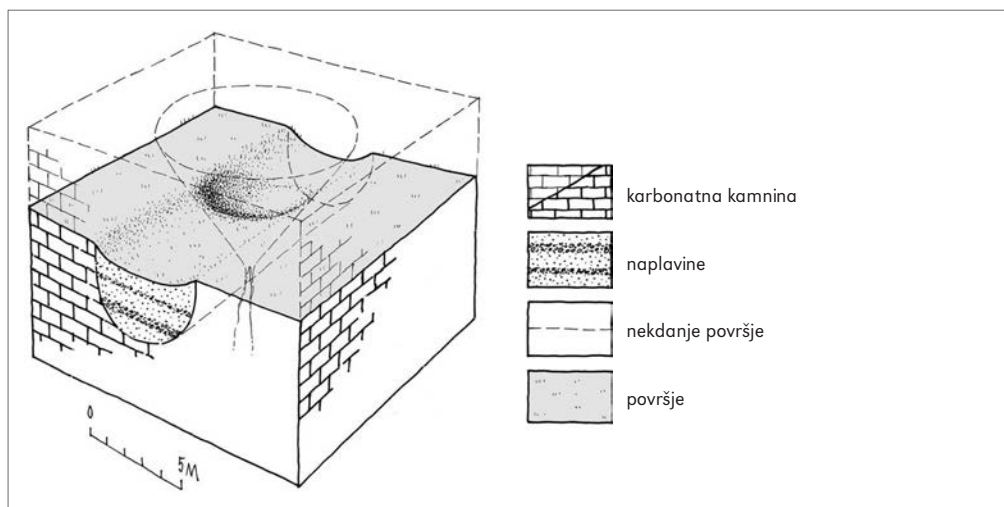
Ena izmed značilnih oblik jam brez stropa, ki jih opazimo na terenu, je del kraškega površja z značilnim pedološkim horizontom in značilnim vegetacijskim pokrovom.

Jama brez stropa se nam v kraški pokrajini najbolj očitno pokaže tam, kjer je gozdnat ali grmovnat teren prekinjen z manjšimi, bodisi travnatimi površinami bodisi površinami, ki so bujne poraščene od okolice.

Na travnatih površinah večinoma ni večjih skal, kot so v okolici, če pa so, so obdane z razmeroma debelo plastjo prsti. Ta pojav je še posebej jasno viden na krednih kamninah, ki se na Krasu kažejo kot izrazite in ostre, tudi do več metrov visoke in pogosto težko prehodne škraplje. Paleogenski apnenci, ki se s krednimi stikajo, so po litostratigrafskih lastnostih mehansko neprimerno manj stabilni in manj odporni proti preperevanju ter se s časom bolje od krednih zlijejo s površjem in tako lažje zabrišejo odkrite jame brez stropa.

Poleg opisane značilne oblike pojavljanja jam brez stropa na površju pa moramo biti pri delu na terenu pozorni tudi na kulturno krajino. Poleg njive, kjer je prst na površini, tudi travnik že sam po sebi opozarja na boljši pedološki horizont, ki je lahko rezultat stika zapolnjenega presekanega podzemnega rova s površjem.

Opisane možnosti, ki smo jih poznali pred zemeljskimi deli in jih označili na prognoznih karti, so se ob razkritju terena pokazale kot pravilne.



Slika 13.6: Jama brez stropa kot sestavljena kraška oblika.

SIGE IN JAMSKE NAPLAVINE NA KRAŠKEM POVRŠJU

Jame brez stropa, ki jih zaznamo s pojavljanjem kosov in do več deset kubičnimi decimetri velikimi bloki sige na kraškem površju, so tako vzdolžne površine, dolge lahko od več deset do več sto metrov ter široke nekaj metrov, kot tudi točkovna področja.

Površinska kraška morfologija je tudi v tem primeru odsev litostratigrafske osnove. Kraško površje, kjer prevladujejo paleogenski apneneci, je namreč precej izravnano in le rahlo valovito ter brez ostrih erozijskih površinskih kraških oblik. Za razliko pa je kraško površje, kjer izdajajo zgornjekredne kamnine, intenzivno kraško erodirano s številnimi škrapljami in različnimi površinskimi zajedami. Pasovi večinoma prepelele sige so na paleogenskem površju veliko bolj vidni kot na krednih kamninah, čeprav je v krednih kamninah na Krasu statistično dvakrat več kraških objektov.

Ker so paleogenski apneneci na tem delu krasa tanko plastoviti in tektonsko precej pretrti, s tem pa slabše odporni proti preperevanju, so predvsem v mrzlem pleistocenskem obdobju razpadli v ostrorobati grušč.

Ostrorobati grušč, v katerem sledimo paso-

vom sige, ponekod prekriva več 100 m² površine, drugod zapolnjuje jame. Pogosto smo ga našli nad starimi vodnimi naplavinami ali pa je zapolnjeval prostor pod spodmoli. Zaradi pleistocenskega premikanja materiala je ostrorobati grušč večkrat pomešan z ilovico, flišnimi naplavinami, drobnejšim peskom in kosi sige, ki so ponekod v prvotnem položaju (stalagmiti).

VRTAČAM PODOBNE OBLIKE IN NIZI VRTAČ

Jame brez stropa so podobne vrtačam (slika 13.3, 13.4), ko površje preseka staro brezno (Mihevc idr. 1998, 169), na primer freatični skok v stari jami, ki je bil zapolnjen z naplavinami in sigo. Polvrtačam z elipsastim prečnim prerezom so podobne jame brez stropa (slika 13.4), ki nastanejo, ko položni ali vodoravni rov preseka strmo pobočje (Knez, Slabe 1999b). Posamezne jame brez stropa, ki so podobne vrtačam, pa nastanejo tudi sredi starih rogov. Odpre se le del rova ali pa vrtača nastane sredi starega rova brez stropa (slika 13.6). Vrtača se namreč lahko razvije tudi v stari jamski naplavini, ki je v obliki lijaka odnesena s prenikajočo vodo. Naplavino pa prekrijejo različno debele plasti grušča in prsti. Premer opi-

sanih vrtač lahko doseže več deset metrov. Vrtače pa lahko tudi presekajo ali pa le dosežejo stare rove.

Nizi vrtač nastanejo, ko se rov odpre na več mestih, ali pa, ko nastane več vrtač znotraj rova. Nizi različnih vrtač nam pogosto razkrijejo potek in velikost obsežnejših jam.

ZAJEDE

Iz starega rova brez stropa, ki je vzporeden s kraškimi površjem, nastanejo zajede (slika 13.2). Dolge so lahko več sto metrov ali več kilometrov, in sicer so enotne, prekinjene z ohranjenimi stropi ali pa presekane z vrtačami. Široke so lahko več metrov in prav toliko tudi globoke. Njihova dna so prekrita z naplavinami, nad katero je prst, na njihovih obodih pa večkrat najdemo tudi sigo. Zajede so na vodoravnih in nagnjenih pobočjih bodisi prečno ali pa vzdolž njih.

RAZNOVRSTNE OBLIKE JAMSKEGA SPLETA

Splet različnih, zgoraj opisanih in iz njih sestavljenih oblik je posledica razkrivanja večje in raznovrstno oblikovane jame.

Največji jamski splet, dolg 400 metrov, odkrit na začetku trase pri Kozini, so sestavljali prazni rovi, eden je bil znan že pred zemeljskimi deli, in rovi, ki so bili zapolnjeni z naplavino ter so imeli bolj ali manj tanek strop ali pa so bili že brez stropa. Jama je bila na površju razvidna kot splet bolj ali manj izrazitih zajed, ki so bile najbolj izrazite na pobočju vrtač in kot povezava med njimi ali kot manjše, razmeroma plitke vrtače. Večina jame je bila zapolnjena z drobnozrnatimi naplavinami, posamezni deli pa tudi s plastmi flišnega proda. Dno jugozahodnega dela je bilo skorajda v celoti prekrito s kopami sige in kapniki. Tudi prek sige je bila drobnozrnata naplavina. Ostrorobati grušč, ki je ponekod prekrival površje ali pa zapolnjeval

jame, – pogosto smo ga našli nad starimi vodnimi naplavinami ali pa je zapolnjeval prostor pod spodmoli, ki so nastali na začetku rovov, – je posledica razpadanja kamnitega površja v mrzlih pleistocenskih obdobjih. Dna večjih vrtač, ki sta nastali na robu rovov starega jamskega spleta, so bila prekrita z več metrov debelimi plastmi rjave in rdeče prsti, na njihovem obodu so bile podtalne skalne oblike, ki so kazale na izrazito polzenje vode ob stiku skale s prstjo, na njihovem dnu pa so bili tudi vhodi v ožja brezna.

Najbolj izrazite površinske oblike jam brez stropa so bile zajede, ki so nastale na robu vrtač, kjer je imela voda možnost hitrejšega odnašanja naplavine s površja. Plitke vrtače pa so nastale sredi rova, v starih naplavinah.

V rovu brez stropa, v katerem je bil prerez drobnozrnatih naplavin najbolj ohranjen, smo vzeli vzorce le-teh za paleomagnetne in pelodne raziskave.

SKLEP

Jame brez stropa so vse bolj razločno berljiv pojav na površju. Oblika jam brez stropa je posledica oblike jame in razvoja kraškega površja. V njih odseva tudi razvoj vodonosnika z geološkimi, geomorfološkimi, hidrološkimi lastnostmi in podnebnimi značilnostmi. Vrtačam podobne oblike nastanejo, ko znižujoče površje preseka v prečnem prerezu star rov, ki je zapolnjen z naplavinami in sigo, ga doseže na posameznem mestu ali pa, ko vrtače nastanejo v jamski naplavini, ki zapolnjuje večji razkriti rov. Nizi takšnih oblik nam pogosto razkrijejo obliko in velikost preoblikujoče jame. Zajede nastanejo iz večjih rovov brez stropa, ki so vzporedni s površjem. Za izrazitost površinske oblike pa je odločilno razmerje med hitrostjo nižanja površja in odnašanja naplavin iz starih jam. Iz povezanosti raznovrstnih oblik na kraškem površju pogosto lahko razberemo raznolike jamske splete, ki so podvrženi današnjemu oblikovanju kraškega površja in epikrasa.

Tudi v drugih vrstah krasa lahko razbiramo samosvoje, a značilne oblike jam brez stropa. Na primer pred vhodi v stare jame, ki votlijo kope »fenglin« krasa v Puzeheiu v Yunnanu so tudi 10 metrov in več dolgi pasovi sige in kapnikov, ki so ostanki nekdanjih nadaljevanj rovov.

Strnemo lahko, da je so jame brez stropa

lahko tudi pomemben pojav kraškega površja in epikrasa ter seveda izjemna sled razvoja vodonosnikov.

Ne nazadnje pa nam dobro poznavanje oblik različnih oblik jam brez stropa s pridom koristi tudi pri načrtovanju različnih posegov v kras.

VELIKA BREZSTROPA JAMA PRI POVIRJU

ANDREJ MIHEVC

Zanimivejše in pomembnejše so bile najdbe s sedimenti zapolnjenih jamskih rogov brez stropa. Da gre res za jame, so pričali siga in kapniki v njih.

Največja jama brez stropa v trasi avtoceste je bila 230 metrov dolga Brestropa jama pri Povirju, v njej so se ohranili siga, stalaktiti in stalagmiti ter različni sedimenti. Več krajših brezstropih rogov je bilo v trasi ceste še pri Divači, Dolnjih Ležečah ter med Sežano in državno mejo.

Čprav jamski rov brez stropa ni več jama, temveč prej jarek, vseeno zasluži pozornost. V času, ko se del speleologov usmerja v proučevanje procesov, ki pripeljejo do začetka nastajanja jam, nas tak rov opozarja na spremembo jame v površinsko kraško reliefno obliko ali celo na popolno izginotje jame. Pomaga nam tudi razložiti sige, ki jih najdemo na površju, na najdbe kremenovega proda, peska in ilovic, in razumeti zniževanje kraškega površja.

SPELEOLOŠKE ZNAČILNOST BREZSTROPE JAME

Odkritje in raziskave jame

Pri pripravi na gradnjo avtoceste na odseku Divača–Dane so vzhodno od Povirja, na ledini Zadušice, v osi cestišča zaznali podolgovato,

140 metrov dolgo in do 10 metrov široko območje s slabšimi geomehanskimi lastnostmi, ki se je izteklo v plitvo vrtačo. Vrtine so pokazale, da gre za depresijo, zapolnjeno s kraško ilovico, zato je bilo predvideno, da se ilovice izkoplje do nosilne skalne podlage. Ko so gradbeniki odstranili rušo, vrhnji sloj prsti in rdeče ilovice ter preostale sedimente, je postalo jasno, da gre za star jamski rov. Nekoliko ožji se je rov onstran vrtače nadaljeval v trasi ceste še okrog 100 metrov, nato pa zavil iz trase. Oblika in vsebina jame ter njena lega v višini okrog 400 metrov so lastnosti, pomembne za razumevanje razvoja tega dela Krasa, zato smo jo izmerili in v njej vzeli več vzorcev sedimentov za nadaljnje analize (slike 14.1, 14.3, 14.9).

Rov je bil pred deli na trasi komaj zaznaven kot plitva uleknina. Na aeroposnetkih infrardečega dela spektra v črno-beli tehniki (ciklično snemanje SRS 1980) pa je dobro viden kot pas svetlejših, to je toplejših tal, del rova pa označuje pas grmovja, ki se je zarasel na debeli prsti. Podobne sledi jamskih rogov vidimo tudi na opuščenih pašnikih v bližini, nekaj pa jih je tudi izven trase (slika 14.2).

Oblika izkopane jame

Izkopanih je bilo 320 metrov dolgega in do 5 metrov globokega rova. Smer jame je bila je bila 305°.



Slika 14.1: Brezstropa jama pri Povirju potem, ko so iz nje izkopali jamske sedimente. Na stenah rova so še vidni ostanki sige in kapnikov.

Skrajni točki rova sta imeli koordinate:

- severozahodna skrajna točka: X-5418233, Y-5062587, Z-395 m in
- jugovzhodna skrajna točka: X-5418484, Y-5062402, Z-400 m.

Jugovzhodna skrajna točka jame leži približno tam, kjer preči avtocestni nadvoz ceste v Ga-brk.

Od nedvomno večje jame so bili izkopani trije odseki rova. Na jugovzhodnem delu, kjer je jama zašla v traso ceste, je rov širok 6 metrov in izkopan do globine 5 metrov. Po manjši razširitvi je rov blago vijugal proti severozahodu in se ožil. Po približno 140 metrih se je iztekkel nad dnom manjše vrtače, a se nadaljeval na njeni nasprotni strani. Ta odsek rova je bil ožji, širok le okoli 3 metre ter



Slika 14.2: Uravnano površje v višinah med 398 in 400 metri nadmorske višine. V ospredju je vijugasta brezstropa jama. Od ostalega površja se loči po drugačni vegetaciji. Te brezstropne jame gradnja avtoceste ni poškodovala, zato se je ohranila.

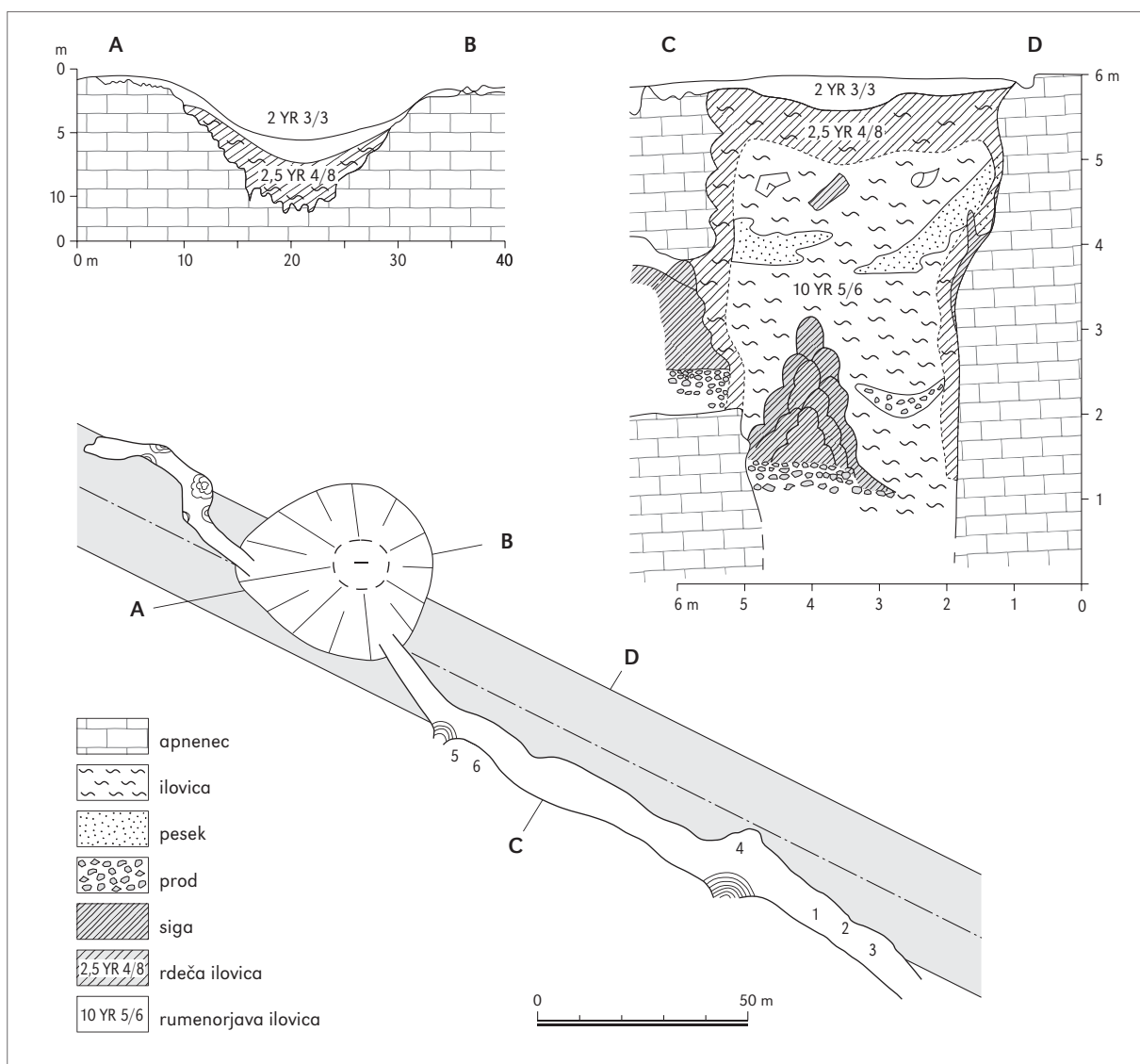
45 metrov dolg. Izkop rova se je končal ob masivni sigi, nad katero se je pojavil tudi za meter debel skalni strop, rov pa je bil ponovno izkopen šele po 35 metrih. Ta del je bil močno poškodovan in bolj podoben nekakšni dvorani. Nepoškodovana je bila le njena severna stena, na kateri so se ohranile fasete. Iz nje se je rov nadaljeval proti severu izven trase avtoceste. Slediti ga je bilo mogoče po sigi na površju še kakih 10 metrov, kjer se je iztekel v veliko plitvo vrtačo (slika 14.4, 14.5).

Večji del rova je bil širok do 6 metrov, na najožjem mestu, vzhodno od vrtače pa le 2 do 3 metre. Globina izkopa je bila v večjem delu rova

3 do 4 metre, vendar ni dosegla živoskalnih tal rova. Le v srednjem delu rova, tik pred vrtačo, so se stene tako zožile, da živoskalno dno rova ni bilo več daleč, verjetno na koti okrog 395 metrov. Vrtini, ki sta bili narejeni v tem delu rova (Dular 1993b), sta dosegli apnenec na koti 396 metrov, vendar ni nujno, da sta zadeli apnenec na najnižjem oziroma reprezentativnem mestu rova.

Skalni relief na stenah rova

Živoskalni strop rova je bil ohranjen le v delu rova, ki vodi iz vrtače proti severozahodu. Strop je bil debel le še okrog metra. V delu rova, kjer je



Slika 14.3: Brezstropa jama pri Povirju. Tloris in shematični prerez rova in vrtače.



Slika 14.4: V Brezstropi jami nastala manjša korozijska vrtača.



Slika 14.5: V steni izkopane brezstropne jame se lepo vidijo stenski žlebovi in značilna barva sedimenta, ki tik ob steni prehaja v rdečkasto. Sledovi epikraškega razpadanja sten so vidni le v zgornjem delu jamskih sten.

strop manjkal, oziroma v izkopanem sedimentu je bilo le nekaj skal, ki so plavale v sedimentu, vendar ni bilo mogoče ugotoviti, ali gre za dele jamskega stropa ali skale, ki so se odkrhnile od gornjega dela sten. V sedimentu so bili najdeni tudi posamezni do pol metra dolgi stalaktiti.

Stene rova so bile navpične, mestoma celo previsne. Na stenah so se ohranili sledovi oblikovanja v jamskem okolju, sledovi korozijskega oblikovanja ob stiku s sedimentom ter sledovi mehanskega in korozijskega preoblikovanja v subkutani coni krasa.

Od jamskih oblik so bile najbolj izrazite stenske zajede, to so bolj ali manj vodoravni polkrožni žlebovi, ki nastanejo v višini vodne gladine ali toka, pa tudi v višini odloženega sedimenta v jami. Podobne, v smeri vodnega toka nagnjene zajede najdemo v ponornih jamah, ki prenašajo prod (slika 14.8).

V jami so zajede nastale in se ohranile na več mestih. Običajno so bile dve ali tri vzporedno. Visoke so od 20 do 60 centimetrov, globoke od 12 do 20 centimetrov ter do 7 metrov dolge. Ob njih se je ponekod odložila ilovica, drugod pesek in prod.



Slika 14.6: Značilni sediment v jami je prod flišnega peščenjaka in karbonatni prod, v katerem je prišlo do redukcije.



Slika 14.7: Konglomerat, ki je nastal pod sigovo kopo, je zaradi s karbonati zasičene vode ohranil v sedimentih tudi karbonatne prodnike.

Izmerili smo vpad zajed na sedmih mestih, pet zajed je bilo nagnjenih od severozahoda proti jugovzhodu, pri dveh pa vpada nismo mogli izmeriti, očitno sta nastali pri mirujoči gladini ali ob sedimentu. Naklon zajed je bil različen, od 1,5 % do 3,9 %, oziroma padec 10 centimetrov na razdalji 5 metrov. Če izključimo možnost tektonskega nagibanja terena od časa, ko so zajed nastale, je bila smer vodnega toka proti jugovzhodu. Več vzporednih zajed kaže na zapolnjevanje jame s sedimenti ali pa na večkratno spremembo višine zapolnitve.

Fasete so plitve, do nekaj centimetrov dolge vdolbinice, ki jih oblikuje vrtinčasti vodni tok. Če

jih je več skupaj, lahko iz njihove oblike zanesljivo sklepamo na smer vodnega toka, iz poprečne velikosti pa na njegovo hitrost. Našli smo jih na več mestih, vendar so bile le na dveh dobro ohranjene. Fasete na stenski zajedi so se ohranile na površini okrog 0,5 m², vendar so bile poškodovane. Fasete v severnem delu jame pa je pokrila plast sige, ki je popolnoma ohranila njihovo obliko. Sigo se je dalo odluščiti od stene in tako razgaliti fasete. Poprečna velikost faset je bila 2 do 3 centimetre, kazale pa so smer toka proti jugovzhodu. Takšni fasete nastanejo v vodnem toku s hitrostjo okrog 1 m/s.

Oblike, nastale zaradi zapolnitve rova s sedimenti in prstjo

Kjer se prst ali naplavina stika z apnencem, prihaja do enakomernega vlaženja skale z agresivno vodo. To povzroči ploskovno korozijo, ki poškoduje prejšnje, v drugačnih pogojih nastale oblike. Takšen način preoblikovanja zajame tudi posamezne skale, ki plavajo v sedimentu.

Na nekaj mestih v rovu je površino skale prekrila siga in jo tako popolnoma ohranila, medtem ko je korozija v neposredni sosesčini odstranila bolj ali manj debel sloj kamnine. Na takih mestih smo lahko ocenili obseg subkutane korozije od časa, ko je bila jama zapolnjena s sedimentom. Ploskovna subkutana korozija je odstranila največ 5–20 milimetrov površinskega sloja kamnine. Na več mestih so bila v rovu središča močnejšega navpičnega prenikanja in z njim povezanega spiranja, kar se je izražalo kot prodor rjave površinske prsti v jamski sediment. Na skali pa so nastali navpični in plitvi žlebovi v skali, skala pa ni imela belega poprha, značilnega za subkutano korozijo.

V rovu so bile opazne poškodbe sten, ki jih je povzročilo zniževanja zemeljskega površja oziroma približevanje površja in jame. V rovu pa so ti pojavi izraženi kot večja gostota razpok in korozijsko razširjenih, z rdečo ilovico zapolnjenih razpok v vrhnjem delu sten rova do okrog metra in pol pod površjem.

Jamski sedimenti

Jamski rov je bil v celoti zapolnjen s sedimenti in prstjo. Na površju je bila okrog 10 centimetrov debela plast rjave prsti, navzdol je sledila od pol metra do metra debela plast terre rosse, ki je prešla v klastične sedimente, ilovice, peske in prode s prevladujočo in značilno rumenorjavo barvo. Sediment so sestavljali delci od velikosti melja do 25 centimetrov velikih prodnikov. Vzorci so bili analizirani z rentgensko difrakcijsko metodo, napravljeni pa so bili tudi mikroskopski zbruski nekaterih sedimentov (Mihevc, Zupan Hajna 1996). Barvo ilovicam in

peskom smo določali z Munsellovimi barvnimi tabelami.

Prevladovali so nekarbonatni prodniki iz flišnega peščenjaka. Največji prodnik je imel daljšo os, dolgo 25 centimetrov, največ pa je bilo okrog 5 centimetrov velikih prodnikov. Bili so dobro zaobljeni. Ko so se posušili, so razpokali in razpadli na manjše kose. Med njimi je bilo nekaj patiniranih karbonatnih prodnikov. Prodniki, tudi največji, so ležali v kremenčevem pesku, ki je verjetno nastal z razpadom dela prodnikov (slika 14.6).

Posebnost med prodi predstavljajo močno prepereli, porozni silikatni kamni, roženčeve oblike, velike do 20 centimetrov. Ti kamni so zaobljeni, vendar imajo številne enako zaobljene vdolbine, katerih zaobljenost pa ne more biti posledica fluvialnega transporta. Površje kamnov je gladko, ter prevlečeno s tanko bleščečo črno prevleko.

Konglomerat je bil najden na enem mestu. Tvoril je bazo meter debeli sigovi kopi (slika 14.7). Gre za pravi jamski konglomerat, ki je nastal na mestu kapljanja sigotvorne vode in kaže na odlaganje proda in rast sige v istem obdobju. Sestavljali so ga do 15 centimetrov veliki prodniki iz flišnega peščenjaka, med njimi pa je bilo tudi več prodnikov iz apnenca. Delež teh prodnikov pa je bil večji kot v nesprijetemrodu, kar kaže na njihovo korozijo.

Peski so se pojavljali v obliki lečastih teles ali lamel v ilovici, med prodi ali samostojno. Prevladujoča barva peskov je bila rumenorjava. V zgornjem delu profila sedimentov, ob stiku s *terro rosso*, pa je njihova barva prehajala v enako barvo. Enako je bilo moč opazovati čiste peske z rumenorjave barve (10YR 5/6), ki so ob steni rova spremenili barvo v rdečerjavo (2,5YR 4/8), čeprav je šlo nedvomno za sediment iste plasti.

Mineraloška analiza peskov pokazala precej enako sestavo, večino so tvorila silikatna zrna (97 % ali več), preostali minerali so le v sledih. Zrna so slabo zaobljena in se po zaobljenosti ne ločijo od zrn peska v flišnih prodnikih. Peski se ločijo od barvi, ta pa izvira le iz površinske obarvanosti,



Slika 14.8: Pogled na Brezstropo jamo, potem ko so ji že začeli nasipati in utrjevati dno. Na stenah rova so vidni stenski žlebovi, v levem delu slike pred avtomobilom pa tudi ostanek erodirane sigove kope.

rumeno barvo jim daje goethit, rdečo pa hematit, minerala, ki sta bila zastopana v sledovih (Mihevc, Zupan Hajna 1996).

Pesek izvira iz flišnih peščenjakov, nastal pa je z razpadom prodnikov, kar se je zgodilo lahko že med rečnim transportom ali šele v jami. Različna obarvanost peska izvira iz pogojev sedanjega okolja. Eolski izvor zrn ni verjeten, saj sedimentacijsko okolje, prod, siga in ilovica ne kažejo na suho klimo.

Ilovica (meljne glinice s primesmi) so bile v jami pomešane s plastmi ali lečami peskov, pa tudi proda. Posebnost ilovic so močno povite varvaste sedimentacijske strukture, kar kaže na močno pregnetenje plastičnih sedimentov v času po odložitvi. Prevladujoča barva ilovic je bila v spodnjem delu profila rumenkastorjava (10YR 5/8), v gornjem pa je prešla v rdečo barvo terre rosse, enako pa je spremenila barvo tudi ob stenah rova, tako da je ob steni rumenkastorjava ilovica prešla v pas

rdeče ilovice. Po mineraloški sestavi med obema vrstama ilovice ni bilo bistvenih razlik. V njej prevladujeta kremen (nad 90 %) in illit.

Siga se je v jami ohranila v obliki skorij, masivnih sigovih kop, prostostojećih stalagmitov, našli pa smo tudi nekaj odlomljenih stalaktitov. Poleg te, stare sige, je ob stenah jame na nekaj mestih siga še nastajala v korozijsko razširjenih subkutanih razpokah, vendar se je ta siga od stare precej razlikovala.

Največ stare sige je bilo v severozahodnem delu jame. Očitno smo bili v tem delu rova bliže njegovemu nekdanjemu stropu. Tu se je ohranilo nekaj masivnih kop, nekaj zaves in celo kapniški steber brez stropa nad sabo.

V severovzhodnem delu je v razširitvi rova nastala velika sigova kopa, njena baza je nastala hkrati z odlaganjem proda. Severno od nje se je v več kot meter debelo sigovo plast vrezala stenska zajeda. Ta siga je torej starejša kot zadnja faza

oblikovanja sten jame. Vzorec sige s tega mesta je bil datiran z $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$ -metodo, ki pa je pokazala, da starost sige presega 350 tisoč let, kolikor je meja te metode.

PRIMERJAVA SEDIMENTOV IZ RAZLIČNIH JAM V TRASI AVTOCESTE

Najdbe kremenčevih peskov, prodov in ilovic na Krasu so bile že večkrat opisane. Brezstropi jami se zdi še najbolj podobna jama oziroma ostanek jame v Lipovih dolinah (Pleničar 1954). V jami, ki ji manjka strop, so kopali kremenčev pesek in na površju pustili veliko sigovo kopo. O kremenovih peskih poročajo tudi D'Ambrosi in Legnani (1965), Habič (1992), Radinja (1972) in drugi.

Podobni sedimenti, kakršni se nahajajo v Brestropi jami, so bili ob gradnji avtoceste najdeni še na več drugih lokacijah. Na ledini Grintavca med Češnjevcem in Dolom Rebidnik, v Bojnem dolu, v več jamah v Divaškem hribu, v več manjših jamah med Povirjem in Žirjami, ter v treh velikih brezstropih jamah med tunelom pod Taborom (484 m) in državno mejo.

Pri sedimentih, v vseh primerih je šlo za jamske sedimente, se je pokazalo nekaj izrazitih skupnih potez, pa tudi nekaj razlik, ki so posledica individualnega razvoja vsake jame.

Skupna poteza sedimentov je značilna barva. Večja telesa sedimenta imajo rumenorjavo barvo, ki ob robovih, na stiku s steno, tik pod površjem in v conah navpičnega spiranja prehaja v rdečo. Na teh mestih se tudi nekoliko spremeni mineralna sestava, ki priča o migraciji snovi s površja ali oksidaciji nekaterih mineralov.

Ilovice so mineraloško podobne, večina kaže pasovite, a močno pregnetene sedimentacijske strukture. Po mineralni sestavi je v peskih in glinah prevladoval kremen, ki ima očitno izvor v flišnih kamninah. Prodnike iz flišnega peščenjaka in roženčeve oblice smo našli le v Brestropi jami ter približno kilometer severozahodno od nje. V

Bojnem dolu in na Grintovcu pa so bili roženčevi prodniki, kakršnih v Brezstropi jami ni bilo. Ta razlika v sestavi se zdi pomembna in jo bo treba podrobneje preučiti.

Izrazite razlike pa so v pojavljanju ali odsotnosti sige, podornih skal ali ostrorobatega gruča na alohtonih sedimentih, kar kaže na način odpiranja posameznih jam na površje.

LEGA BREZSTROPE JAME V PROSTORU IN ČASU

Na osnovi oblike sten ter sedimentov lahko rekonstruiramo del razvoja Brezstrope jame. Jama je ostanek večjega jamskega sistema (slika 14.8), ki je prevajal vode ponikalnic s fliša. Ohranjeni del rova je ležal globoko pod površjem. Skozi jamo je tekla ponikalnica, ki je nosila velike prodnike, po njihovi velikosti in po velikem deležu prodnikov iz flišnega peščenjaka (Kranjc 1986; 1989) lahko sklepamo, da ponori niso bili daleč stran. Pretok vode je nihal od nekaj deset l/s do več m³/s. Smer toka v jami je bila jugovzhodna.

Danes je najbližji fliš nad dolino Raše oddaljen okrog 5 kilometrov, Brkinski fliš, ki leži jugovzhodno pa je še dlje, 7 kilometrov stran. Očitno je bil tedaj fliš še kje bliže jami, verjetno na Divaškem Gabrku, ki ga danes grade paleogenski apnenci in je le nekaj kilometrov stran. Verjetno ga je tedaj pokrival fliš, ki je v stratigrafskem stolpcu le okrog 100 metrov višje.

Med ponori in jamo vodni tok ni imel pomembnih ovir. Zunanji vplivi se niso odrazili na oblikovanje kapnikov in sigovih kop, rast kapnikov je bila večkrat prekinjena s fazami erozije ali zasipavanja. Ena od takih erozijskih faz jame se je odrazila tudi na sigi, katere starost presega 350 tisoč let. Jama je bila nato zapolnjena s fluvialnimi sedimenti. Zapolnitev je preprečila nadaljnje zapolnjevanje s sigo, podiranje stropa pa tudi korozijsko preoblikovanje sten. Jama se ni več spreminjala, spreminjala pa se je njena okolica.

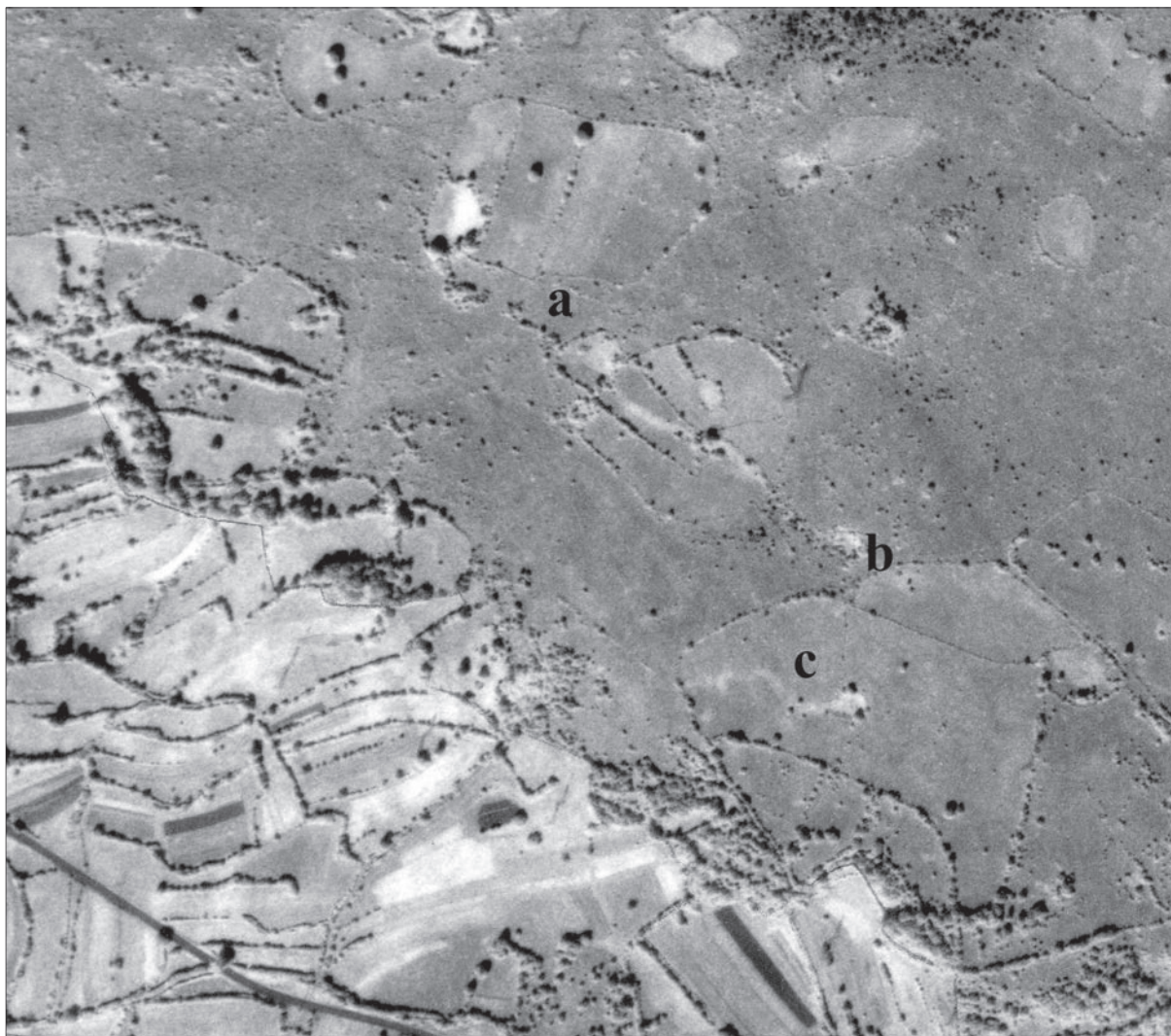
V podobni višini, kot je bila Brezstropa jama,

poznamo v bližini še več vodoravnih jam. Ena od njih je Trhlovca, ki leži tik nad jugozahodnim koncem Divaške jame v višini med 404 in 420 metri. Jama je le krajši meandrast rov, ki je večinoma zapolnjen s sedimenti, pretežno so to varvaste rumenorjave ilovice z laminami peska, prek njih pa je na vrhu ponekod odložena debela siga. Na stenah rova so se ohranile fasete in stenske zajede. Dimenzije rova, predvsem njegova širina, tip sedimentov in nadmorska višina pa močno spominjajo na Brezstropo jamo.

Precej večja je Divaška jama. Vhod vanjo je le 2,5 kilometra južno od Brezstrope jame v nadmorski višini 426 metrov. Že na vhodu lah-

ko opazimo masivne natoke sige, ki segajo danes prav do površja. V jami je v višinah od 356 do 390 metrov nad morjem odložena rumenorjava pasovita in prek nje rdeča ilovica (Gospodarič 1985), ter več generacij masivne sige. Od vhoda vodi velik rov 600 metrov proti jugozahodu. Po Gospodariču naj bi se rumenorjava ilovica odložila v mindelski ledeni dobi, rdeča ilovica pa naj bi bila s površja sprana terra rosa. V jamo je bila sprana v topli mindelskoriški medledeni dobi.

Od vhoda proti severozahodu je nadaljevanje Divaške jame zasuto. V tej smeri, 250 metrov od vhoda, je pobočje Gorenjskega Radvanja v nadmorski višini od 390 do 415 metrov prerezalo



Slika 14.9: Na letalskih posnetkih je v infrardeči tehniki brezstropa jama (a–b) vidna kot pas svetlejših, to je toplejših tal. Del jame, ki se je ohranil (c), je na sliki št. 14.2.

s sedimenti, rumenorjavimi ilovicami in sigami zasut rov. S podobno velikostjo kot Divaška jama je lahko njeno nadaljevanje. Med ilovicami smo našli tudi prodnike iz roženca.

Podobni sedimenti in enaka nadmorska višina postavlja obe jami ter zasuti rov v Radvanju v isti časovni okvir z Brezstropo jamo. Vanj sodi tudi ostanek jame v Lipovih dolinah, ki ji lahko sledimo po podolgovatih vrtačah, v katerih se občasno pojavlja siga in rumena ilovica več sto metrov daleč.

Starosti Brezstropo jame zaenkrat še ne moremo natančno določiti. Pomagamo si lahko le posredno, s hitrostjo, s katero se znižuje površje. Deževnica in skozi prst prenikajoče voda izrabita večji del svoje sposobnosti raztapljanja v prvih metrih pod površjem (Gams 1962b). To povzroča ploskovno zniževanje površja, v jami pa, ki jo je zapustil vodni tok in je popolnoma zapolnjena s sedimentom, se ne dogaja nič več. Sčasoma površje doseže jama in jama preprosto izgine. Gams (1962b) je z merjenjem v rekah raztopljenega apnenca in pretokom rek izračunal, da se površja porečij Ljubljance, Soče in Krke znižujejo s hitrostjo meter v 16,6, 12,0 in 17,2 tisoč letih oziroma da se je površje v porečjih navedenih rek v milijon letih znižalo za 60, 83 in 58 metrov. Podobne vrednosti naj bi veljale tudi za porečje Reke oziroma za Kras. Predpostavljeno debelino stropa 50 do 100 metrov nad Brezstropo jamo bi lahko korozija odstranila v 750 tisoč do milijon in 500 tisoč letih, jama oziroma zapolnitev pa je verjetno še starejša.

Starost Brezstropo jame je opredeljena s časom, v katerem se je gladina prostotekočih rek, takšna je tekla skozi jama, spustila od 400 metrov na 180 metrov nad morje. Reka, ki danes ponika v Škocjanskih jamah v nadmorski višini 317 metrov, teče skozi Kačno jama v višinah med 156

in 180 metrov. Njen skrajni severozahodni del, Cimermanova dvorana, ki je od Brezstropo jame oddaljena 1200 metrov, je v nadmorski višini 180 metrov nad morjem oziroma 220 metrov niže.

V okolici Brezstropo jame lahko torej računamo na 220 metrov globoko vadozno cono, to je cono, kjer prevladuje navpično prenikanje, rast brezen ter spiranje sedimentov in prsti navzdol, ki pa očitno ni enakomerno razporejeno, saj so v jami ostali še vsi sedimenti. V bližini jame sta nastali dve vrtači, ena od njiju se je stikala z jamskim rovom. Njun vpliv na jama je bil minimalen. V delu, kjer vrtača reže starejši rov, je sediment očitno spolzel v dno vrtače, vpliv vrtače pa ni segel naprej, kar kaže na majhno bočno premikanje sedimenta. To, kot kaže, tudi v hladnih pleistocenskih klimah ni bilo veliko seveda, če ni vrtača mlajša. Če k temu dodamo še debelo rdečo prst v dnu vrtače, lahko ugotovimo, da tudi spiranje prsti skozi dno vrtače ni zelo intenzivno.

Podobne jame kot Brezstropa so na Krasu pogoste. V njih so ponekod kopali sigo za okrasni kamen, kremenčev pesek ali ilovico. Kljub temu pa so takšne najdbe, predvsem s fliša izvirajočih kremenovih peskov in roženčevih prodnikov, pripisovali predvsem površinski Reki, ko naj bi ta še v predkraški fazi tekla po površju. Njeni sedimenti, prineseni s flišnega obrobja pa naj bi bili sprani v jame šele kasneje.

V Brezstropi jami gre nedvomno za fluvialne sedimente, odložene v jami. Obsežna dela na avtocesti, kakršnih do sedaj na Krasu še ni bilo, pa so pokazala, da je takšnih jam veliko in da je verjetno večina površinskih nekarbonatnih sedimentov na Krasu jamskih, kar prestavlja površinski predkraški tok Reke še dlje v preteklost. Površje Krasa je bilo preoblikovano do te mere, da v njem ne moremo več iskati ostankov predkraškega reliefa.

SESTAVA IN IZVOR KLASTIČNIH SEDIMENTOV IZ VRTAČ IN BREZSTROPIH JAM PRI DIVAČI

ANDREJ MIHEVC, NADJA ZUPAN HAJNA

Pri gradnji avtoceste v okolici Divače je bilo pri gradbenih delih odkopanih večje število vrtač in z mehanskimi sedimenti zapolnjenih jam. V nekaterih od njih so bili klastični sedimenti podrobneje preiskani (slika 15.1). Analiza sedimentov je pokazala, da so bile nekatere depresije pravzaprav stare jame, zapolnjene s fluvialnimi alohtonimi sedimenti, kasneje pa zaradi zniževanja površja odprte na površje in spremenjene v površinske depresije. S pomočjo analize sedimentov smo lahko v okolici Divače ločili nekatere vrtače od erodiranih jamskih rovov. Jamski sedimenti, ki jih najdemo na površju Krasa, se od površinskih sedimentov razlikujejo in so lahko pomemben razpoznavni znak za ločevanje korozijskih vrtač od v vrtače spremenjenih podzemnih votlin. Podobni sedimenti, kakršni so bili najdeni na trasi, so bili doslej na Krasu že večkrat opaženi in tudi opisani. Običajno so jih pripisovali površinskim naplavinam, ostankom nekoč mnogo obširnejšega zasipa nekdanje Reke, ko naj bi ta še tekla prek Krasa (D'Ambrosi, Legnani 1965; Melik 1961; Radinja 1972). Te usedline naj bi se presedimentirane ohranile le v najnižjih delih kraškega površja, v dnu vrtač. Manj pogosto, predvsem le ozko omejeno, so jih posamezni avtorji pripisovali jamski sedimentaciji (Pleničar 1954; Habič 1992). Posebnost opisanih najdb je nesporno jamsko sedimentacijsko okolje, velika ploskov-

na razširjenost in velike količine sedimentov. To ponuja možnost razlage izvora številnih sedanjih površinskih sedimentov kot ostankov jamskih sedimentov, ki so zaradi ploskovnega zniževanja površja prišli na površje. Poleg možnosti razlage razvoja posameznih oblik pa količina in položaj fluvialnih sedimentov kažeta, da je verjetno večina do sedaj na površju Krasa najdenih alohtonih sedimentov jamskega porekla in ne ostanek površinsko tekočih voda, na primer Reke.

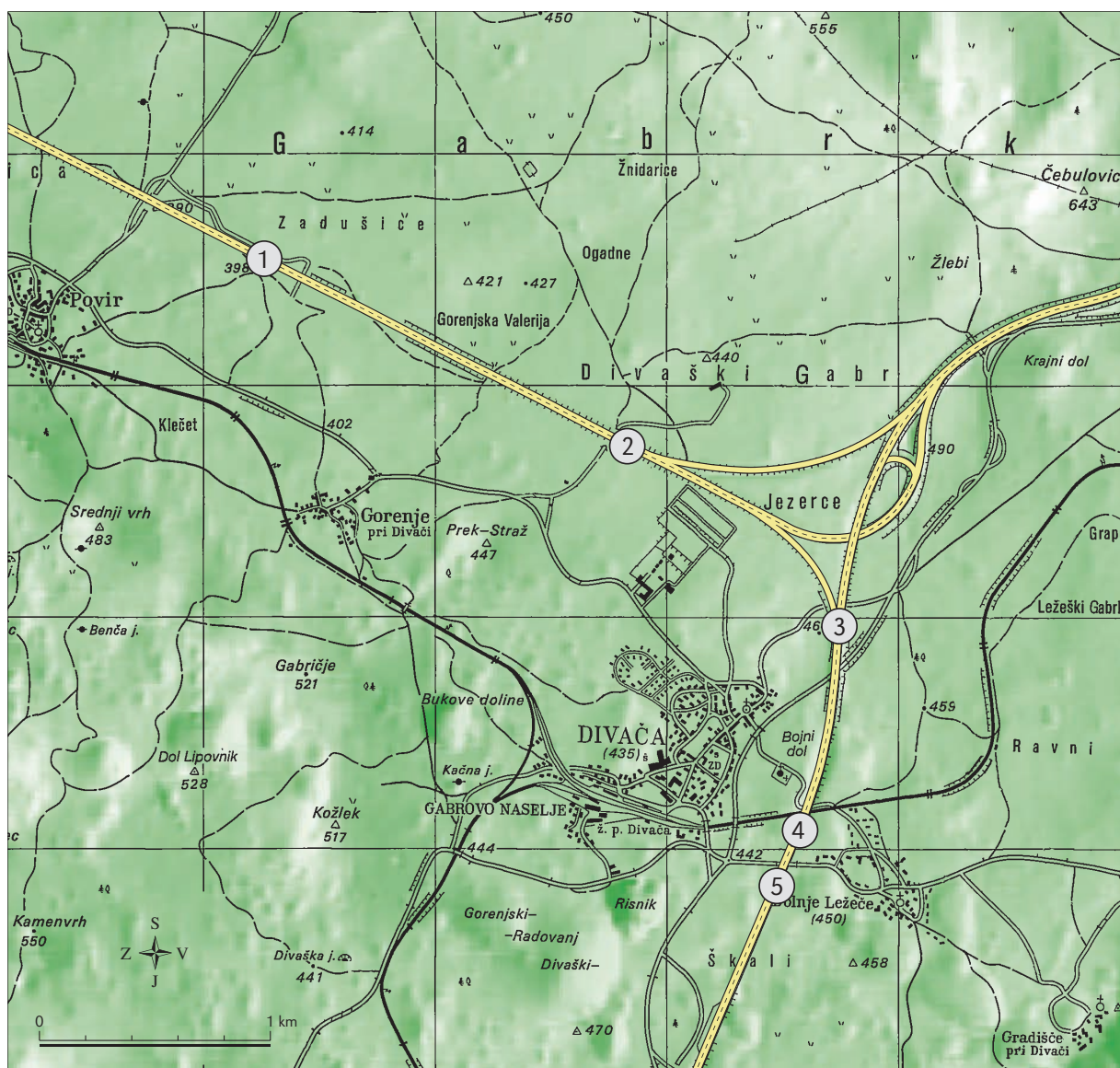
Kvalitativna mineralna sestava vzorcev je bila določena z metodo praškovne rentgenske difrakcije. Vzorci so bili analizirani z difraktometrom Philips na Oddelku za geologijo Naravoslovno-tehniške fakultete. Pogoji snemanja so bili anoda $\text{Cu}_{\text{K}\alpha}$, pri napetosti 40 KV in toku 30 mA, uporabljena sta bila Ni-filter in proporcionalni števec ter avtomatska divergenčna zaklopka. Snemanje je bilo zvezno, s hitrostjo $2^\circ 2\Theta/\text{min}$ v območju kota 2Θ od 2° do 70° . Nekateri vzorci pa so bili pregledani tudi v zbruskih. Količina mineralov v vzorcih je podana z odstotki, ki pa ne predstavljajo absolutne količine posameznega minerala v vzorcu, ampak preračunan delež minerala v vzorcu glede na višino njegovega glavnega odboja. Zato so odstotki samo informativne narave in primerjalni. Razlika med vsebnostjo posameznih mineralov v zbruskih in vzorcih, ki so bili preiskani z metodo praškovne rentgenske difrakcije,

obstaja, ker se mineralov, ki jih je manj kot 3 %, z metodo ne zazna, goetit in hematit, ki sta prekrivala druga mineralna zrna, pa je bilo opaziti samo v zbruskih. Plagioklazi v vzorcih niso bili določeni, ker jih ni bilo v zadostni količini in so njihove odboje prekrivali odboji drugih, številčneje zastopanih mineralov. Enako je bilo z vsemi minerali, ki so nastopali v sledovih, pa tudi samo ozadnje je bilo kar precej visoko.

NAHAJALIŠČA IN OPIS ALOHTONIH KLASTIČNIH SEDIMENTOV V POVRŠINSKIH DEPRESIJAH

BREZSTROPA JAMA PRI POVIRJU

Na odseku ceste severno od Divače je bilo v osi cestišča podolgovato območje s slabšimi geomehanskimi lastnostmi. Vrtine (Dular 1993a) so pokazale, da gre za depresijo, zapolnjeno z mehansko slabo nosilnimi sedimenti. Ko so gradbeniki odstranili rušo in vrhnji sloj prsti, rdeče



Slika 15.1: Nahajališča opisanih sedimentov. Legenda: 1. Brezstropa jama, 2. Profil 650, 3. Divaški hrib, 4. Bojni dol, 5. Grintavca.

ilovice in ostale sedimente, je postalo jasno, da gre za star jamski rov, ki ga je na sredini prekinjala plitva vrtača (slika 14.3). V rovu so se ohranili siga, kapniki, skalni žlebovi in fasete. Rov je bil pred deli na trasi komaj zaznaven kot plitva uleknina. Na aeroposnetkih infrardečega dela spektra v črno-beli tehniki (ciklično snemanje SRS 1980) je dobro viden kot pas svetlejših, to je toplejših tal. V bližini, vendar že izven trase ceste, smo videli še sledove več podobnih jam. Celoten rov, izkopanih je bilo 320 metrov do 5 metrov globokega rova oziroma okrog 6900 m³, so zapolnjevali alohtoni fluvialni jamski sedimenti. V rovu so bile najdene rumenorjave ilovice, kremenov pesek in prodniki veliki do 25 centimetrov. Globina izkopa je bila v večjem delu rova 3 do 4 metre, vendar ni nikjer dosegla živoskalnih tal. Jamske oblike na stenah rova so se ohranile na več mestih. V severnem delu jame je fasete pokrila plast sige, ki je popolnoma ohranila njihovo obliko. Povprečna velikost faset je bila 2 do 3 centimetre. Na nekaj mestih v rovu je površino skale prekrila siga in jo tako popolnoma ohranila, medtem ko je korozija v neposredni soseščini odstranila bolj ali manj debel sloj kamnine. Na takih mestih smo lahko ocenili obseg subkutane korozije od časa, ko je bila jama zapolnjena s sedimentom. Ploskovna subkutana korozija je odstranila največ 5 do 20 milimetrov površinskega sloja kamnine. Na več mestih so bili v rovu področja močnejšega navpičnega prenikanja in z njim povezanega spiranja, kar se je izražalo kot prodor rjave površinske prsti v jamski sediment. Na skali so nastali navpični plitvi žlebovi. V sedimentu, ki je zapolnjeval rov, ni bilo ostankov ali znakov podiranja. Med izkopanim sedimentom je bilo le nekaj skal, ki so plavale v njem, vendar ni bilo mogoče ugotoviti, ali gre za dele jamskega stropa ali skale, ki so se odkrhnilo od gornjega dela sten. V sedimentu so bili najdeni tudi posamezni do pol metra dolgi stalaktiti. Na površju je bila okrog 10 centimetrov debela plast temnordečkastorjave prsti (2YR 3/3), navzdol je sledila od pol metra do metra debela plast terre rosse (2,5YR 4/8), ki je navzdol prešla v klastične

sedimente, ilovice, peske in prode s prevladujočo rumenorjavo barvo.

Večina sedimentov izvira iz nekarbonatnega sosedstva. Sedimentacijske razmere v rovu so se spreminjale na kratko razdaljo. Leče peskov in proda so se izklinjale ter prehajale v drobnejše frakcije. Mestoma so bili prodi zlepljeni v bazi masivnih sigovih kop. Plasti sedimentov so bile močno povite, kar kaže na premikanje sedimenta po odložitvi v jami. Vzorčevani so bili značilni tipi sedimentov. Na sliki 14.3 je prikazan tloris jame z označenimi lokacijami posameznih analiziranih vzorcev. Zanimal nas je predvsem izvor klastičnih sedimentov in možnost njihove primerjave s sedimenti, ki smo jih našli drugod v trasi. Rekonstrukcija sedimentacijskih razmer v rovu zaradi hitre menjave granulometrije in strojnega izkopa ni bila mogoča (slika 15.2).

Prod

V jami so prevladovali dobro zaobljeni nekarbonatni prodniki iz flišnega peščenjaka, veliki okrog 5 centimetrov. Največji prodnik med njimi je imel daljšo os dolgo 25 centimetrov. Nekateri so se posušili, razpokali in razpadli na manjše kose. Med njimi je bilo tudi nekaj patiniranih karbonatnih prodnikov. Prodniki, tudi največji, so ležali v kremenčevem pesku. Konglomerat, ki je nastal na mestu prehajanja sigotvorne vode skozi prodni zasip, kaže na odlaganje proda in rast sige v istem obdobju. Sestavljali so ga do 15 centimetrov veliki prodniki iz flišnega peščenjaka, med njimi je bilo tudi več apnenčevih prodnikov. Delež apnenčevih prodnikov je bil večji kot v nescementiranemrodu, kar kaže na njihovo korozijo v njem.

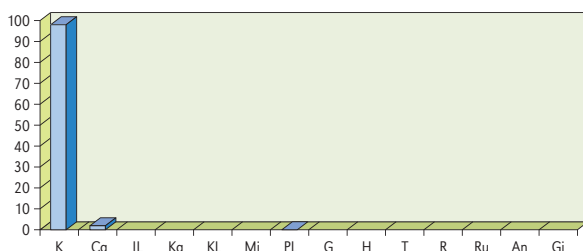
Roženčeve oblice so posebnost med prodi. Najdene so bile po celem rovu, med prodi in tudi med kremenčevimi peski v jugovzhodnem delu jame. V vzorcu roženčeve oblice (slika 15.3) iz severozahodnega dela jame je prevladoval kremen z 98 %, kalcit je bil zastopan s samo 2 % in plagioklaz je bilo zaznati v sledih. Iz prodnika je bil narejen tudi zbrusek, v katerem je bila opazna silifikacija biomikritnega apnenca.



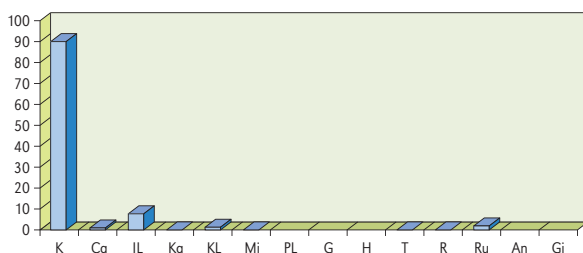
Slika 15.2: Brezstropa jama pri Povirju. Pogled na jamo, potem ko so iz nje izkopalni sedimente.

Peski in ilovice

Peski so se pojavljali v obliki lečastih teles ali lamel v ilovici, med prodi ali samostojno. Prevlada



Slika 15.3: Vzorec 1: Kremenov prodnik iz severozahodnega dela Brezstropne jame. Rentgen: K – kremen 98 %, Ca – kalcit 2 %, v sledovih je PL – plagioklaz; IL – illit, Ka – kaolinit, KL – klorit, Mi – mikroklin, G – goethit, H – hematit, T – turmalin, R – rogovača, Ru – rutil, An – anataz, Gi – gibbsit.



Slika 15.4: Vzorec 2: Rumenojjava ilovica iz Brezstropne jame. Rentgen: K – kremen 90 %, IL – illit 8 %, Ca – kalcit 1 %, KL – klorit 1 %, v sledovih so T – turmalin, Ka – kaolinit, Mi – mikroklin, R – rogovača in Ru – rutil; PL – plagioklaz, G – goethit, H – hematit, An – anataz, Gi – gibbsit.

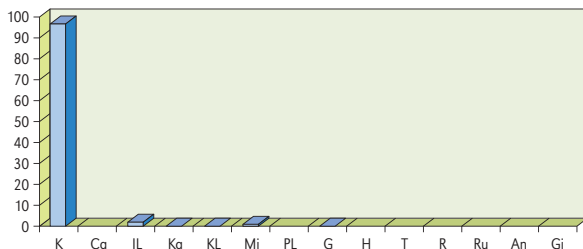
dujoča barva peskov je bila rumenorjava. V zgornjem delu profila sedimentov, ob stiku s terro rosso, pa je njihova barva prehajala v rdečo. Enako je bilo mogoče opazovati izprane peske rumenkastorjave barve (10YR 5/6), ki so ob steni rova spremenili barvo v rdečo (2,5YR 4/8), čeprav je šlo nedvomno za sediment iste plasti. Med peski so bili ponekod še ostanki nerazpadlih prodnikov iz flišnega peščenjaka. Ilovice so bile v jami pomešane s plastmi ali lečami peskov, pa tudi proda. Posebnost ilovic so močno povite varvaste sedimentacijske strukture, kar kaže na močna pregnetenja plastičnih sedimentov v času po odložitvi. Prevladujoča barva ilovic je bila v spodnjem delu profila rumenkastorjava (10YR 5/8), v gornjem pa je ostro prešla v rdečo (2,5YR 4/8). Enako je spremenila barvo tudi ob stenah rova, tako da je ob steni rumenkastorjava ilovica prešla v pas rdeče ilovice.

Vzorec rumenorjave ilovice (slika 15.4) je iz jugovzhodnega dela jame. V rumenorjavi ilovici so bile prisotne leče peska, ki so na vrhu profila prehajale v rdeče ilovice. Rumenojjava ilovico je v 90 % sestavljal kremen, illita je bilo 8 %, kalcita in klorita po 1 %. Turmalin, kaolinit, mikroklin, rogovača in rutil so bili prisotni v sledih. Ta rumenojjava ilovica je jamska ilovica, po svojem izvoru pa izhaja iz preperelih ostankov eocenskega fliša. Vsebnost glinenih mineralov je v tem vzorcu bila višja kot v vzorcu številka 3.

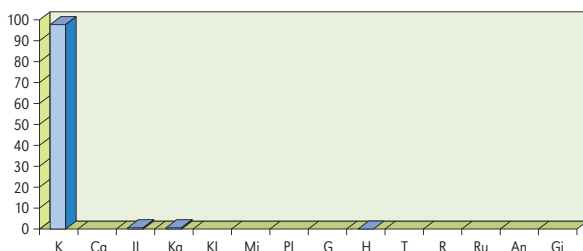
Peščeno lamino (slika 15.5) iz rumenorjave ilovice sestavlja 97 % kremen, 2 % illita in 1 % mikroklin, medtem ko se kaolinit, klorit in goethit nahajajo v sledih. Pesek je dobro spran, saj ga sestavljajo večinoma kremenova zrna. Prisotnost ostalih mineralov pa kaže na izvor peska iz kremenovega peščenjaka, ki je sestavni del eocenskega fliša.

V vzorcu prevladuje rdeči pesek (slika 15.6) iz stika med sedimentom in jamsko steno. V njem prevladuje kremen z 98 %, illita in kaolionita je po 1 %, medtem ko je hematit prisoten v sledih. Hematit predstavlja predvsem pigment na zrnih ostalih mineralov in je nastal pri oksidaciji (dehidraciji) goethita. Proces prehoda goethita v he-

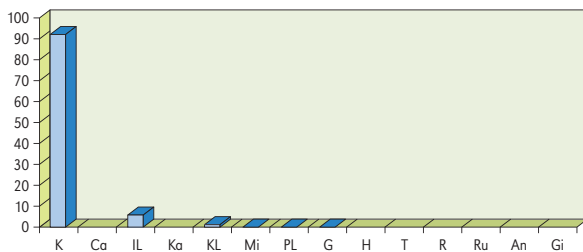
matit je bil prisoten v jamskem sedimentu, ki je v stiku z jamsko steno, po kateri je imela do sedimenta dostop meteorna voda, bogata s kisikom. Tudi ta pesek je bil odložen v jami in ima izvor v preperlem flišnem peščenjaku.



Slika 15.5: Vzorec 3: Peščena lamina iz rumenorjave ilovice iz Brezstropne jame. Rentgen: K – kremen 97 %, IL – illit 2 %, Mi – mikroklin 1 %, v sledovih so Ka – kaolinit, KL – klorit and G – goethit; Ca – kalcit, PL – plagioklaz, H – hematit, T – turmalin, R – rogovača, Ru – rutil, An – anataz, Gi – gibbsit.



Slika 15.6: Vzorec 4: Rdeč pesek s stika s steno jame v Brezstropi jami. Rentgen: K – kremen 98 %, IL – illit 1 %, Ka – kaolinit 1 %, v sledovih je H – hematit; Ca – kalcit, KL – klorit, Mi – mikroklin, PL – plagioklaz, G – goethit, T – turmalin, R – rogovača, Ru – rutil, An – anataz, Gi – gibbsit.



Slika 15.7: Vzorec 5: Rumeni ilovnat pesek izpod sigove kope v Brezstropi jami. Rentgen: K – kremen 93 %, IL – illit 6 %, KL – klorit 1 %, v sledovih so G – goethit, Mi – mikroklin in PL – plagioklaz; Ca – kalcit, Ka – kaolinit, H – hematit, T – turmalin, R – rogovača, Ru – rutil, An – anataz, Gi – gibbsit.

Rumeni ilovnat pesek (slika 15.7), odložen pod plastjo sige, sestavljajo kremen (93 %), illit (6 %) in klorit (1 %). Goethit, mikroklin in plagioklaz pa so bili prisotni v sledih. Tudi ta pesek je bil odložen v jami, izvira pa – glede na mineralno sestavo – v preperelih ostankih eocenskega fliša.

V rumenem spranem pesku (slika 15.8) prevladuje z 99 % kremen, 1 % je bilo v vzorcu klorita, v sledih so še turmalin, muskovit in cirkon. Goethit je prekrival zrna nekaterih mineralov v obliki tankega filma. Pesek je jamski sediment, ki je bil zelo dobro spran, saj ga sestavljajo skoraj izključno kremenova zrna.

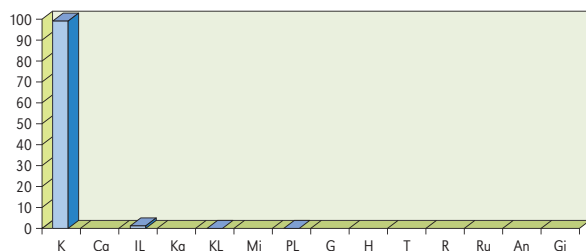
Pesek in ilovica v Brezstropi jami pri Povirju glede na mineralno sestavo izvirata iz flišnega peščenjaka, ki je preperel v različnih stopnjah. V jamo sta bila prinesena v različnih hidroloških obdobjih. Po mineraloški sestavi med obema vrstama ilovice, rdečo in rumenkastorjavo, ni bilo bistvenih razlik. V obeh prevladujeta kremen (nad 90 %) in illit. Eolski izvor zrn ni verjeten, saj niti prod niti ilovica in siga ne kažejo na suho klimo. Odložili so se v času, ko je skozi jamo še tekla reka; način sedimentacije kaže na fluvialni transport ter sedimentacijo, oblika in sestava zrn pa na svoj izvor iz eocenskega fliša.

Zapolnitve s površja

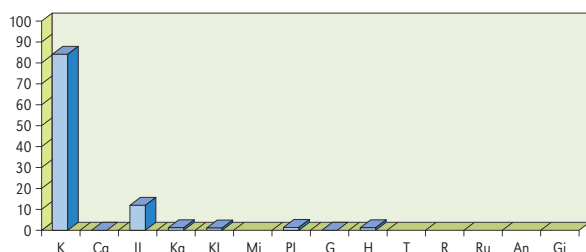
Rdeča ilovica (slika 15.9) je bila v jamo prinesena s površja po razpoki in je bila odložena v bližini rumeno obarvanega peska in ilovice. Ilovica z barvo 2,5YR 4/8 v glavnem sestavlja kremen (84 %) in illit (12 %). Klorita, kaolinita, plagioklaza in hematita je bilo v vzorcu po 1 %, v sledih pa sta bila prisotna goethit in kalcit. Lega sedimenta, predvsem pa njegova sestava, višja vsebnost glinenih mineralov, kaže, da gre za v jamo presedimentirana tla.

V vrtačo (profil A-B na sliki 14.3), ki je v srednjem delu prekinjala jamo, so gradbena dela posegla najprej, tako da nismo mogli zagotovo ugotoviti razmerja med jamo in vrtačo. Očitno pa so jo zapolnjevale do dva metra debele rdeče ilovice, vendar brez rumenih plasti, značilnih za jamski

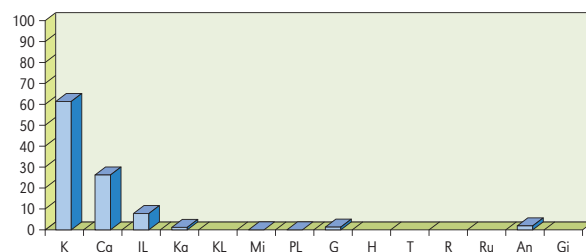
sediment. Kljub temu da je bil rov odprt v vrtačo, sediment iz rova ni spolzel vanjo. Središče vrtače je bilo nekoliko iz osi samega rova. Očitno sta jama in rov nastala in se razvijala povsem samostojno



Slika 15.8: Vzorec 6: Rumena izprana pesek nasproti sigovi kopi v Brezstropi jami. Rentgen: K – kremen 99 %, IL – illit 1 %, v sledovih so KL – klorit in PL – plagioklaz; Ca – kalcit, Ka – kaolinit, Mi – mikroklin, G – goethit, H – hematit, T – turmalin, R – rogovača, Ru – rutil, An – anataz, Gi – gibbsit.



Slika 15.9: Vzorec 7: Rdeča zapolnitev s površja v Brezstropi jami. Rentgen: K – kremen 84 %, IL – illit 12 %, KL – klorit 1 %, Ka – kaolinit 1 %, PL – plagioklaz 1 %, H – hematit 1 %, v sledovih so G – goethit in Ca – kalcit; Mi – mikroklin, T – turmalin, R – rogovača, Ru – rutil, An – anataz, Gi – gibbsit.



Slika 15.10: Vzorec 8: Sivorumena ilovica iz jame na avtocesti na profilu 650⁺¹⁰. Rentgen: K – kremen 62 %, Ca – kalcit 26 %, IL – illit 7 %, An – anataz 2 %, Ka – kaolinit 1 %, G – goethit 1 %, v sledovih so Mi – mikroklin and PL – plagioklaz; KL – klorit, H – hematit, T – turmalin, R – rogovača, Ru – rutil, Gi – gibbsit.

ob različnih začetnih strukturah in v različnih pogojih. Vpliv vrtače na jama je bil zelo majhen.

SEDIMENTI V PROFILU 650 +10

V profilu, ki leži v nadmorski višini 408 metrov, približno kilometer jugovzhodno od Brezstrope jame pri Povirju, sta bili prerezani dve, s sedimenti zasuti jami. Ena od jam je bila zapolnjena z gruščem, druga pa z ilovnatim in peščenim alohtonim sedimentom. Zaradi podobnosti sedimentov s sedimenti v Brezstropi jami je bilo analiziranih nekaj vzorcev.

Ilovice

Profil prvega rova je zapolnjeval laminiran ilovnati sediment z močno povitimi plastmi. V spodnjem delu profila so prevladovali ilovice rumenkastorjave barve (10 YR 5/8) s tanjšimi plastmi sive barve. Gornji del zapolnitve je bil enake barve kot podpovršinska rdeča ilovica (2,5YR 4/8) v Brezstropi jami.

Laminirana rumenorjava ilovica (slika 15.10) je vsebovala 62 % kremenca, 26 % kalcita, 7 % illita, 2 % anataza ter po 1 % kaolinita in goethita ter mikroklin in plagioklaz v sledih. Tudi v tem primeru gre za jamski sediment z izvorom v preperelih ostankih eocenskega fliša, kalcit pa verjetno izvira iz preperelih jamskih sten, ki jih je tekoča voda erodirala, kalcitna zrna pa so se kopičila v jamskem sedimentu, pomešana s fluvialnim nanosom.

Grušč

Nekaj metrov stran je bila v istem useku z ostrorobim gruščem zapolnjena kraška votlina, velikost delcev je bila okrog 10 centimetrov. Nesprijeti grušč je bil pomešan z rdečo ilovico. Vmes je bilo nekaj kosov stalaktitov, debelih okrog 10 centimetrov. Očitno je bila to starejša, nezapolnjena jama, ki jo je zasul pleistocenski klimatski grušč.



Slika 15.11: Pogled na profil velikega rova, zapolnjenega z ilovnatim sedimentom v Divaškem hribu.

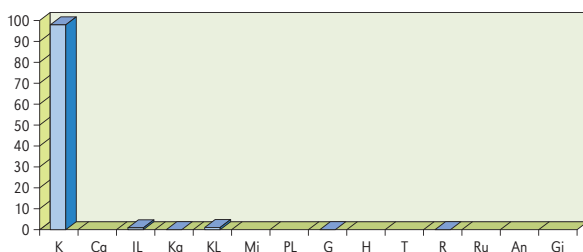
ILOVICA IZ ZAPOLNJENE JAME V DIVAŠKEM HRIBU

V cestnem useku v Divaškem hribu je bila v nadmorski višini 450 metrov prerezana velika votlina. V useku je bila vidna kot 4 metre visoka in 10 metrov široka zapolnitev z rdečo in rumenorjavo ilovico (slika 15.11). Nad njo je bil še ohranjen strop, debel okrog 2 metra. Votlino sta zapolnjevala laminirana, močno pregnetena rumena ilovica z lečami in plastmi peska, in makroskopsko podobna ilovica rdeče barve. Plasti, leče in lamine so bile pregnetene in povite. Nad njo je bilo odloženega še nekaj grušč, močno obarvanega z rdečo ilovico. Ker je cestni usek votlino le prerezal, ni bilo

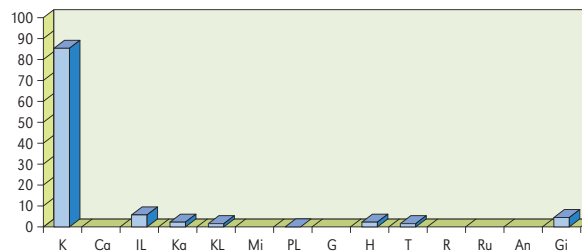
mogoče ugotoviti njene oblike in velikosti. Očitno je le, da so sedimenti znatno premaknjeni. V enem delu je jamski sediment prišel v stik z navpičnim prenikanjem ter spiranjem in prenašanjem grušč v staro zapolnitev in se obarval rdeče. Analizirana sta bila dva vzorca iz zapolnitve.

Rumeno ilovico (slika 15.12) z laminami drobnega peska (10YR 6/6) so sestavljala slabo zaobljena zrna z velikostjo od 0,1 do 0,025 mm. V vzorcu je z 98 % prevladoval kremen, po 1 % je bilo illita in klorita, medtem ko so v sledih bili prisotni kaolinit, goethit in rogovača. Tudi v tem primeru je bil to jamski sediment, ki izvira v preperelih kamninah eocenskega fliša.

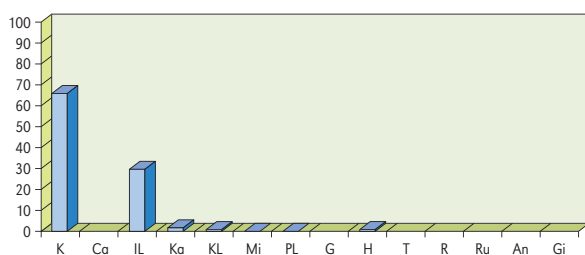
Rdeča ilovica (slika 15.13), z barvo 2,5YR



Slika 15.12: Vzorec 9: Rumeni pesek in ilovica iz jame pod Divaškim hribom. Rentgen: K – kremen 98 %, IL – illit 1 %, KL – klorit 1 %, v sledovih so Ka – kaolinit, G – goethit in R – rogovača; Ca – kalcit, Mi – mikroklin, PL – plagioklaz, H – hematit, T – turmalin, Ru – rutil, An – anataz, Gi – gibbsit.



Slika 15.13: Vzorec 10: Rdeča ilovica, sprana s površja v jami pod Divaškim hribom. Rentgen: K – kremen 85 %, IL – illit 5 %, Gi – gibbsit 4 %, Ka – kaolinit 2 %, H – hematit 2 %, KL – klorit 1 %, T – turmalin 1 %, v sledovih je PL – plagioklaz; Ca – kalcit, Mi – mikroklin, G – goethit, R – rogovača, Ru – rutil, An – anataz.

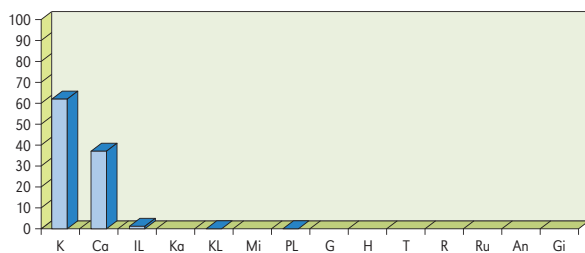


Slika 15.14: Vzorec 11: Rdeča ilovica iz odprte jame na Grintavci. Rentgen: K – kremen 66 %, IL – illit 30 %, Ka – kaolinit 2 %, H – hematit 1 %, KL – klorit 1 %, v sledovih so Mi – mikroklin in PL – plagioklaz; Ca – kalcit, G – goethit, T – turmalin, R – rogovača, Ru – rutil, An – anataz, Gi – gibbsit.

4/8, ki je ležala čez rumeni pesek, je v glavnem sestavljala kremen (5 %), precej je bilo tudi illita (5 %) in gibbsita (4 %), kaolinita in hematita po 2 % ter klorita in turmalina po 1 %, plagioklaz je bil prisoten v sledih. Glede na mineralno sestavo, predvsem prisotnost gibbsita, ki je boksitni material, lahko sklepamo, da gre za nekdanja tla, presedimentirana skozi razpoko v jamo, v kateri je bil že odložen fluvialni nanos rumene ilovice.

ODPRTA JAMA NA GRINTAVCI

Med večjima vrtačama, Dolom Češnjevec, zahodno od trase, in Dolom Rebidnik, je prečkal traso avtoceste niz povezanih plitvih vrtač. Površje je na nadmorski višini okrog 449 metrov, dno niza vrtač pa na okrog 446 metrih. Večji dolini imata široko



Slika 15.15: Vzorec 12: Rumeni pesek, pomešan s pobočnim gruščem v vrtači pri Bojnem dolu. Rentgen: K – kremen 62 %, Ca – kalcit 37 %, IL – illit 1 %, v sledovih so KL – klorit in PL – plagioklaz; Ka – kaolinit, Mi – mikroklin, G – goethit, H – hematit, T – turmalin, R – rogovača, Ru – rutil, An – anataz, Gi – gibbsit.

ravno dno na nadmorski višini 433 in 431 metrov. Na aeroposnetkih infrardečega dela spektra v črno-beli tehniki (ciklično snemanje SRS 1980) je niz vrtač izražen kot pas svetlejših, to je toplejših tal. Enakega odtenka sta tudi dna obeh udornic. Pri izkopu tal se je izkazalo, da so vrtače oziroma plitve reliefne depresije nastale nad starim, do 6 metrov širokim jamskim rovom brez stropa. Zaradi relativno majhnega odkopanega dela ga ni bilo mogoče zadovoljivo proučiti. Izkop do globine okrog 5 metrov (441 n. m. v.) ni dosegel živoskalnih tal rova. Rov je bil na dveh mestih na območju izkopa prekinjen, tu se je strop namreč ohranil. Strop rova je bil ohranjen na nadmorski višini okrog 448 metrov. Večji del rova je bil zapolnjen z alohtonimi fluvialnimi naplavinami.

Prod

V najnižjem delu je bil odložen prod raznobarnega roženca, pomešan s kremenovim peskom. Velikost prodnikov je bila od 1 do 3 centimetrov. Med njimi ni bilo prodnikov iz flišnega peščenjaka. Sedimentacijske strukture v spodnjem delu niso bile izražene.

Pesek in ilovica

Navzgor je prodni zasip prešel brez ostre meje v rumeni pesek (2,5Y 6/6), pomešan z lamelami ilovice enake barve. Debelina tega zasipa je bila okrog 3 metre. V vrhnjem delu ter ponekod ob stenah je barva sedimenta prešla v rdečo barvo (5YR 4/4). To sedimentacijsko sekvenco je pokrivala na enem mestu do meter debela, a več kvadratnih metrov velika plast sige. Nad sigo je bila odložena še pol metra debela plast rdeče ilovice. V ilovici, ki bi lahko bila jamski ali pa tudi kasnejši površinski sediment, so ponekod plavali posamezni manjši kamni iz krednega apnenca. Na njej je bil le do 10 centimetrov debel humusni horizont.

Podrobneje je bila analizirana le rdeča ilovica (slika 15.14) iz vrhnjega dela profila. Vzorec je rdeče ilovice je vseboval 66 % kremena, 30 % illita, 2 % kaolinita, po 1 % hematita in klorita ter v sledih mikroklin in plagioklaz. Glede na mi-

neralno sestavo, predvsem visok delež glinenih mineralov in vsebnost hematita, bi lahko predpostavili, da je bil, morda nekoč jamski, sediment sedaj že dalj časa na površju in je prešel nadaljnje preperevanje ali pa je bil že močno preperel pred odložitvijo v jami.

BOJNI DOL

V južnem delu Bojnega dola, večje plitve depresije z dnom na nadmorski višini 423 metrov, so pri delih izpraznili večjo vrtačo, ki je bila zasuta s sedimenti. Prevladovali so avtohtoni gruščiči, pomešani s posameznimi večjimi skalami in rdečo ilovico, v spodnjem delu vrtače so bili rumenkastorjavi peski in ilovice ter posamezni bloki konglomerata.

Konglomerat

Konglomerat so sestavljali do 2 centimetra veliki prodniki pisanega roženca ter posameznimi apnenčevi prodniki. Odložen je bil v plasteh in dobro sortiran. Pri izkopu se ni dalo ugotoviti oblike sedimentnega telesa, očitno je bil to star jamski sediment, ki ga je vrtača presekala.

Pesek s pobočnim gruščem

Rumeni pesek (slika 15.15) z dna vrtače v bližini Bojnega dola je bil pomešan s pobočnim gruščem. V vzorcu je bilo 62 % kremena, 37 % kalcita, 1 % illita, klorit in plagioklaz sta bila prisotna v sledeh. Glede na mineralno sestavo je to jamski sediment, ki je bil kasneje pomešan s pobočnim materialom.

SKLEP

Vsi opisani primeri nedvomno razkrivajo jamske sedimente, ki so nastali v različnih časovnih obdobjih ali pa so različni zaradi različnega razvoja jam. Vzorci proda, peska in ilovice iz Brezstropne jame, spodnjega dela jame v Divaškem hribu, od-

prte jame v Grintavci in Bojnega dola, glede na mineralno sestavo izvirajo iz preperelih ostankov flišnih kamnin. Kadar se jame odprejo na površje ali pa jih prereže nastajajoča vrtača, pridejo jamski fluvialni sedimenti na površje in so tako izpostavljeni površinskim pogojem. Niso več zaščiteni pred preperevanjem. Kadar pa so zaradi prenikajoče meteorske vode v stiku s površjem in s tem izpostavljeni oksidacijskim pogojem, prihaja do dehidracije goethita, ko rjavo obarvani sediment spremeni barvo, saj ga zrna hematita obarvajo rdeče. Da gre za jamski sediment, ki je samo spremenil barvo zaradi vdora vode s površja, pa vidimo po manjši vsebnosti glinenih mineralov, kot jo najdemo v sedimentih, ki so preživeli delno pedogenezo, tvorbo tal. Ti so bili namreč šele po izdatnem preperevanju preneseni v jame in lahko vsebujejo tudi boksitne minerale (Zupan Hajna 1999).

Podobni sedimenti, kakršni so bili najdeni v Brezstropi jami, so bili ob gradnji avtoceste najdeni še na več drugih mestih. Pri sedimentih, v vseh primerih je šlo za jamske sedimente, se je pokazalo nekaj skupnih potez, pa tudi nekaj razlik, ki so posledica raznovrstnega razvoja jam. Izrazite razlike so pojav sige, podornih skal ali ostrorobega gruščiča na alohtonih sedimentih, kar kaže način, kako so se posamezne jame odprle proti površju. Ponekod so bili najdeni sedimenti glin, melja, peska, do proda, drugod pa le ena od frakcij. Gre bodisi za jame, ki so nastale v različnih višinah, pripadale različnim vodnim tokovom ali nastale v različnih časovnih obdobjih.

Pomemben vir prsti na krasu so razgaljeni jamski sedimenti. Njihova lega je lahko prvotna ali pa so delno ali povsem presedimentirani. V več primerih smo našli jamske sedimente, ki so zapolnjevali vrtače ali druge depresije na trasi, na primer na ledini Grintavca med Češnjevcem in Dolom Rebidnik, v vrtači v Bojnem dolu, v več vrtačah med Povirjem in Žirjami, kar nam priča o razširjenosti fluvialnih jamskih sedimentov na površju krasa.

Infiltracija materiala s površja, ki je bil izpo-

stavljen pedogenezi, je očitna v zadnjem vzorcu iz Brezstrope jame, zgornjega dela jame v Divaškem hribu in jame v Grintavci. Vendar pa je mineralna sestava rdečih infiltriranih tal različna od vzorca do vzorca. Rdeča tla so si med seboj različna po starosti in s tem po stopnji pedogeneze. Izvorni material, tudi za tvorbo rdečih tal, pa so bili tudi v tu naštetih primerih, prepereli ostanki eocenskega fliša. V Bojnem dolu je glede na mineralno sestavo vzorca jamski sediment pomešan z pobočnim gruščem.

S pomočjo sedimentov in jamskih rogov lahko tudi delno ponazorimo čas, v katerem so te jame nastale. Brezstropa jama je ostanek večjega jamskega spleta, ki je prevajal vode ponikalnic s fliša. Zunanji vplivi se niso odrazili na oblikovanje kapnikov in sigovih kop, količina odložene sige kaže na vsaj nekaj deset metrov debel strop. Rast kapnikov je bila vsaj enkrat prekinjena z erozijo. Skozi jamo je tekla ponikalnica, ki je nosila velike prodnike. Po njihovi velikosti in po velikem deležu prodnikov iz flišnega peščenjaka, ki je zelo krhek ter ne prenese daljšega rečnega transporta (Kranjc 1986; 1989), lahko sklepamo, da ponori niso bili daleč stran. Podobne prodnike danes najdemo le v jamah Brkinskih ponikalnic, ki so od stika fliš apnenec oddaljene največ kilometer. Pretok vode je nihal od nekaj deset l/s do več m³/s. Predpostavljamo lahko, da je bila jama popolnoma zapolnjena s fluvialnimi sedimenti, ko je bilo površje nad njo še v nadmorski višini okrog 450 metrov, ponori na stiku fliša in apnenca pa vsaj v isti višini, a ne oddaljeni več kot kilometer do dva. Danes je najbližje jami fliš nad dolino Raše, oddaljen okrog 5 kilometrov, stik fliša in apnenca pa je na nadmorski višini okrog 500 metrov. Brkinski fliš, ki leži jugovzhodno je še dlje, 7 kilometrov stran. Ker sta obe flišni področji daleč predpostavljamo, da je bil izvor flišnega peščenjaka bližje,

morda na območju Divaškega Gabrka kilometer severovzhodno od jame. Tam danes fliša ni več. Ker Gabrka grade mlajši paleocenski in eocenski alveolinski in numulitni apneneci, nad katerimi do eocenskih flišnih plasti manjka le okrog 120 m, se zdi to področje najverjetnejši vir sedimentov. Če pa je to območje res vir teh prodnikov, potem je morala Reka tedaj že ponikati, a v ločenih ponorih. V podobnih razmerah so se oblikovale tudi druge odkrite jame, vendar je zanje teže ponazoriti ostale okoliščine nastanka, saj so manjše ali slabše ohranjene. Verjetno so jih oblikovale različne ponornice. Današnje speleohidrološke razmere so drugačne. Najpomembnejša ponikalnica je Reka, ki ponika v Škocjanskih jamah v nadmorski višini 317 metrov je v bližini opisanih nahajališč jamskih sedimentov višinah med 156 in 180 metrov in niha za okrog 100 metrov (Mihevc 1984). V okolici Brezstrope jame lahko torej računamo na 220 metrov globoko vadozno cono, to je cono kjer prevladuje navpično prenikanje, rast brezen ter spiranje sedimentov in prsti navzdol. Gladina prostotekočih rek in gladina kraške vode se je v jamah spustila od 400 na 180 metrov nadmorske višine, površje pa znižalo za najmanj 50 metrov. Po izračunih naj bi se površje v zadnjih milijon letih znižalo za približno 60 metrov (Gams 1962b). Ob predpostavljeni debelini stropa 50–200 metrov je bila Brezstropa jama zapolnjena s sedimenti pred okrog 0,8 do 3 milijon let.

V tem času so se na površju lahko oblikovale tudi vrtače, saj so bili izpolnjeni vsi pogoji, to je padec in zadovoljivo odvajanje vode skozi kras. Klub padcu pa so rovi ostali zapolnjeni s sedimenti. Velik del sedimentov je bil iz jam, ki jih je erozija že popolnoma odstranila, presedimentiran in jih najdemo danes na površju, ponekod tudi v vrtačah, kjer so se nekdanji jamski sedimenti lahko tudi delno spremenili.

KLASTIČNI SEDIMENTI IZ VRTAČ MED DIVAČO IN KOZINO TER NJIHOVA MINERALNA SESTAVA

NADJA ZUPAN HAJNA

Mehanski sedimenti na Krasu so bili vedno zelo zanimivi, raziskovalce so v veliki meri zanimala predvsem rdeča tla, njihova sestava in izvor (Hrovat 1953; Gregorič 1967, 1969) ter njihovo kopičenje v vrtačah (Gams 1971; Habič 1974). Večinoma so opredeljevali tvorbo rdečih tal iz netopnih ostankov apnenca in eolskih nanosov (Gregorič 1967; Šušteršič 1987). Po kraškem površju so bili najdeni kremenovi prodniki in peski, ki so jih nekdaj prištevali fluvialnemu transportu preperelih ostankov flišnih kamnin čez Kras v tako imenovani predkraški fazi (Melik 1961; Radinja 1972; Habič 1992). Zanimivo je, da Habič (1992) barvo nevezanih klastičnih sedimentov na Krasu opredeljuje s klimo, rumena barva po njegovem mnenju odraža njihovo odlaganje v hladni klimi, rdeča pa v tropski klimi. Z raziskavami tal in površinskih klastičnih sedimentov na Krasu (Mihevc, Zupan Hajna 1996; Zupan Hajna 1998; Mihevc 2001) smo ugotovili, da imajo v veliko primerih svoj izvor v klastičnih jamskih sedimentih, ki so prišli na površje zaradi denudacije apnenca nad jamo (Mihevc 1999b).

V velikem številu vrtač na trasi avtoceste med Divačo in Kozino so bile med leti 1994 do 2002 izkopane arheološke sonde (Bavdek 1998, 2003a, 2003b; Bavdek, Križman 2000), s tem je bila odprta tudi možnost za proučevanje mine-

ralne sestave plasti klastičnih sedimentov v njih. Analize vzorcev so bile narejene v okviru projekta »Arheološke raziskave vrtač na trasi avtoceste Divača–Kozina«, ki ga je pod vodstvom Alme Bavdek izvajal Notranjski muzej Postojna. V vrtačah so prevladovali sedimenti rdeče in rumene barve v več odtenkih, s prehodi ene v drugo ter v rjavo barvo. Ista plast klastičnega sedimenta je lahko navzgor prehajala v temnejše bolj rjave odtenke, kar je bilo odraz stika sedimenta s površjem. Tu so se odražali tako procesi tvorbe tal kot tudi vpliv človekovega delovanja. Če so bili v vrtači sedimenti v vrhnji plasti dalj časa v neposrednem stiku s površjem, so bili izpostavljeni procesom pedogeneze. V vrhnjih slojih se je začela tvoriti prst, ki jo je človek verjetno obdeloval, na kar kažejo drobni koščki prazgodovinske keramike, ki so jih našli med arheološkim izkopavanjem. Kasneje so se čezne nasule nove plasti klastičnih sedimentov, ki so imeli svoj izvor v preperelih ostankih eocenskega fliša. Kadar so bili novonasuti sedimenti spet dalj časa v stiku s površjem, je spet prišlo do procesov pedogeneze, zgornja plast je ponovno spremenila barvo. Da gre za tvorbo tal, kažejo zvezni prehodi iz svežega, svetlejšega sedimenta v temnejše barvne odtenke, kar obenem kaže na povečano prisotnost organskih snovi v sedimentu.

SEDIMENTI IZ VRTAČ

Klastični sedimenti v vrtačah so bili ločeni glede na zrnavost in barvo v posamezni plasti, iz teh plasti so bili pobrani vzorci, od katerih jih je bilo nekaj analiziranih z metodo rentgenske praškovne difrakcije.

Lege preiskovanih vrtáč so prikazane na sliki 16.1. Štiri od preiskovanih vrtáč (Vrtače 1, 2, 3, 4), manjša zapolnitev z rdečim sedimentom v pobočju vrtače številka 4 in jama z rumenimi fluvialnimi sedimenti so bile na trasi in ob trasi avtoceste Divača–Kozina, na zahodni strani Bubenja, to je ob cesti Matavun–Lokev. Vrtača 5 je bila



Slika 16.1: Karta lege vrtáč z opisanimi sedimenti.

na trasi južno od Jame pod Škrinjjarco in vrtača 6 na trasi avtoceste zahodno od Rodika.

V raziskavah me je zanimal predvsem izvor sedimentov z dna vrtáč in ali bi sedimenti dali odgovor na vprašanja:

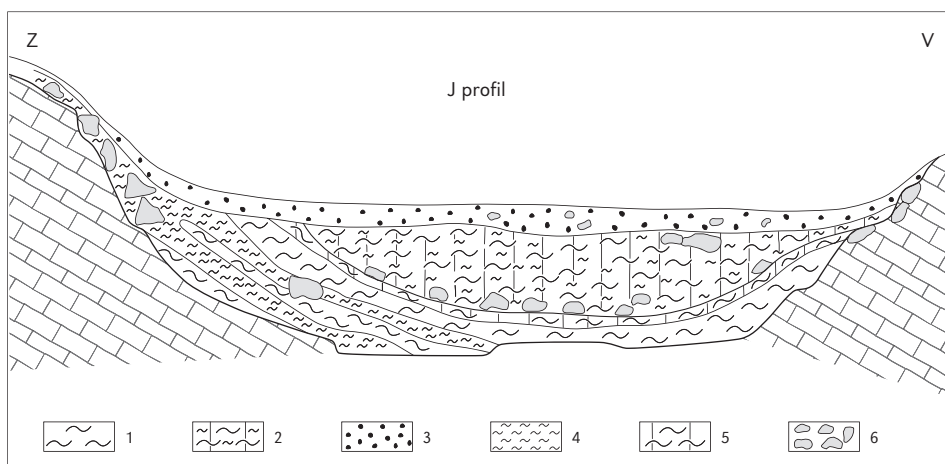
- Ali gre v opisanih primerih za površinski ali jamski sediment?
- Ali lahko za izvor določimo prepelele ostanke flišnih kamnin ali že oblikovana rdeča tla?
- Kakšna je mineralna sestava rdečih tal v opisanih primerih in od kod izvirajo?

Kvalitativna mineralna sestava vzorcev je bila določena z metodo praškovne rentgenske difrakcije. Vzorci so bili analizirani z difrakto-metrom Philips na Oddelku za geologijo Naravo-slovnotehniške fakultete. Pogoji snemanja so bili anoda $\text{Cu}_{\text{K}\alpha}$, pri napetosti 40 KV in toku 30 mA, uporabljena sta bila Ni filter in proporcionalni števec ter avtomatska divergenčna zaklopka. Snemanje je bilo zvezno, s hitrostjo $2^\circ 2\Theta/\text{min}$ v območju kota 2Θ od 2° do 70° . Količina mineralov v vzorcih je podana z odstotki, ki pa ne predstavljajo absolutne količine posameznega minerala v vzorcu, ampak preračunan delež minerala v vzorcu glede na višino njegovega glavnega odboja. Iz vsake vrtače sta bila s to metodo analizirana po dva vzorca z njenega dna.

Vrtača 1

Vrtača je bila porasla, v smeri vzhod–zahod je merila okrog 60 metrov in bila globoka 6 metrov. Dno je bilo ravno, zasuto s sedimenti, vzhodno in zahodno pobočje sta bili strmi, ponekod so gledali na površino posamezni kosi apnenca. Vrtača je bila izoblikovana v črnih apnencih liburnijske formacije, in to v apnencih spodnje paleocenske starosti (Pc_1). Vpad plasti je bil od $170/20\text{--}30$ do $180/30$, v stenah vrtače sta bili izraženi dve razpoklinski coni, prva v smeri $210^\circ\text{--}30^\circ$ in druga v smeri $290^\circ\text{--}110^\circ$.

Sonda je bila izkopana v smeri $250^\circ\text{--}70^\circ$, v sredini je bila globoka 2,5 metra. V izkopanem profilu je bilo glede na barvo pet različnih plasti sedimentov (slika 16.2). V dnu profila je bila plast



Slika 16.2: Skica vrtače V1, premer vrtače okrog 60 metrov, globina izkopa 2,5 metra. Legenda: 0. matična kamnina, 1. rumena ilovica (7.5YR 4/4), 2. rdečkasto rjava ilovica (5YR 4/4), 3. rjavorumena prst (7.5YR 4/4), 4. rdeča ilovica (5YR 3/4), 5. sivorumena ilovica (7.5YR 5/4).

rumene ilovice (7.5YR 4/4), sledila ji je tanka plast sivorumene ilovice (7.5YR 5/4), nato rdečkastorjava ilovica (5YR 4/4) s posameznimi odlomki apnenca, nad njo pa je bila plast rjavorumenih tal (7.5YR 4/4). V zahodnem delu profila pa sta bili lepo izraženi dve tanjši plasti rdeče ilovice (5YR 3/4). Sivorumena ilovica je bila verjetno samo pedogenetsko spremenjena rumena ilovica iz spodnje plasti, ker je bil prehod postopen. Barva in oblika plasti sta kazali na nekdanja tla vrtače, ki so bila nato zasuta s pobočnim gruščem in mlajšimi sedimenti, ki so jih v vrhnjem delu spet zajeli pedogenetski procesi.

Zanimal me je predvsem izvor prvotnih sedimentov z dna vrtače, zato sem z metodo rentgenske difrakcije analizirala vzorca rumene ilovice V1/1 in rdeče ilovice V1/4. Vzorec V1/1, rumena ilovica z barvo 7.5YR 4/4, sestoji iz 71 % kremenca, 11 % muskovita/illita, 9 % klorita, 5 % plagioklaza in 4 % mikrokлина. Vzorec V1/4, rdeča ilovica z barvo 5YR 3/4, sestavljajo 64 % kremenca, 19 % klorita, 10 % muskovita/illita, 5 % plagioklaza in 1 % hematita.

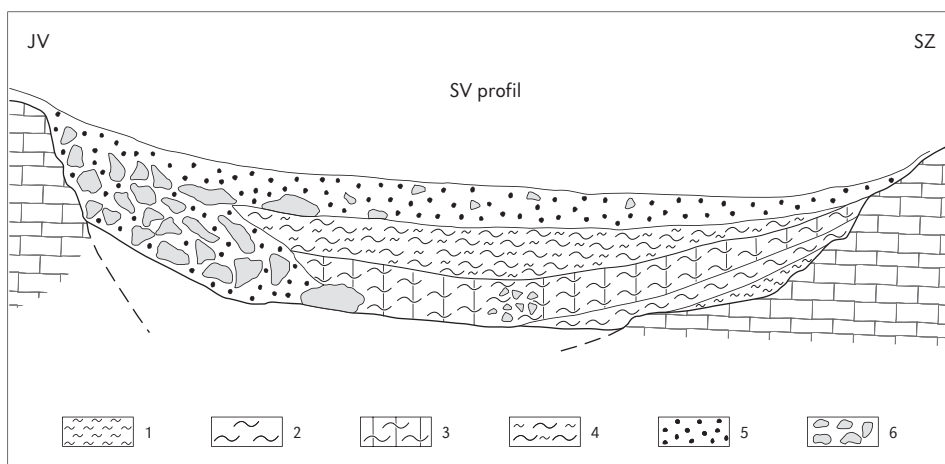
V obeh vzorcih so prisotni isti minerali, ki kažejo na svoj izvor v preperelih ostankih eocenskega fliša. Razlika je samo v vsebnosti minerala hematita, ki sedimentu daje tudi rdečo barvo. Prisotnost hematita pripisujem transformaciji goethita v he-

matit, za kar pa so morali biti dani pogoji, to je stik sedimenta z meteorno vodo. Glede na mineralno sestavo in barvo obeh plasti sklepam, da gre za isti sediment, ki je v stiku s površjem do določene globine samo oksidiral in se obarval rdeče. Kasneje je pa prišlo do novega nanosa svežega materiala, ki je prekril obe opisani plasti.

Vrtača 2

Vrtača je bila porasla, s premerom 50 metrov in s strmim vzhodnim in južnim pobočjem. Pred izkopom sonde je bila globoka 5 metrov, na dnu se je kopičila prst. Izoblikovana je bila v apnencih liburnijske formacije, to je v črnih apnencih spodnje paleocenske starosti – Pc₁. Vpad plasti je bil 160/20. Plasti je sekala razpoklinska cona v smeri 310°–130°, v kateri so si sledile razpoke na 10 centimetrov, potem pa na 1 meter.

Sonda je bila izkopana v sediment v smeri 310°–130°, na sredini do 2,5 metra globoko. V severnem profilu je bilo glede na barvo pet različnih vrst sedimentov (slika 16.3). V dnu je bila rdeča ilovica (2.5YR 3/4), ki ji je sledila plast rumene ilovice (7.5YR 4/6), nad njo je bila rjavosivorumena ilovica (7.5YR 3/4) s posameznimi apnenčevimi odlomki, sledila ji je plast rdečerumene ilovice (5YR 3/4), na vrhu pa je bila plast temne rjavorumene prsti (7.5YR 3/4) z vmesnim gruščem.



Slika 16.3: Skica vrtače V2, premer vrtače okrog 50 metrov, globina izkopa 2,5 metra. Legenda: 0. matična kamnina, 1. rdeča ilovica (2.5YR 3/4), 2. rumena ilovica (7.5YR 4/6), 3. rjavosivorumena ilovica (7.5YR 3/4), 4. rdečerumena ilovica (5YR 3/4), 5. rjavorumena prst (7.5YR 3/4), 6. pobočni grušč.



Slika 16.4: Profil v vrtači V2. V dnu se vidita plast rdeče in rumene ilovice, iz katerih sta bila za mineraloške analize odvzeta dva vzorca.

Z metodo rentgenske difrakcije sem analizirala vzorca rdeče ilovice V2/1 in rumene ilovice V2/2 (slika 16.4). Vzorec V2/1, rdeča ilovica z barvo 2.5YR 3/4, sestavljajo 76 % kremena, 12 % klorita, 5 % muskovita/illita, 3 % kaolinita, 3 % plagioklaza in 2 % hematita. Vzorec V2/2, rumena ilovica z barvo 7.5YR 4/6, sestavljajo 73 % kremena, 13 % klorita, 7 % plagioklaza, 4 % muskovita/illita in 3 % mikrokлина.

Z izkopom skalno dno vrtače ni bilo doseženo, zato ne vemo, ali je bila plast rdeče ilovice najstarejši sediment v vrtači. Glede na mineralno sestavo gre verjetno tudi tu za preperel in presedimentiran flišni sediment, ki se je pod vplivom meteorne vode obarval rdeče, zaradi prehoda goethita v hematit.

Plast rjavosivorumene ilovice je bila pedogenetsko spremenjena rumena ilovica iz plasti druge plasti in je predstavljala nekdanja tla vrtače. Čez to plast se je nato odložila rumenordeča ilovica, na površju pa je bila plast rjavorumene prsti. V jugovzhodnem delu profila manjkajo plasti ilovice, zato pa je bilo prisotno veliko pobočnega gruščja in rjavorumene prsti, kar kaže na verjetno na kasnejše grezanje dna vrtače in s tem grezanje plasti ilovice.

Vrtača 3

Vrtača je bila porasla, v premeru je imela 40 metrov, južno in vzhodno pobočje sta bili strmi in skalni, severna stran pa je bila izrazito položna. Globoka je bila 5 metrov, dno je prekrivala prst. Vrtača je bila izoblikovana v apnencih liburnijske formacije, to je v črnih apnencih spodnje paleocenske starosti – Pc_1 . Vpad plasti v južnem skoraj navpičnem pobočju vrtače je znašal 160/25. To steno je pogojevala tektonsko porušena cona v smeri 230° – 50° , plasti apnenca pa so bile razpokane tudi s šibko razpoklinsko cono v smeri 330° – 150° .

Sonda je bila izkopana v smeri 350° – 170° , v sredini do 1,8 metrov globoko. V zahodnem profilu je bilo pet barvno različnih plasti nevezanih sedimentov (slika 16.5). V dnu profila je bila rumena rahlo rdečkasta ilovica (7.5YR 4/6), ki ji je sledila sivorjavordeča ilovica (5YR 4/3), potem manjši klin rdečerumene ilovice (5YR 4/4), nato plast sivorjavordeče ilovice (5YR 4/6), na vrhu pa plast sivorjave prsti (5YR 3/3) z vmesnim gruščem. Pobočnega grušča je bilo precej v južnem delu profila, na vrhu profila pa je bila tanka plast humusa.

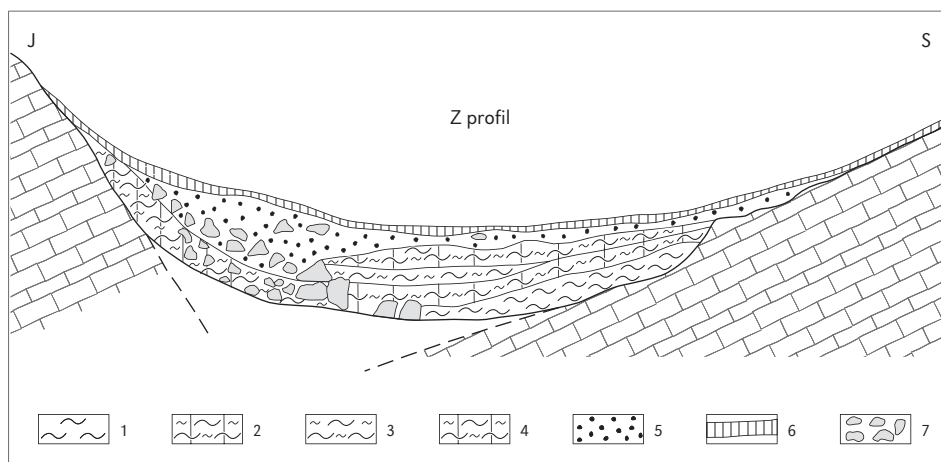
Z metodo rentgenske difrakcije sem analizirala rumeno ilovico V3/1 in vzorec rdeče rumene ilovice V3/3. Vzorec V3/1, rumena ilovica z barvo 7.5YR 4/6, sestavljajo 77 % kremenca, 12

% klorita, 6 % muskovita/illita in 4 % plagioklaza. Vzorec V3/3, rdečerumena ilovica z barvo 5YR 4/4, sestavljajo 76 % kremenca, 13 % klorita, 4 % muskovita/illita in plagioklaza, in 2 % dolomita.

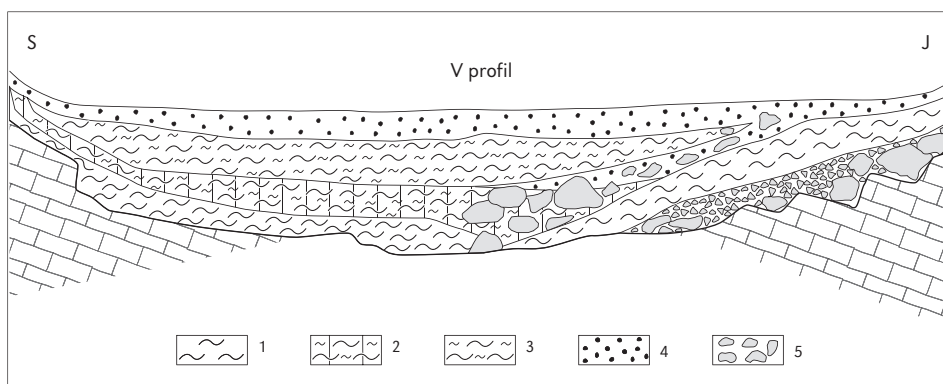
Glede na mineralno sestavo ima tudi ta sediment izvor v preperelih ostankih eocenskega fliša, zgornji del sedimenta pa je pod vplivom meteorne vode oksidiral in se zaradi hematita obarval rdeče. Dolomit ima izvor v pobočjih vrtače, kjer je del apnenca očitno dolomitiziran. Sivorjava ilovica iz druge plasti in sivorjavordeča ilovica iz četrte plasti sta predstavljali nekdanja tla vrtače. Obakrat je bil ilovnat sediment odložen v stiku s površjem tako dolgo, da je bil spremenjen s pedogenetskimi procesi. V južnem delu profila je bilo nakopičeno veliko pobočnega grušča in vmesne sivorjave prsti, kar je kazalo na grezanje dna vrtače po odložitvi plasti ilovnatih sedimentov.

Vrtača 4

Vrtača z dvojnim dnom je merila v smeri sever–jug 80 metrov, v smeri vzhod–zahod pa 130 metrov. Dno na vzhodni strani je bilo globoko 13 metrov, v njem je bila izkopana tudi arheološka sonda. Južno pobočje vrtače je bilo zelo strmo, tako tudi vzhodno. Vrtača je bila izoblikovana v temnih apnencih liburnijske formacije, apnenci spodnje paleocenske starosti – Pc_1 . Na južnem robu vrtače so bili na vrhu pobočja najdeni sve-



Slika 16.5: Skica vrtače V3, premer vrtače okrog 40 metrov, globina izkopa 1,8 metra. Legenda: 0. matična kamnina, 1. rumena ilovica (7.5YR 4/6) 2. sivorjavordeča ilovica (5YR 4/3), 3. rdečerumena ilovica (5YR 4/4), 4. sivorjavordeča ilovica (5YR 4/6), 5. sivorjava tla (5YR 3/3), 6. humus, 7. pobočni grušč.



Slika 16.6: Skica vrtače V4, premer vrtače okrog 80 metrov, globina izkopa 2 metra. Legenda: 0. matična kamnina, 1. rumena ilovica (7.5YR 5/6), 2. rdeče rahlo rumenkasta ilovica (7.5YR 4/6), 3. rumenordečerjava ilovica (5YR 4/6), 4. rumenkastorjava prst (7.5YR 4/4), 5. pobočni grušč.

tli miliolidni apnenci, ki stratigrafsko pripadajo zgornjemu paleocenu – Pc_2 . Vpadi plasti so bili med 180/25 do 170/30. Apnenci so bili tektonsko precej prtrti, posebno izrazita je bila razpoklinska cona v smeri sever–jug in pa porušena cona v smeri 340°–160°, ob katerih so se izoblikovala tudi pobočja vrtače.

Sonda je bila izkopana v smeri sever–jug, v sredini do 2 metra globoko. V vzhodnem profilu so bile štiri po barvi različne plasti ilovnatih sedimentov (slika 16.6). V dnu južnega dela sonde je bil droban grušč, morda klimatski, čez katerega je bila kasneje odložena rumena ilovica. V sredini vrtače je bilo nakopičeno več skal apnenca in pobočnega grušča, kar kaže na grezanje dna v tem delu vrtače. Nad njo je sledila plast rdeče, rahlo rumenkaste ilovice (7.5YR 4/6), nato plast rumenordečerjave ilovice (5YR 4/6) in na vrhu plast rumenkastorjave prsti (7.5YR 4/4).

Analizirala sem rumeno ilovico V4/1 in vzorec rdečerumene ilovice V4/2. Vzorec V4/1, rumena ilovica z barvo 7.5YR 5/6, sestavljajo 73 % kremenca, 12 % klorita, 7 % muskovita/illita, 5 % plagioklaza, 3 % mikrokлина in 1 % dolomita. Vzorec V4/2, rumena ilovica z barvo 7.5YR 4/6, sestavljajo 74 % kremenca, 10 % klorita, 6 % plagioklaza, 5 % muskovita/illita, 5 % mikrokлина in 1 % hematita.

Rumenordečerjava ilovica iz tretje plasti je predstavljala nekdanja tla vrtače, kjer so bile

opazne pedogenetske spremembe ilovnatnega sedimenta. Sedimentacija se je tu vršila zvezno, z daljšo časovno prekinitvijo po odložitvi prej opisane tretje plasti. V dnu južnega dela je bil droban grušč, morda klimatski, čez katerega je bila kasneje odložena rumena ilovica. V sredini vrtače je bilo nakopičeno več apnenčevih skal in pobočnega grušča, kar kaže na grezanje dna v tem delu vrtače. Tudi v tem primeru je imela rumena ilovica glede na mineralno sestavo izvor v prepe-relih kamninah eocenskega fliša.

Na južnem robu vrtače 4, kjer se teren že izravna, je bila med plastmi apnenca ob razpokah v smeri severovzhod–jugozahod razširitev, zapolnjena z rdečo ilovico. Iz nje je bil vzet vzorec V4SR. Rdeča ilovica z barvo 2,5YR 4/6 je imela mineralno sestavo: 77 % kremenca, 12 % klorita, 3 % muskovita/illita, 3 % plagioklaza, 2 % kaolinita in 2 % hematita. Glede na mineralno sestavo je imel sediment izvor v prepe-relem flišu, ki pa je bil dlje časa na površju in goethit lahko prešel v hematit, ki je dal sedimentu intenzivno rdečo barvo.

Zapolnjena jama s kapnikom

Ena od jam je bila popolnoma zasuta z rumenimi peščenimi sedimenti (slika 16.7), med katerimi je bila velika kopa razpadajoče bele sige. Vzorec JSED, rumeni pesek z barvo 10YR 6/6, sestavljajo 57 % kremenca, 16 % muskovita/illita,



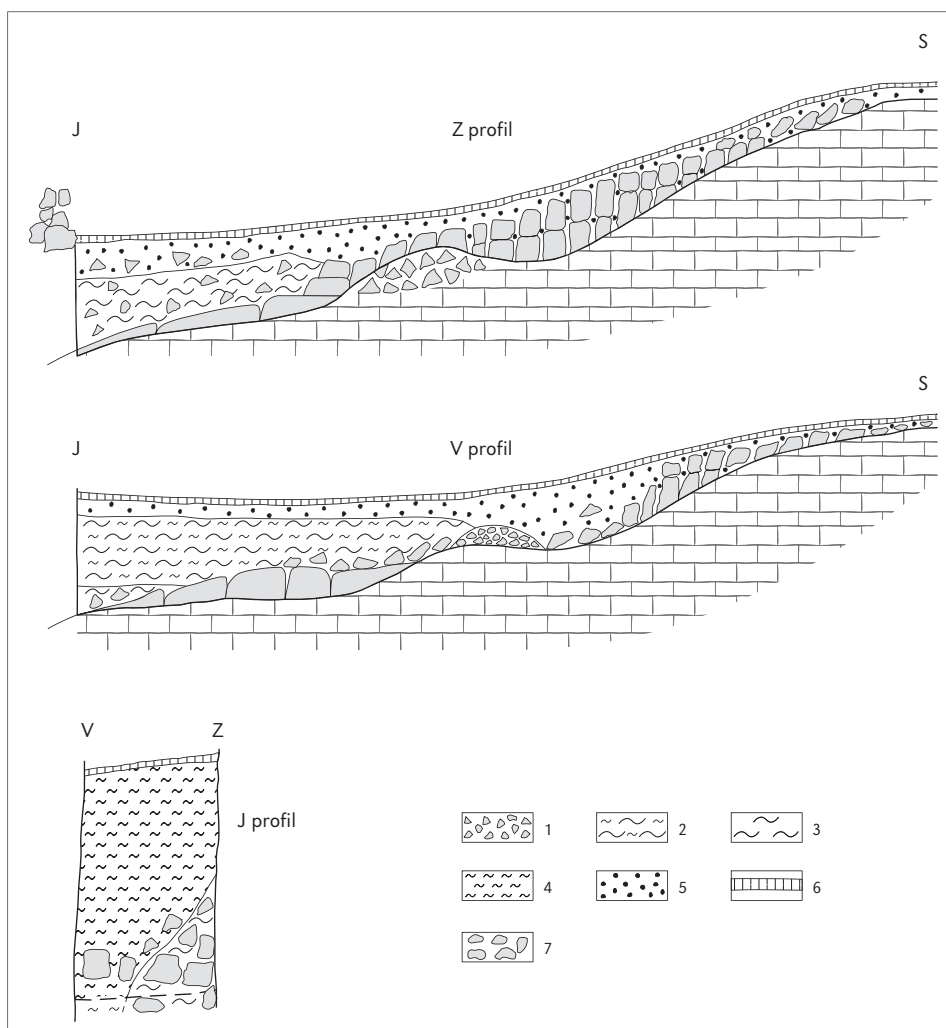
Slika 16.7: Z rumenim klastičnim sedimentom zapolnjena jama na trasi avtoceste Divača–Kozina, iz katere je bil za preiskave vzet vzorec JSED.

15 % klorita, 4 % kalcita, 4% mikrokлина in 4 % plagioklaza.

Glede na mineralno sestavo jamskega sedimenta lahko rečemo, da je imel svoj izvor v preperelih ostankih eocenskega fliša, ki so bili presedimentirani v jama. Kalcitna zrna pa imajo svoj izvor verjetno v razpadajoči sigi.

Vrtača 5

Plitva vrtača, južno od Jame pod Škrinjarco. Vrtača je bila oblikovana v eocenskih sivih, debelozrnatih apnencih z odlomki fosilov. Plasti eocenskega apnenca so imele vpad 100/20. Apnenec je bil tektonsko močno pretrt in v severnem pobočju vrtače je bila močno izražena razpoklinska cona v smeri 210°–30° (vpad 120/80), v kateri so si posamezne razpoke sledile na 1 do 10 centime-



Slika 16.8: Skica vrtače V5, polmer vrtače okrog 20 metrov, globina izkopa 1,8 metra. Legenda: 0. matična kamnina, debeložrnati apnenec, 1. droban grušč z vmesno rdečerjavo ilovico (5YR 3/3), 2. rumenordeča ilovica (5YR 3/3), nekaj delov je bilo bolj rjave barve (7.5YR 5/6) iz vzhodnega dela profila 3. rumena ilovica (10YR 5/6) in vmesni grušč iz spodnjega in zahodnega dela profila, 4. rdeča ilovica (5YR 4/6), posamezni deli so bili obarvani (2.5YR 4/6) iz čela profila, 5. rjava ilovnata prst, 6. humus, 7. pobočni grušč.

trov. Vrtača je bila globoka 3 metre in v dnu zapolnjena s prstjo, pobočja so bila blaga in porasla s travnato rušo. V smeri sever–jug je imela vrtača premer okrog 40 metrov, v smeri vzhod–zahod pa 30 metrov.

V razpokah med posameznimi bloki apnenca, velikimi od 5 do 30 centimetrov, so bila v zgornjem delu infiltrirana rjava tla, v dnu profila pa je bila s pobočnim gruščem pomešana rumena ilovica. Sonda je bila izkopana v smeri sever–jug in se je končala v sredini vrtače (slika 16.8). Izkop je bil

do 1,8 metrov globok, vendar še ni dosegel skalnega dna. Sonda je bila v severnem pobočju vrtače plitva, na površju je bilo do 2 centimetra rjavih tal, v katerih so bili posamezni kosi apnenca. Na skalnem dnu severovzhodnega dela profila je bila v apnencu močno izražena razpoklinska cona, ki je prehajala v porušeno cono. Med posameznimi bloki apnenca je bila rjava ilovnata prst. V razpokah med posameznimi bloki apnenca, velikimi od 5 do 30 centimetrov, je bila v zgornjem delu infiltrirana rjava prst (10YR 4/3), v dnu profila pa je

bila s pobočnim gruščem pomešana rumena ilovica (10YR 5/6). To je bilo vidno predvsem v zahodni steni profila, v vzhodni steni profila je bilo več bolj drobnozrnatega grušča in rdeče ilovice (5YR 3/3). Rumena ilovica je vidna tudi v dnu profila na sredini vrtače. Obkrožala je večje kose apnenca, ki so bili precej prepereli, nad njo pa je do vrha profila ležala rdeča (5YR 4/6) mastna ilovica.

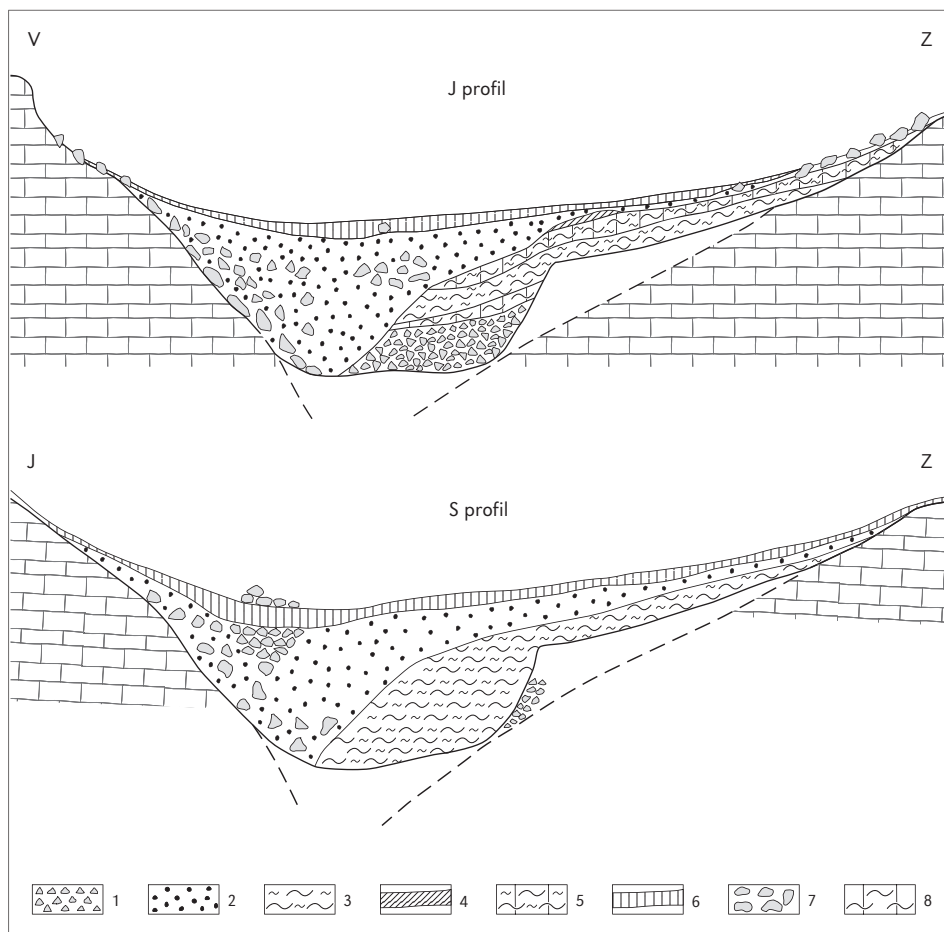
Vzorec V5/2, rumenordeča ilovica 5YR 3/3, sestavljajo 75 % kremenca, 13 % korita, 5 % muskovita/illita, 5 % plagioklaza in 2 % mikrokлина. Vzorec V5/4, rdeča ilovica 5YR 4/6, sestavljajo 75 % kremenca, 12 % klorita, 8 % muskovita/illita, 5 % plagioklaza in 1 % hematita.

Tudi ta sediment ima izvor v preperelih ostankih flišnih kamnin, rdeča ilovica je ena-

ke mineralne sestave kot rumena, razlikujeta se samo v vsebnosti hematita.

Vrtača 6

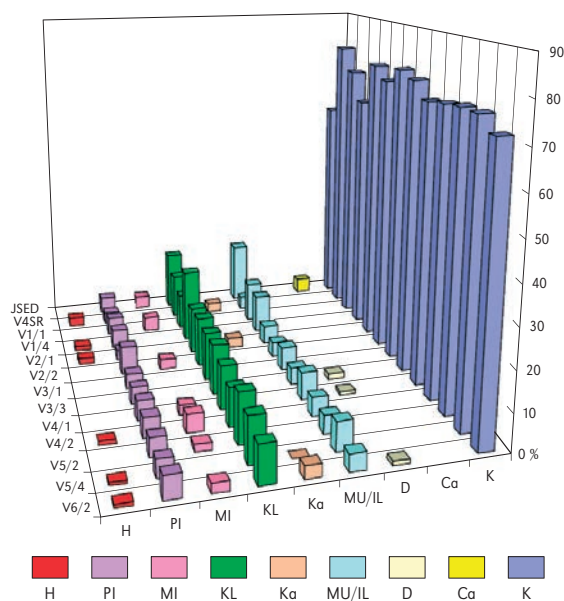
Skalna vrtača zahodno od Rodika je imela premer 40 metrov, vzhodno pobočje je bilo precej strmo, globoka je bila 4 metre, v dnu je bila nakopičena prst. Vrtača je bila izoblikovana v temnih apnencih liburnijske formacije, apnenca so spodnje paleocenske starosti – Pc_1 . V teh apnencih so opazne spremembe, ki so značilne za procese oblikovanja tal, to so temnejša območja, velika od nekaj milimetrov do enega centimetra, ki na prvi pogled dajejo brečast vtis. Vpad plasti na severnem robu vrtače je bil 250/10 do 260/5. Apnenec je precej tektonsko pretrt, vendar



Slika 16.9: Skica vrtače V6, premer vrtače okrog 40 metrov, globina izkopa 5 metrov. Legenda: 0. matična kamnina, 1. droban grušč z vmesno rumeno ilovico (10YR 5/6), 2. rjava prst (7.5YR 4/4), 3. rumenordeča ilovica (7.5YR 5/6), 4. črnorjava ilovnata prst (5YR 3/3), 5. rdečerumenorjava ilovica (7.5YR 4/6), 6. humus, 7. pobočni grušč, 8. sivorumena ilovica.

je večino razpok kalcitiziranih. Najlepše je izražena smer razpok, v smeri 160°–340°, ob kateri je izoblikovan tudi vzhodni rob vrtače. Enaka je tudi smer razpoklinske cone čez sredino vrtače, kjer si razprte razpoke sledijo na meter do metra in pol. Sonda je bila izkopana čez vrtačo v smeri 280°–100°, v dnu, ki je bil bližje strmejšega vzhodnega roba vrtače, je bil izkop globok 5 metrov. V južnem profilu je bilo pet različnih tipov sedimentov glede na barvo in zrnastost, v severnem profilu pa tri (slika 16.9).

V dnu južnega profila je bila plast zelo drobnega gruščca z vmesno rumeno ilovico (10YR 5/6), nad njim tanka plast rumenordeče ilovice (7.5YR 5/6), ki ji je sledila plast rumene ilovice in nato plast rdeče ilovice (7.5YR 4/6). Na vrhu in v vsem vzhodnem delu profila je bila rjava prst (7.5YR 4/4) z debelim pobočnim gruščcem, ki ga je veliko na vzhodnem robu profila. Današnja tla so rjava, pomešana s pobočnim gruščcem, ki ga je bilo posebno veliko v vzhodnem pobočju vrtače,



Slika 16.10: Mineralna sestava klastičnih sedimentov iz vrtač in jame na avtocesti Divača–Kozina. Legenda: K – kremen, Ca – kalcit, D – dolomit, Mu/IL – muskovit/illit, Ka – kaolinit, KL – klorit, Mi – mikroklin, Pl – plagioklaz, H – hematit. Številka poleg številke vrtače označuje plast, iz katere je bil vzet vzorec.

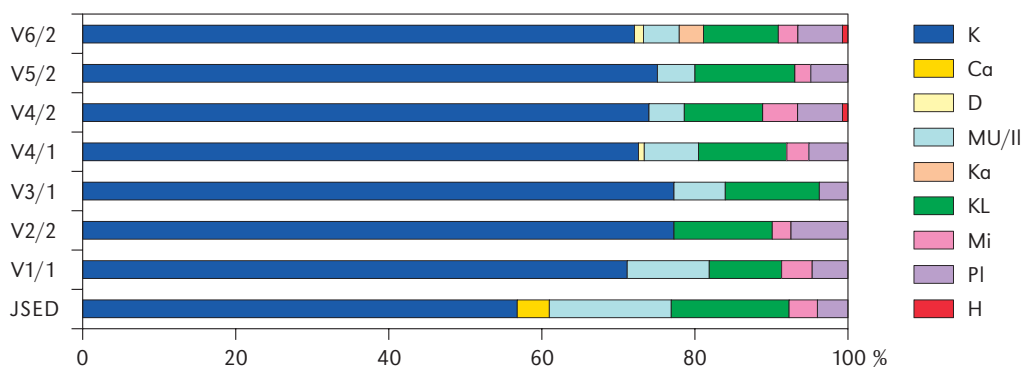
kjer ni bilo ilovnatih plasti. V tem delu vrtače se je grezalo dno. V severnem profilu sonde so bili prisotni samo rumena ilovica in rjava prst z vmesnim pobočnim gruščcem.

Vzorec V6/2, rjava prst z barvo 7.5YR 4/4, sestavljajo 72 % kremena, 10 % klorita, 6 % plagioklaza, 4 % muskovita/illita, 3 % kaolinita, 2 % mikroklina, 1 % dolomita in 1 % hematita.

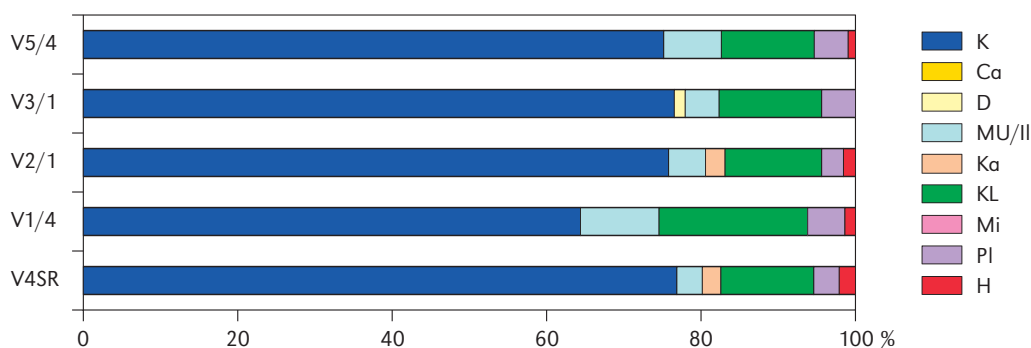
Glede na mineralno sestavo je imel tudi ta sediment izvor v preperelih ostankih flišnih kamnin. Po nasutju drobnega, verjetno klimatskega gruščca, je bila odložena sivorumena ilovica osme plasti, ki je nekaj časa predstavljala vrh nasutja v vrtači, tu je bila barva ilovice temnejša zaradi tvorbe humusa v njej. Po nasutju rumenordeče ilovice iz tretje plasti in rdečerumenorjave ilovice iz pete plasti je bila zadnja nekaj časa v stiku s površjem, na kar je kazala tudi tanka leča črnorjave ilovnate prsti, ki je vsebovala glede na barvo veliko organskih snovi. Današnja tla pa je predstavljala rjava prst s pobočnim gruščcem, ki ga je bilo posebno veliko v vzhodnem pobočju vrtače, kjer so tudi manjkale opisane ilovnate plasti. V tem delu vrtače je potekalo recentno grezanje njenega dna.

SKLEP

V vrtačah so bili prisotni nevezani mehanski sedimenti, ki so se razlikovali med seboj po zrnastosti, vendar so prevladovala ilovice, ki so bile različne glede na barvo. V vseh izbranih vrtačah so bili v dnu najdeni rumeni sedimenti, ki so bili ponekod rahlo rdečkasto obarvani, poleg njih pa je bila najdena tudi rdeča ilovica z intenzivno rdečo barvo 2.5YR 4/6. Barva je bila v tem primeru odraz stika sedimenta s površjem in vpliva človekovega delovanja na površju. Kadar so bili sedimenti v vrtači dlje časa v stiku s površjem, so se podvrgli procesom diagenoze in pedogeneze. V vrhnjih slojih se je začela tvoriti prst, ki jo je človek verjetno obdeloval – obračal, na to kažejo drobni koščki prazgodovinske keramike, ki so jih našli



Slika 16.11: Mineralna sestava rumenih, rdečkastorumenih in rjavih sedimentov. Legenda: K – kremen, Ca – kalcit, D – dolomit, Mu/IL – muskovit/illit, Ka – kaolinit, KL – klorit, Mi – mikroklin, Pl – plagioklaz, H – hematit. Številka poleg številke vrtače označuje plast, iz katere je bil vzet vzorec.



Slika 16.12: Mineralna sestava rdečih sedimentov. Legenda: K – kremen, Ca – kalcit, D – dolomit, Mu/IL – muskovit/illit, Ka – kaolinit, KL – klorit, Mi – mikroklin, Pl – plagioklaz, H – hematit. Številka poleg številke vrtače označuje plast, iz katere je bil vzet vzorec.

med arheološkim izkopavanjem. Kasneje so se s pobočnim spiranjem in nasipanjem čez njih nasule nove plasti ali pa so dna vrtač zravnali s sveže izkopanimi sedimenti. Ker so bili dlje časa novonasuti sedimenti spet v stiku s površjem, so podlegli procesom diageneze ter pedogeneze. Obenem jih je lahko v vrhnjih plasteh obdeloval tudi človek in tako je zgornja plast spet spremenila barvo. Da gre za tvorbo tal, kažejo nejasni prehodi iz svežega svetlejšega sedimenta v temnejše barvne odtenke s povečanim deležem organskih snovi.

Različne barve sedimentov kažejo na njihovo mineralno sestavo, ki odraža njihov izvor in pogoje v okolju, v katera so bili presedimentirani. Barva je v tem primeru predvsem povezana z vsebnostjo železovih mineralov. Železovi minerali, ki jih glede na barvo sedimenta lahko

pričakujemo v vzorcih, so goethit, lepidokrokrit, magnetit, maghemit in hematit.

Železovi minerali so pogosti v klastičnih sedimentih in tleh v vseh okoljih, kamor pridejo med preperevanjem različnih kamnin, bogatih z železom. Železo je četrti najbolj razširjeni element v zemeljski skorji, kjer je zastopan v magmatskih kamninah v Fe^{2+} obliki, silikatih, lahko pa tudi v sulfidih, piritu. Med preperevanjem pa se te kamnine razgradijo s procesi oksidacije in hidrolize. Nastali Fe^{3+} oksidi imajo zelo nizko toplotnost. V coni preperevanja, v tleh, so lahko Fe^{3+} oksidi remobilizirani pod anaerobnimi pogoji s pomočjo mikroorganizmov. Ponovno naraščanje koncentracije Fe^{2+} ionov pa povzroči padanje vrednosti pH v okolju in migracijo prostega iona v druga okolja, kjer se železov oksid lahko

spet obarja. Železovi oksidi, nastali s preperevanjem, kažejo tri glavne značilnosti: dajejo barvo materialu, katerega primes so, prisotni so v zelo majhnih kristalih (5–100 nm) ter predstavljajo razsežno področje v obliki in prisotnosti.

Najpogostejši minerali v sedimentih in tleh so železovi oksidi in hidroksidi, kot so goethit, lepidokrokrit, hematit in maghemit, pogost je pa tudi železov sulfid, pirit. Limonit je zmes mineralov goethita (αFeOOH) in lepidokrokita (γFeOOH), zmes lahko vsebuje tudi primesi drugih mineralov. Večje količine nastajajo predvsem pri preperevanju pirita (FeS_2) in siderita ali pa kot oborina v barjih, kjer je zaradi povečane količine bituminoznih snovi redukcijsko okolje. Pogost je tudi v lateritih. Goethit je zelo pogost mineral, ki nastane pri oksidaciji različnih železovih mineralov, nastaja pa lahko tudi kot oborina v barjih in izviri. Goethit in lepidokrokrit nista magnetna. Pogost je tudi hematit ($\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$), ki obarva sedimente in tla rdeče in je šibko magneten ali nemagneten. Maghemit ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$) nastane z oksidacijo iz magnetita, goethita in je magneten. Magnetit (Fe_3O_4) nastopa v tleh v obliki litičnih zrn in je magneten. Pirit (FeS_2) je najbolj pogost sulfid, ki nastaja pri visokih in nizkih temperaturah. Prepereva v železove sulfate in nato naprej v goethit. Je skoraj popolno nemagneten. Pogost je v naših flišnih kamninah in ga zato lahko najdemo v sedimentih in tleh, ki imajo izvor v flišnih kamninah.

Obarjanje, raztapljanje in ponovno obarvanje železovih oksidov v okolju je odvisno od pH, Eh, temperature in aktivnosti vode, zato so lahko indikatorji okolja, v katerem so nastali.

Goethit in hematit sta termodinamčno najbolj stabilna železova oksida pod aerobnimi pogoji in sta zato tudi najbolj pogosta v sedimentih in tleh. Rumenorjavi goethit nastopa v skoraj vseh tleh, v jezerih in potokih, medtem ko je hematit značilen za tla, nastala v tropski in subtropski klimi, in tla obarva rdeče. Razmerje med goethitom in hematitom se spreminja z lokalnimi pogoji, zato je to razmerje indikator okolja.

Goethit se obarja neposredno iz raztopin,

medtem ko hematit potrebuje prisotnost ferrihidrita ($\text{Fe}_5\text{HO}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) kot predhodnika – nastaja z njegovo dehidracijo in preureditvijo atomov. Neposredni prehod goethita v hematit ne obstaja, razen pri pogojih s povišanim tlakom, kjer se iztisne voda iz molekule goethita in nastane hematit. Goethit in hematit v tleh (prst) sta navadno nepravilnih oblik, čeprav je goethit lahko vlaknat, hematit pa v obliki heksagonalnih ploščic.

Lepidokrokrit je manj razširjen mineral, je pa značilen za okolje, kjer nastopa Fe^{2+} , iz katerega se tvori lepidokrokrit z oksidacijo. Sčasoma pa prehaja v bolj stabilni goethit.

Ferrihidrit je omejen na območja, kjer se Fe^{2+} oksidira zelo hitro in kjer so prisotni zadrževalci kristalizacije (organske sestavine, fosfati, silikati). Kristali so majhni, omenjeni zadrževalci pa stabilizirajo ferrihidrit in preprečujejo njegovo transformacijo v bolj obstojne minerale. Tipična okolja za njegov nastanek so izviri, odtočne linije, jezerski oksidi, podtalnica, voda v sedimentih, rečni sedimenti, oceani itd. Je pomemben predhodnik tvorjenja hematita, lahko pa tvori tudi goethit, kar je odvisno od pH. Transformacija pri nevtralnem pH je zelo počasna (meseči–leta), s prisotnostjo organizmov pa se lahko zelo pospeši (do nekaj dni). Tako lahko rečemo, da je ferrihidrit mlad železov oksid.

Maghemit je mineral, vezan na pedogenetske procese. Najdemo ga v tleh tropskega in subtropskega pasu, lahko pa tudi v tleh zmernege pasu, kjer je pa vezan na povišane temperature (ob gozdnih požarih ali kuriščih) in prisotnost organskih snovi. Nastane s transformacijo drugih železov oksidov, kot je, recimo, goethit.

Rumenim ilovicam in vsem ilovicam z odtenki rumene ter rjave daje barvo mineral goethit, rdečim ilovicam in vsem, ki imajo rdeč odtenek, pa mineral hematit. Črn odtenek rjavim in sivorumenim ilovicam daje prisotnost organskih snovi, kar kaže tudi na tvorbo humusa na nekdanjih tleh, ki so bila v preteklosti izpostavljena površju.

Mineralna sestava vseh preiskanih vzorcev z metodo rentgenske praškovne difraktometrije

je prikazana na sliki 16.10. Rezultati analiz izbranih, rumeno obarvanih sedimentov iz vrtač, to je njihova mineralna sestava, je prikazana na sliki 16.11. Razvidno je, da vzorci vsebujejo največ kremena, od 57 % do 77 %, precej klorita, od 9 % do 15 %, muskovita/illita od 4% do 16 %, plagioklaza od 4 % do 7 % in mikrokлина od 2 % do 5 %. V posameznih vzorcih so bili v manjših količinah prisotni še kalcit, dolomit, kaolinit in hematit.

Mineralna sestava rdeče obarvanih sedimentov je prikazana na sliki 16.12. Iz tega diagrama je razvidno, da vzorci vsebujejo največ kremena, od 64 % do 77 %, precej klorita, od 12 % do 19 %, muskovita/illita od 3% do 10 %, plagioklaza od 3 % do 5 %, v vseh vzorcih, razen V3/3, je prisoten tudi hematit. V dveh vzorcih je bil določen še kaolinit in v enem od vzorcev dolomit.

V rumenih ilovicah je bilo več muskovita/illita, višji je bil odstotek plagioklaza in prisoten je bil tudi mikroklin. Kalcit je bil najden le v vzorcu jamskega sedimenta iz preperle sige. V rdeče obarvanih sedimentih je bilo več klorita, manj muskovita/illita ter plagioklaza, mikrokлина pa v teh vzorcih ni bilo.

V vrtačah so prevladovali sedimenti rdeče in rumene barve v več odtenkih s prehodi ene v drugo ter v rjavo barvo. Ista plast klastičnega sedimenta je lahko navzgor prehajala v temnejše, bolj rjave odtenke, kar je bilo odraz stika sedimenta s površjem. Tu se odražajo tako procesi tvorbe tal kot tudi vpliv človekovega delovanja. Če so bili v vrtači sedimenti v vrhnji plasti dalj časa v neposrednem stiku s površjem, so se podvrgli procesom pedogeneze. V vrhnjih slojih se je začela tvoriti prst, ki jo je človek verjetno obdeloval, na to kažejo drobni koščki prazgodovinske keramike, ki so jih našli med arheološkim izkopavanjem. Kasneje so se s pobočnim spiranjem in zasipanjem čez njih nasule nove plasti, lahko jih je nasul tudi človek, ki je dna vrtač izravnal. Kadar so bili novonasuti sedimenti dlje časa v stiku s površjem, so spet podlegli procesom pedogeneze, zgornja plast je ponovno spremenila barvo. Da gre za tvorbo tal, kažejo nejasni pre-

hodi iz svežega svetlejšega sedimenta v temnejše barvne odtenke, kar obenem kaže na povečano prisotnost organskih snovi v sedimentu. Rumenum sedimentom z odtenki rumene ter rjave daje barvo mineral goethit, rdečim sedimentom z odtenki rdeče pa mineral hematit. Črno in temnorjavo barvo sedimentom dajejo organske snovi, ki kažejo tudi na tvorbo humusa v tleh.

Vsi vzorci so si bili po mineralni sestavi podobni, samo količina posameznih mineralov je bila od vzorca do vzorca različna. Iz dobljenih rezultatov bi lahko sklepali o istem izvoru sedimentov in s tem mineralov v njih, to je iz preperelih ostankov flišnih kamnin. To pa zato, ker vzorci vsebujejo minerale mikroklin, plagioklaz in muskovit, ki so značilni za flišne kamnine, pa tudi klorit ima v njih lahko svoj izvor. Analizirani sedimenti pa ne vsebujejo amfibolov, ki so značilni za puhlične sedimente v Istri (Durn, Aljinović 1995) in s tem izključujemo njihov eolski izvor. Mikroklin in plagioklaz, ki ju najdemo v teh sedimentih, nam kažeta, da ne morejo biti netopni ostanki apnencev, ker teh dveh mineralov v apnencih ni.

Na osnovi raziskav vzorcev sedimentov predvidevamo, da imajo tako rumeni jamski sedimenti in rdeče obarvani površinski sedimenti svoj izvor v flišnih kamninah in njihovih preperelih ostankih. Njihova barva je odvisna od prisotnosti železovih mineralov v sedimentu. Barva flišne preperine je rumena do rumenorjava, na površju in ob razpokah, kjer so odloženi sedimenti prišli za dlje časa v stik z atmosferskimi pogoji, pa je značilna transformacija rumene barve v rdečo. To je prehod železovih hidroksidov v okside, hematit na primer, za kar pa niso nujno potrebni pogoji tropske klime.

V dnu depresij in jamah, kjer so bili nanaseni sedimenti zaščiteni pred atmosferskimi vplivi, so obdržali rumeno barvo. Zato je rumena barva indikator za jamske sedimente, ki se sedaj zaradi denudacije jamskih stropov nahajajo na površju. Za trditev, da so rumeni sedimenti v dnu tu opisanih vrtač, tudi jamski sedimenti, nimamo zadostnih dokazov. V dnu vrtač se ni dalo zaslediti, da bi vrtača dosegla jamski prostor, nikjer ni bilo

najdeno sige ali drugih značilnih jamskih oblik. Sedimenti s svojo sestavo kažejo na izvor v preperelih ostankih eocenskega fliša, ki so jih lahko še v pleistocenu manjši potoki nanašali iz fliša na kras, saj je kontakt med flišem in apnencem v bližini obravnavanega ozemlja.

Rdeča tla imajo lahko svoj izvor ne samo v flišnih kamninah, ampak tudi v preperelih ostankih apnencev, bogatih z roženci, lahko pa najdemo v njih tudi eolske sedimente. Večja debelina rdečih tal je lahko povezana z njihovim nastankom v pogojih tropske klime, kjer poteka preperevanje kamnin in tvorba tal hitreje. Da so na našem krasu nekateri rdeče obarvani sedimenti in rdeča tla prešli obdobje tropske klime, odražajo boksitni minerali, ki jih vsebujejo nekateri od njih. Rdeča tla so različna po mineralni sestavi in s tem po izvoru ter času oblikovanja.

Velika razprostranjenost sedimentov, ki imajo svoj izvor v flišnih kamninah, kaže na občasno izrazito preperevanje flišnih kamnin in močan transport njihove preperine v takrat obstoječe jame in – predvsem v bližini kontakta med krasom in ozemljem na flišu tudi po površju krasa – v obstoječe depresije. Seveda se ta proces transporta fliša v jame sedaj nadaljuje, vendar ni tako intenziven. Erozija flišnih kamnin je bila lahko povečana zaradi hladnejše klime, povečane količine padavin ali pa zaradi intenzivnejšega tektonskega dvigovanja ozemlja. Vsekakor so bili sedimenti, ki so se takrat odložili na našem krasu, obarvani rumeno. Kasneje pa so se tisti, ki so bili na površju, lahko pomešani z netopnimi ostanki apnencev in s puhlico, ali pa po razpokah prenikajočo vodo, v stiku s površjem obarvali rdeče. Na površju oblikovana rdeča tla pa so bila lahko kasneje tudi prenesena v jame.

RAZISKAVE JAMSKIH SEDIMENTOV IZ ZAPOLNJENE JAME PRI DIVAČI

NADJA ZUPAN HAJNA, PAVEL BOSÁK, PETR PRUNER

Divaški kras je del matičnega Krasa na njegovem jugovzhodnem robu okrog Divače do Škocjanskih jam. Za Divaški kras so značilne številne vrtače, globoke udornice in velike jame. Površje je oblikovano na nadmorski višini med 420 in 450 metrov, ponor Reke v Škocjanske jame pa je na nadmorski višini 317 metrov. Največje jame so Škocjanske jame in Kačna jama, skozi katere teče podzemeljska Reka. Skupna dolžina rovov je 12,5 kilometrov. Velika je tudi Divaška jama z vhodom na nadmorski višini 427 metrov, rovi pa se spustijo do nadmorske višine 350 metrov.

Južno od Divače, med izvozom Divača in cesto Škocjan–Lokev, je bila leta 1997 na vzhodnem robu avtoceste razgaljena jama, ki je bila popolnoma zapolnjena z rumeno obarvanimi fluvialnimi klastičnimi sedimenti (slika 17.1). Presek popolnoma zapolnjene jame je bil visok približno 6 metrov, nad njo pa je bilo še nekaj metrov stropa. Glede na takratno znanje smo predvidevali, da je edina metoda, s katero se lahko lotimo datacij teh sedimentov, paleomagnetna metoda. Saj so analize sige z U/Th-metodo namreč pokazale, da je veliko sedimentov na našem krasu starejših (Zupan 1991; Zupan Hajna 1992; Mihevc 1996), kot je doseg metode.

Obenem ko smo vzorčevali sedimente za paleomagnetne analize, smo pobrali tudi vzorce za mineraloške in palinološke analize. Pale-

omagnetne analize so bile narejene na Inštitutu za geologijo češke Akademije znanosti v Pragi, mineraloške analize na Inštitutu za raziskovanje krasa ZRC SAZU in Inštitutu za geologijo NTF na ljubljanski univerzi in palinološke analize na Inštitutu za biologijo Jovana Hadžija ZRC SAZU v Ljubljani.

Paleomagnetne analize vzorcev so opravile: D. Venhodová, J. Slepíčková in J. Drahotová. Risbe sta narisala V. Havlikova in J. Forman, tabele je oblikovala J. Čadková (vsi z Inštituta za geologijo CAS, Praga). Palinološke analize je naredila dr. M. Culiberg (Inštitut za biologijo ZRC SAZU, Ljubljana), rentgenske vzorce je pa posnela dr. M. Bole (Inštitutu za geologijo NTF, Ljubljana).

METODE

Za določitev mineralne sestave smo vzorce sedimentov preučili z metodo rentgenske praškovne difrakcije. Vzorci so bili analizirani z difrakto- metrom Philips na Oddelku za geologijo NTF. Pri snemanju so bili uporabljeni anoda $\text{Cu}_{K\alpha}$ pri napetosti 40 KV in toku 30 mA, Ni-filter in proporcionalni števec ter avtomatska divergenčna zaklopka. Snemanje je bilo zvezno, s hitrostjo 2° $2\Theta/\text{min}$ v območju kota 2Θ od 2° do 70° . Količina mineralov v vzorcih je podana z odstotki, ki

pa ne predstavljajo absolutne količine posameznega minerala v vzorcu, ampak preračunan delež minerala v vzorcu glede na višino njegovega glavnega odboja. Zato so odstotki samo informativne narave in primerjalni. Mineralov, ki jih je po količini v vzorcu manj kot 3 %, ta metoda ne zazna.

Palinološke analize so bile narejene iz dveh večjih vzorcev drobnozrnatih fluvialnih sedimentov. Vzorca sta bila obdelana z običajno metodo palinološke macretacije (obdelava s HCl, KOH, ZnCl₂ in C₄H₆O₃+H₂SO₄), vendar v štirih sekcijah vzorcev ni bilo prisotnih spor ali peloda.

Za paleomagnetne analize je bilo odvzetih 15 orientiranih vzorcev sipkega sedimenta in cementiranega peščenjaka, ki so bili razdeljeni na 29 laboratorijskih vzorcev. Laboratorijski analize so omogočile določitev magnetne remanence v različnih temperaturnih intervalih med postopno termalno demagnetizacijo (TD) in demagnetizacijo z izmeničnim magnetnim poljem (AFD) ter določitev modulov in smeri remanentne magnetizacije in določitev mineralov, ki so nosilci remanentnih komponent glede na posamezne mineralne faze in njihove spremembe. Fazne in mineralološke spremembe magnetno aktivnih (povečini železovih oksidov) mineralov se med laboratorijskimi termalnimi testi pogosto pojavljajo,

posebno pri majhnih temperaturnih intervalih. Te spremembe lahko izpeljemo iz grafov normaliziranih vrednosti $k_t/k_n = f(t)$; k_n označuje obseg magnetne susceptibilnosti primerkov v naravnem stanju, k_t pa susceptibilnost primerkov, demagnetiziranih pri temperaturi t°C. Vrednosti k_t in k_n so bile izmerjene na »kappa-bridge KLY-2« (Jelínek 1973).

Pri laboratorijskih analizah so bili vzorci podvrženi postopni termalni demagnetizaciji na MAVACS (Magnetic Vacuum Control System), ki ustvarja močan magnetni vakuum v demagnetiziranih vzorcih (Příhoda idr. 1989). Vsi vzorci so bili demagnetizirani s postopki izmeničnega polja (Schonstedt GSD-1) do polja 1000 Oe (14 stopenj).

Remanentna magnetizacija vzorcev v naravnem stanju (NRM) je označena z znakom J_n , odgovarjajoči remanentni moment pa z znakom M. Grafi normaliziranih vrednosti $M/M_0 = F(t)$ so bili izdelani za vsakega od analiziranih vzorcev. Smeri J_n in remanentne magnetizacije termalno ali IP demagnetiziranih vzorcev med postopkom postopne demagnetizacije so prikazane v stereografski projekciji. Ločitev sestavin remanentne magnetizacije je bila izvedena po večkomponentni Kirschvinkovi analizi (Kirschvink 1980). Za izračun srednjih smeri komponent remanence,



Slika 17.1: Zapolnjena jama južno od Divače v vrtači na vzhodnem robu gradbišča avtoceste Divača–Kozina.

izpeljanih iz večkomponentne analize, pa je bila uporabljena Fischerjeva statistika (1953).

ZAPOLNJENA JAMA JUŽNO OD DIVAČE

Zapolnjen jamski rov (slika 17.1) se je nahajal v južnem pobočju večje vrtače (x 5058400, y 5420100, z 453 m). Jama je bila razvita v spodnje paleocenskih apnencih, z vpadom plasti za okrog 10° proti jugu.

Jamske fluvilane sedimente smo v profilu ločili na štiri sekvence. Spodnja sekvenca, št. 1, je ločena od nad njo ležečih sedimentov z debelejšo limonitno skorjo (slika 17.2). Sestavljale so jo različne plasti gline in meljaste gline, včasih s primesjo drobnega peska. Srednjo sekvenco, št. 2, so sestavljali raznobarni glineni melji in gline, prav tako s primesjo peska. Ta plast se je končala s tanko limonitno skorjo, ki predstavlja še bolj opazno erozijsko bazo tretje sekvence (št. 3). Tretjo (zgornjo) sekvenco zaznamujejo značilni fluvialni cikli s 4 do 40 centimetrov debelimi belo ali sivkastorjavo in sivkastorjavo ali oker obarvanimi peski s svetlo obarvanimi glinami ter meljastim zaključkom vsakega cikla. Peski so večinoma drobnozrnati. V njih opazimo navzkrižno plastovitost, včasih z navzkrižno laminiranostjo (slika 17.3 in 17.4). Baze posameznega cikla so ostre, pogosto z opazno erozijo. Profil se konča s približno 30 cm debelo plastjo presedimentiranih rdečih tal (tip terra rossa), ki jo označujemo kot četrto sekvenco (št. 4). Rdeča ilovica (slika 17.3) je bila delno prekrita z bloki sivega paleocenskega apnenca iz razpadajočega jamskega stropa.

Profil sedimentov je izrisan na sliki 17. 5. Posamezna območja sedimentov so bila delno povezana – cementirana v telesa nepravilnih oblik, stik z nevezanim sedimentom je oster. Cementacija se pojavlja predvsem v belo in sivkastorjavo obarvanih peskih, ki kažejo na kontaktni tip karbonatne cementacije (slika 17.4). Nekateri deli so močno cementirani z več centimetrov dolgimi kristali kalcita.



Slika 17.2: Na sliki je vidna sekvenca 1 v spodnjem delu profila, ki se konča z limonitno skorjo (ob ročaju strgala), in enakomerna sedimentacija sekvence 2 nad skorjo.

Za vse sedimente v profilu je značilna sekundarna feritizacija, predvsem v obliki pojavljanja železovih skorij v izsušitvenih razpokah in po plasteh, kjer so opazni erozijski dogodki ob preinitvi sedimentacije.

Sedimenti v profilu so bili močno razlomljeni. To je posledica posedanja posameznih delov sedimentov zaradi sušenja ali pa tektonskih dogajanj. V profilu je bila opazna mreža vzporednih razpok, med seboj oddaljenih od nekaj milimetrov do več centimetrov. V nekaterih delih sedimentov so bile opazne tudi porušene cone. Kasneje so jih infiltrirane raztopine, prenasočene s kalcijevim karbonatom, zapolnile z rdečkasto obarvanimi glinami in kalcitnim cementom.



Slika 17.3: Na sliki se vidijo: sekvenca 3 v spodnjem delu slike in nad njo rdeča ilovica sekvence 4. Jama je bila zapolnjena do stropa. Apnenec nad jamskimi sedimenti je razpadel na posamezne bloke.

Rezultati mineraloške analiz

Iz profila jamskih klastičnih sedimentov je bilo vzetih 21 vzorcev, od teh je bilo 6 vzorcev analiziranih z metodo rentgenske difrakcije. Vsi vzorci so vsebovali kremen (od 62 do 93%), muskovit/illit (od 4 do 11 %) in klorit (od 4 do 15 %). Mikroklin je bil v relativno veliki količini zaznan samo v enem vzorcu (od 8 do 10%) in v dveh vzorcih je bil prisoten samo v sledih. Plagioklaz pa se je v sledih nahajal samo v enem vzorcu, drugje ga nismo zaznali. Minerali z zmesno strukturo so bili zaznani v enem od vzorcev (2 %) in v sledih v enem od ostalih vzorcev. Goethit je bil prisoten v dveh vzorcih (4 in 5%). Kalcit pa je bil v enem vzorcu prisoten v precej veliki količini (24%).

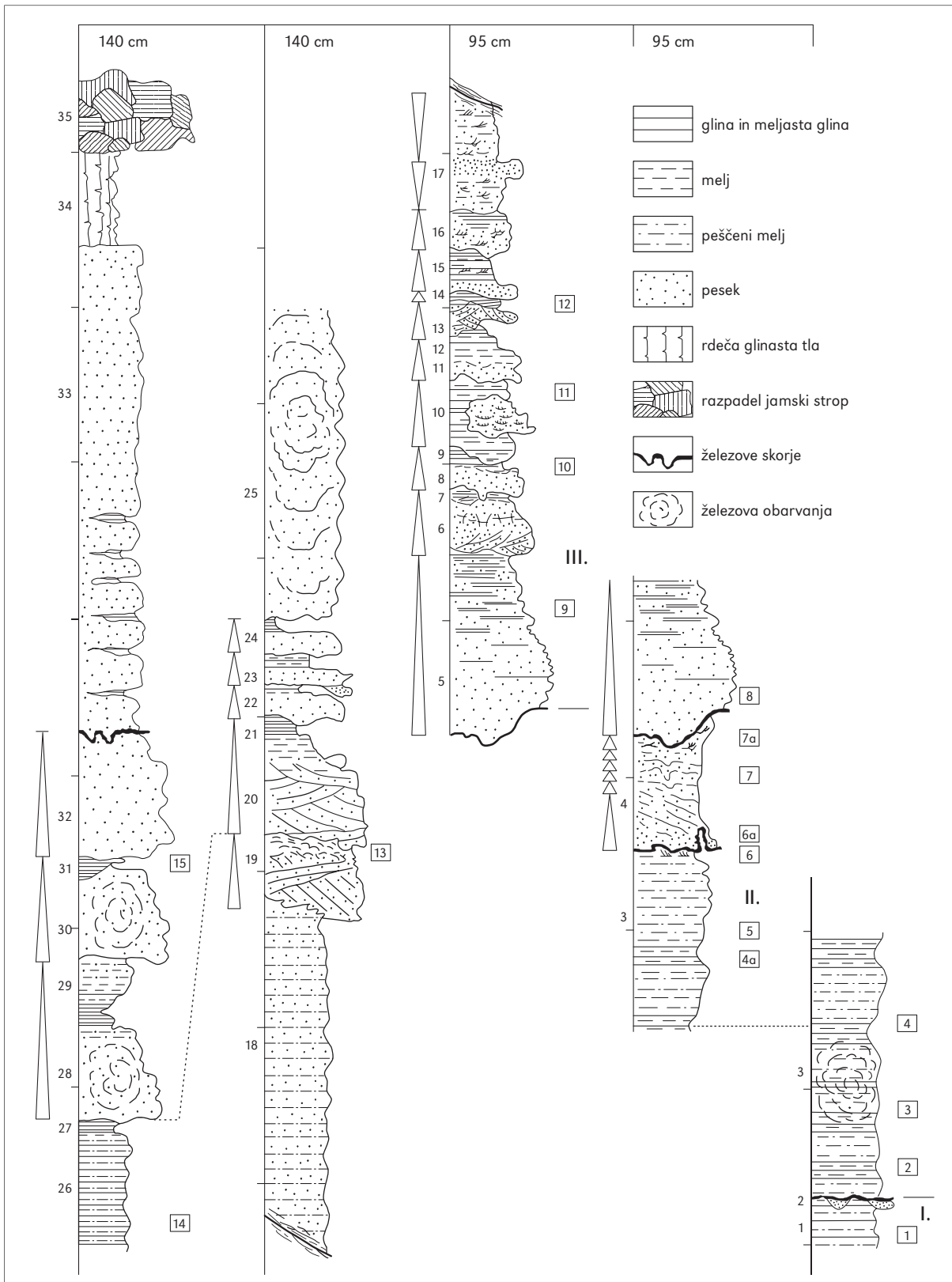


Slika 17.4: Trša, cementirana območja sedimenta, ki štrlijo iz profila, so se nahajala v 3. sekenci.

Mineraloške analize jamskih sedimentov izpričujejo relativno enotno sestavo lahke frakcije (kremen, muskovit, mikroklin in plagioklaz, tudi illit in klorit), kar kaže na njihov izvor iz preperelih ostankov eocenskega fliša. Goethit nastopa v obeh limonitnih skorjah, ki ju najdemo v dveh plasteh v dnu profila in sta nastali ob prekinitvi sedimentacije. Rdeča ilovica na vrhu profila jamskih sedimentov pa izvira iz rdečih tal, ki so bila kasneje erodirana in prinesena v jama. Kalcit predstavlja cement, ki je v nekaterih delih klastične sedimente, predvsem kremenčev pesek, povezal v precej porozen peščenjak.

Rezultati paleomagnetnih analiz

Vsi zbrani vzorci so bili predmet popolne demagnetizacije z izmeničnim poljem (delno ter-

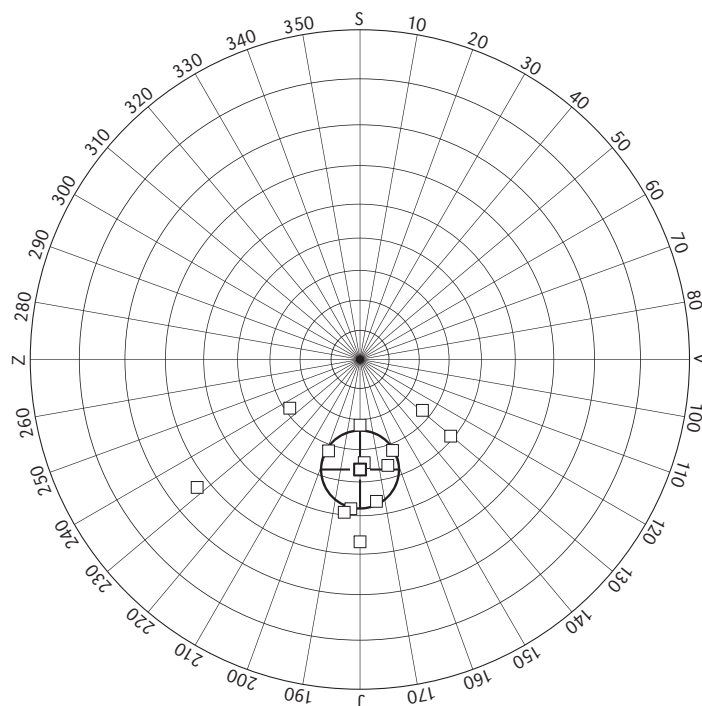


Slika 17.5: Litološki stolpec profila jamskih sedimentov iz zapolnjene jame južno od Divače. Številke v kvadratih se nanašajo na paleomagnetne vzorce, male številke, pa na številko plasti.

DPROFCOR
n 13

statistika smeri
srednje smeri:

dekl.	180.8
inkl.	-54.2
alfa	11.9
R	12.1
K	13.1



Slika 17.6: Slika porazdelitve paleomagnetne smeri C-elementov remanentnega magnetizma v vzorcih.

malni). Za 6 metrov visok profil so bili določeni osnovni magnetni parametri.

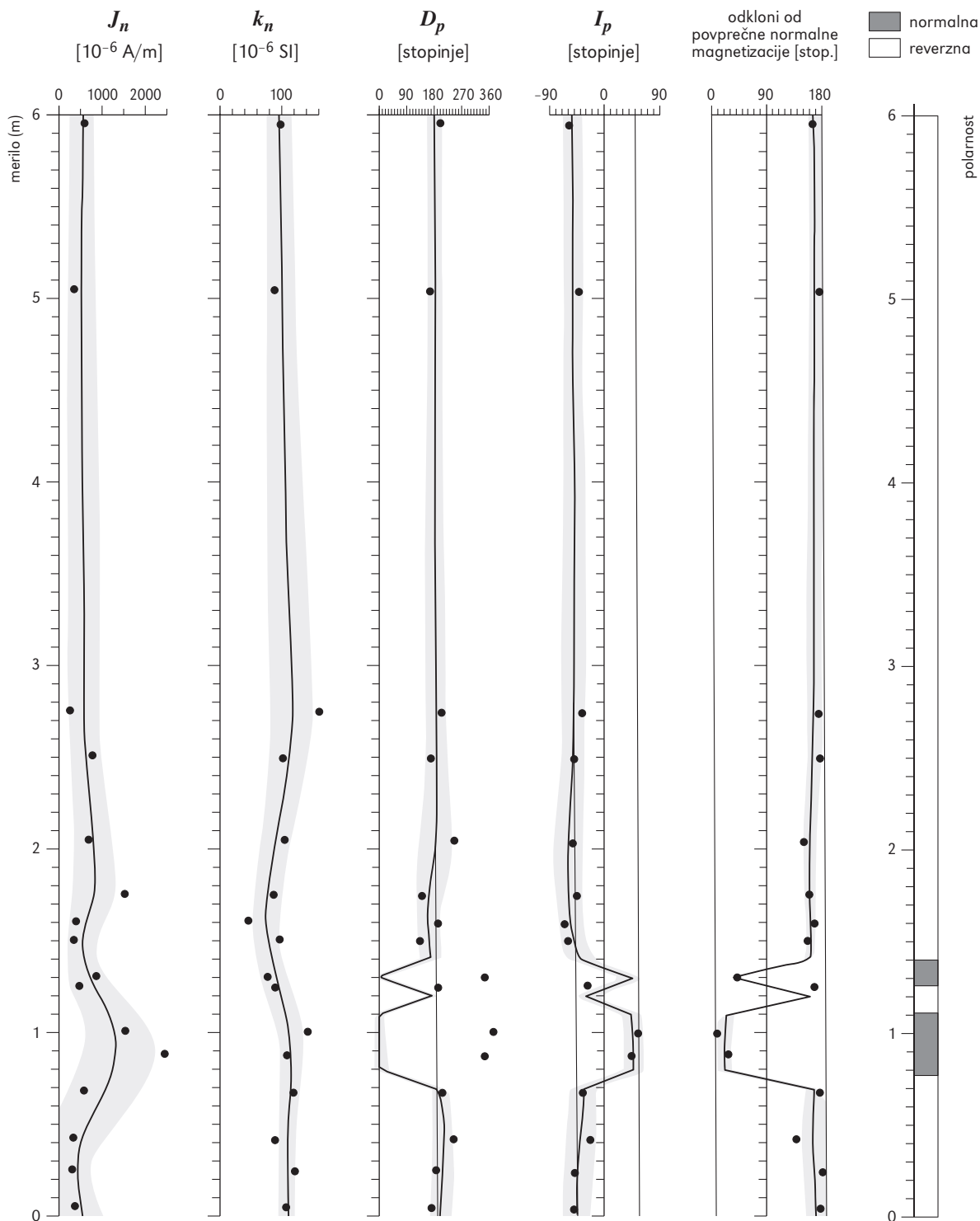
V splošnem so analizirani vzorci pokazali nizko magnetnost s srednjimi vrednostmi $J_n = 0,844 \pm 0,735$ (nT), $k_n = 103 \pm 26 \times 10^{-6}$ (SI), $n = 29$. Simbol n predstavlja število vzorcev, ki so bili uporabljeni za izračune pri statistični obdelavi rezultatov. Vrednosti J_n so bile merjene v naravnem stanju z zadostno stopnjo zaupanja in so bile za obdelane vzorce zelo nizke, večinoma odvisne od izvora magnetizma. Vrednosti prostornine magnetne susceptibilnosti so tudi nizke, vendar kažejo manjšo disperzijo kot J_n -vrednosti. Smeri remanentne magnetizacije, ugotovljene z zgoraj opisanimi postopki, so bile testirane z večkomponentno analizo (Kirschvink 1980). Določene so bile tri komponente remanence: A, B in C. Komponente A so večinoma viskozne ali kemoremanentnega (preperevanje) izvora in se lahko odstranijo z izmeničnim poljem z močjo 10 do 30 Oe. Normalne in reverzne smeri komponente C so iz dveh ločenih skupin vzorcev glede na Fisherjevo razporeditev (95 % verjetnost) in so prikazane na sliki 17.6. Osnovni magnetni

parametri vzorcev iz zapolnjene jame pri Divači so prikazani na sliki 17.7. V profilu, ki predstavlja 6 metrov plasti jamskih fluvialnih sedimentov, smo zasledili dve coni z normalno polariteto v spodnjem delu profila, medtem ko so vsi ostali vzorci iz profila pokazali reverzno polariteto. Remanentne komponente niso bile določene za dva vzorca v profilu, dva vzorca sta pa bila preveč razpadla.

Paleomagnetne in magnetostratigrafske raziskave so dale podatke o osnovnih magnetnih značilnostih in za določitev paleomagnetnih smeri:

- magnetostratigrafske raziskave profila pri Divači so nam dale podatke o prisotnosti dveh normalnih in ene reverzne magnetocene;
- magnetostratigrafski rezultati vzorcev iz profila pri Divači in Kozini (Bosák idr. 2000) kažejo dobro korelacijo med obema profiloma (v obeh profilih sta bili ugotovljeni dve normalni coni v reverzni magnetoconi; dobra korelacija vrednosti modulov remanentne magnetizacije (J_n)).

Magnetostratigrafski rezultati iz vzorcev flu-



Slika 17.7: Osnovni magnetni parametri vzorcev iz zapolnjene jame pri Divači.

vialnih klastičnih sedimentov iz zapolnjene jame južno od Divače tako kažejo na prisotnost dveh ozkih normalnih magne-
tocon v dolgi reverzni

magne-
toconi, ki verjetno sovpadata z olduvai oziroma reunion (1,67 do 1,87 milijona let) normalnima magne-
toconoma v času reverzne ma-

tuyama epohe ali pa z normalnima magnetocoma (okrog 3,8 do 5,0 milijona let) v reverzni gilbertovi epohi.

Rezultati paleomagnetnih analiz pridobljeni v zapolnjeni jami pri Divači so tako primerljivi z rezultati v brezstropi jami pri Kozini (Bosák idr. 2000). Litološka sestava spodnje sekvence v profilu je primerljiva s profilom pri Kozini. Primerljivi so tudi magnetostratigrafski rezultati, saj se v obeh primerih pojavljata dve krajši normalni znotraj reverzne magnetocene. Nekaj razlik je samo v razporeditvi normalnih magnetocov glede na položaj v poteku sedimentacije, kar verjetno izhaja iz različnih hitrosti odlaganja sedimentov v obeh jamah.

SKLEP

Gradnja avtoceste Divača–Kozina je razkrila številne zapolnjene in brezstropne jame. Ena takih je bila najdena južno od Divače. Zapolnjen jamski rov je bil najden na južnem pobočju večje vrtače in je bil visok 6 metrov, skalno dno jame z deli na cesti ni bilo doseženo. V rovu so bile izražene rumeno obarvane plasti fluvialnih jamskih sedimentov, od peska, melja do ilovice, na vrhu profila pa je bila prisotna plast rdeče ilovice. V profilu, ki je sekal vso jamo, je bilo opazno več različnih tekstur, prevladovala je navzkrižna plastovitost, izražene so bile pa tudi erozijske površine, ki so delile profil v posamezne sekvence.

Vsi sedimenti v jami so bili močno podvrženi feritizaciji, posebno po razpokah, ki so nastale v sedimentu zaradi sušenja sedimentov ali premikov zaradi posedanja ali tektonike. Nekateri deli profila so bili tudi močno cementirani s kalcitom in to v obliki naključno razporejenih nepravilnih teles. V spodnjem delu profila sta bili prisotni tudi dve železovi skorji, ki sta ločevali prvo in drugo ter drugo in tretjo. Vsekakor železne skorje predstavljajo prekinitev sedimentacije. V prvi in drugi sekvenci (v dnu profila) smo lahko opazovali plasti, ki so kazale na sedimentacijo

v mirnem okolju, saj so relativno debele in enakomerne zrnivosti. Lahko, da so bile plasti sedimentov iz teh dveh spodnjih sekvenc odložene še v freatičnih pogojih, kasneje pa se je gradient močno spremenil. Na hitrost odlaganja sedimentov v spodnjem delu profila lahko sklepamo iz paleomagnetnih rezultatov, ki kažejo na počasnost odlaganja, mm/100 let in 2,65 mm/100 let. V tretji sekvenci profila so razviti značilni fluvialni cikli z različnimi plastmi, kar kaže na spremembe hidravličnega gradienta in/ali spremembe klimatskih pogojev v času usedanja.

Od skupno 29 vzorcev iz profila je bilo več cementiranih. Vzorci so bili demagnetizirani z izmeničnim poljem (IP) pri 10 do 1000 Oe. Posamezne komponente remanentne magnetizacije po demagnetizaciji z izmeničnim ali termalnim poljem so bile ugotovljene z večkomponentno analizo po Kirschvinkovi metodi. Profil vsebuje dve normalni magnetoconi v širši reverzni magnetoconi. Sedimenti v zapolnjeni jami so tako vsekakor starejši od meje bruhnes/matuyama (0,78 milijona let), iz razporeditve posameznih magnetocov pa je mogoče trditi, da so sedimenti starejši od konca obdobja olduvai (1,77 milijona let) ali pa celo od 3,8 milijona let. Profil je primerljiv s profilom pri Kozini (Bosák idr. 2000) tako paleomagnetno kot tudi litološko.

Izvor sedimentov v zapolnjeni jami južno od Divače so glede na mineralno sestavo prepereli ostanki eocenskega fliša. Na to kažeta visoka vsebnost kremenca in prisotnost glincev.

Jama, ki je nastala v paleocenskih apnencih, je neznane starosti. Glede na dobljene rezultate njen nastanek lahko povezujemo s časom drastičnega padca morske gladine in razvojem globokega krasa (Perna 1996) v Sredozemlju in njegovi okolici ob tako imenovanem messinskem dogodku (Hsü idr. 1977). Zapolnitev jame pa lahko povežemo s hitrim dvigom morske gladine in s tem zmanjšanjem gradienta, ko se je Sredozemski bazen spet zapolnil. To naj bi se, glede na dobljene rezultate, zgodilo pred 5,2 milijona leti.

PALEOMAGNETNE RAZISKAVE JAME BREZ STROPA PRI KOZINI

PAVEL BOSÁK, MARTIN KNEZ, PETR PRUNER, TADEJ SLABE

Paleomagnetno raziskovanje jamskih naplavin na Krasu izvajamo od jeseni leta 1997 v okviru znanstvenega sodelovanja med Inštitutom za geologijo Akademije znanosti Češke republike in Inštitutom za raziskovanje krasa ZRC SAZU. Raziskovanje je zajelo nekaj zelo zanimivih lokacij na Krasu in v jugovzhodni Sloveniji ter je prineslo pomembne izsledke. Proučevali smo jamske sedimente pri Divači, v Divaški jami in Trhlovcu, v Črnotičah pri Črnem Kalu in brezstropi jami pri Kozini. Paleomagnetne analize so bile izvedene na češkem Inštitutu.

GEOLOŠKE IN MORFOLOŠKE RAZMERE

Območje je prevotljeno s starimi jamami, ki jih ponekod sekajo mlajša brezna. Nastanek brezen je povezan s padcem piezometrične gladine, ki je sedaj 200 metrov pod površjem. Brezna so prazna ali zapolnjena z mlajšo (pleistocensko) naplavino (Rakovec 1958; Brodar 1958). Velike dolinam podobne oblike na površju Krasa naj bi predstavljali prvotne rečne doline, saj vsebujejo ostanke rečnih naplavin. Kljub temu pa novejša razlaga kaže na to, da so rečne naplavine verjetneje vsebinske fosilnih jam kot pa ostanke površinskih rečnih sistemov. Zapolnitve jam se pojavijo na površju

zaradi njegovega znižanja. Te jame imenujemo jame brez stropa.

Te jame so bile prvič opisane med izgradnjo avtoceste prek Krasa (Knez, Šebela 1994; Šebela, Mihevc 1995; Slabe 1996, 1997a, 1997b, 1998a; Mihevc, Zupan Hajna 1996; Mihevc 1996, 1998, 1999a, 1999b, 1999c; Kogovšek idr. 1997; Mihevc idr. 1998; Šebela idr. 1999; Knez, Slabe 1999a, 1999b; Šebela 1999). Nekatere so deli istega ali več istih jamskih spletov. Kaže, da so take jame razširjene po vsem Krasu (npr. Šušteršič 1998; Mihevc 1998; Stepišnik, Šušteršič 1999; Geršl idr. 1999).

Mihevc idr. (1998) ter Knez in Slabe (1999a, 1999b) so poskušali razložiti značilne oblike jam brez stropa. Preoblikovane so s površinskimi procesi in so pomembna značilnost epikraške cone (Knez, Slabe 1999b). Oblika brezstropih jam je posledica oblike sedanjega površja, oblike starih jam, izrazitosti mlajšega zakrasevanja (speleogeneze) in stopnje mlajšega razgaljenja jamskega polnila. Na terenu se kažejo kot plitke podolgaste zajede in vrtačam podobne oblike. Jame brez stropa so značilni primer paleokrasa – odkopani ali pomlajeni kras (Bosák idr. 1989, 32), delno vključen v sedanjo kraško pokrajino in hidrološki sistem.

Datiranje usedline s paleomagnetno metodo

v nekaterih brezstropih jamah (Bosák idr. 1998a, 1998b, 1998c, 1999a, 1999b, 2000; Pruner, Bosák 1999) je pokazalo na precejšnjo starost jamskih polnil, vsekakor več kot 1,77 milijona let.

LEGA IN ZNAČILNOSTI NAHAJALIŠČA

Nahajališče leži severovzhodno od Kozine v bližini obstoječe glavne ceste Ljubljana–Koper v useku, ki je nastal med izgradnjo avtoceste Divača–Klanec (slika 18.1).

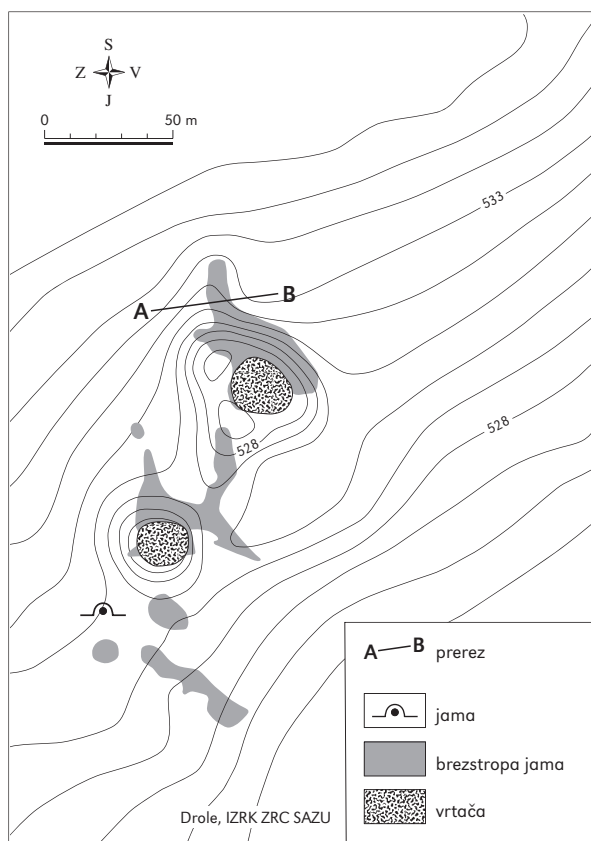
Knez in Slabe (1999b) sta podrobno opisala značilnosti brezstropih jam v bližini Kozine. Jame so nastale v turonijskih do thanetijskih plitvomorskih apnencih. Tektonski stik z eocenskim flišem leži blizu gradbišča. Največji jamski sistem, dolg 400 metrov, leži na desni strani gradbišča pri

Kozini. Sistem se je pojavil na površju kot bolj ali manj izrazita podolgovata depresija (slika 18.2), ki je oblikovala povezavo vrtačastih depresij. Brezstrope jame so morfološko bolj očitne, kadar ležijo blizu vrtač, kjer je erodiranje jamskega polnila v vrtače močnejše. Udorine so bile v glavnem majhne in plitke. Na dnu so bile v debelini nekaj metrov zapolnjene z rdečimi in rjavimi prstmi. Opazili smo sledi pritokov vode na stiku med prstjo in apnencem. Na dnu so bili najdeni vhodi v ozka in nedostopna brezna.

Rovi v jamah so bili tako votli kot tudi zapolnjeni, stropi so bili zelo tanki in ponekod odstranjeni. Jame so bile pretežno zapolnjene z drobnozrnato usedlino podzemeljske reke in ponekod s plastmi grušča iz flišne usedline. Na jugozahodu so se plasti sige in stalagmitov prepletale z rečnimi jamskimi polnili. Nekateri deli usedline so bili



Slika 18.1: Lega nahajališča.



Slika 18.2: Jamski sistem pri Kozini z jamami, brezstropimi jamami in vrtačami (Knez, Slabe 1999b).

prekriti z oglatimi bloki, skalami in gruščem, izvor katerih je porušen apnenčast jamski strop. Grušč naj bi bil posledica preperevanja in razpadanja v hladni klimi pleistocena (Knez, Slabe 1999b).

OPIS PROFILA

Skica vzorčenega profila je prikazana na slikah 18.3, 18.4 in 18.5. Celotni profil je sestavljen iz več kot 5 metrov naplavine. Dno je bilo odkrito. Polnilo je bilo sestavljeno iz dveh glavnih sekvenc. Spodnja sekvenca je bila sestavljena iz okrastih peščenih do glinastih usedlin v debelini okoli treh metrov. Usedline na spodnji sekvenci so bile vzorčene za paleomagnetno metodo. Spodnja sekvenca je bila prekrita s porušeno brečo in apnenčastimi bloki (velikosti od centimetra do metra) ter rjavo ilovico. V zgornjem delu poruše-

ne breče je bil matriks okraste barve z manjšimi kamnitimi fragmenti. Vzorci za paleomagnetno analizo iz zgornje sekvence zaradi udornega značaja z možnostjo premikov po odložitvi, povešanja in rotacije usedline niso bili vzeti.

Blizu stika med usedlino in apnencem je v spodnjem delu usedlin nastala ozka in nagnjena votlina. Jamske stene so bile prekrte s sigo, ki je cementirala okoliško usedlino. Skozi votlino se je odtekal manjši vodni tok in na površju je zato nastala plitka zajeda.

Spodnja sekvenca

Spodnja sekvenca je bila debela okoli 3 metre. Paleomagnetni vzorci so bili označeni na centimeter in merjeni od dna profila (2–295). Določene so bile naslednje litološke enote:

1. Pesek, rumen, črnovijolični pasovi, zelo drobnozrnat, meljast, slabo vidna laminacija z visokim delom glinaste primesi, oglati kamniti fragmenti.
2. Glina, melj, raznolik (okrast, svetlorjav s temnosivimi in vijoličnimi pasovi in laminacijo), rahlo drobnopješčen, več pri dnu, laminiran (dinamična laminacija), erozijska baza s sekundarno obarvanostjo z železovimi oksidi (2–28).
3. Glina, meljasta, okrasta do svetlorjava, rumena in belorumena, laminirana, z laminami drobnozrnatega peska in drobnega peščenega melja, tanke, z železovimi oksidi obarvane lamine, erozijska baza (29–93).
4. Glina, svetlorjava, vijoličnorjava, na vrhu s tankim pasom belega peska, erozijska baza (98–109).
5. Glina, meljasta, okrasta do svetlorjava, rumeno in belorumeno laminirana, z laminami drobnozrnatega peska in drobnega peščenega melja, v zgornjem delu so klasti rjavih glin, mestoma so kalcitizirani, erozijska baza je neskladno na plasti št. 4 (okoli 10 stopinj manjši naklon) (116–212).
6. Glina, meljasta, svetlorjava, erozijska baza (219–231).

7. Glina, meljasta, svetlorjava, rahlo drobnopješčenata v neizrazitih laminah, z večjimi kosi sljude, s klasti nepravilnih oblik, erozijska baza.
8. Breča s svetlookrastim glinastim matriksom, erozijska baza.
9. Glina, meljasta, rjava, z vsebnostjo mangana, erozijska baza (290).
10. Pesek, rumen, drobnozrnat z navzkrižno slojevitostjo, erozijska baza (295).

Pet vzorcev je bilo odvzetih iz profila za paleontološke analize (slika 18.5), in sicer na 30, od 30 do 45, od 70 do 80, od 130 do 150 in od 180 do 200 centimetrih nad dnom profila.

Vzorec, odvzet 70–80 centimetrov nad dnom profila, je vseboval dve zelo korodirani zrni peloda zeliščne vegetacije (družini *Dipsacaceae* in *Apiceae*). V vzorcu, odvzetem od 130 do 150 centimetrov nad dnom profila, je bila prisotna ena spora (praproti).

Drevesnega peloda nismo našli. Prisotni pelod je pripadal zeliščni vegetaciji, značilni za suho, stepi podobno območje.

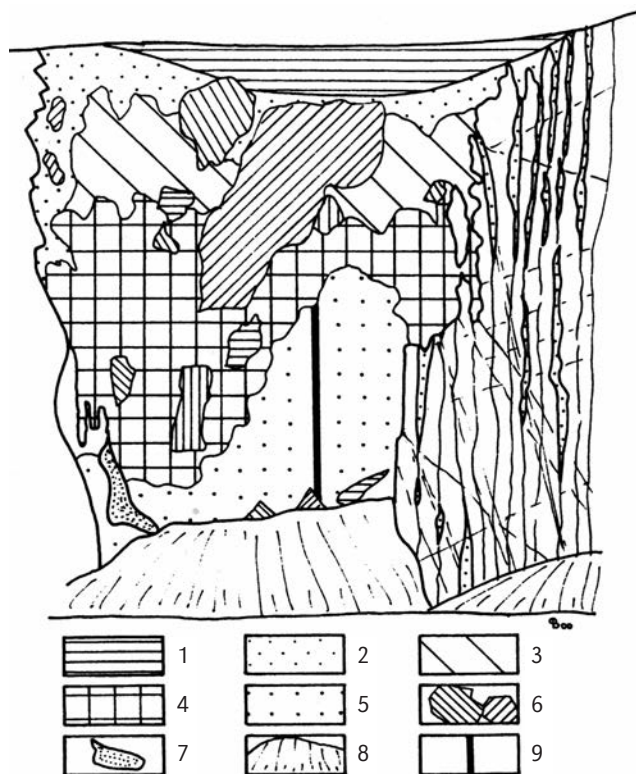
PALEOMAGNETNE ANALIZE

Skupaj je bilo za paleomagnetne lastnosti pregledanih 38 orientiranih primerkov jamskih usedlin.

Laboratorijski postopki

Laboratorijski postopki so omogočili določitev sestave pripadajoče magnetne remanence v različnih temperaturnih intervalih med postopno termalno demagnetizacijo (TD) in demagnetizacijo z izmeničnim magnetnim poljem (IP) ter določitev modulov in smeri remanentne magnetizacije.

Orientirani vzorci so bili odvzeti na terenu iz posameznih plasti. Laboratorijski vzorci v obliki $20 \times 20 \times 20$ milimetrov velikih kock so bili pripravljene na terenu ali iz vzorcev. Izmerjeni so bili na vrtečem magnetometru (JR-4 in JR-5; Jelínek 1966). Laboratorijski primerki kamnine so bili podvrženi postopni termalni demagnetizaciji na MAVACS (Magnetic Vacuum Control System), ki ustvarja močan magnetni vakuum (Příhoda idr.



Slika 18. 3: Skica profila in cestni usek pri Kozini. 1. grušč zaradi miniranja; 2. usedline, podobne rdečim tlom; 3. porušen material z matriksom, ki izhaja iz usedlin, podobnih spodnji sekvenci profila; 4. porušen material z rjavim matriksom; 5. spodnja sekvenca; 6. bloki; 7. jama; 8. kup; 9. vzorčni profil (glej sliko 18.5).

1989). Vsi primerki so bili demagnetizirani s postopki izmeničnega polja (Schonstedt GSD-1) do polja 1000 Oe (14 stopenj).

Remanentna magnetizacija primerkov v naravnem stanju (NRM) je označena z znakom J_n , ustrežni remanentni moment pa z znakom M . Grafi normaliziranih vrednosti $M/M_0 = F(t)$ so bili izdelani za vsakega od analiziranih primerkov. Smeri J_n in remanentne magnetizacije termalno ali IP demagnetiziranih primerkov med postopkom postopne demagnetizacije so prikazane v stereografski projekciji.

Fazne ali mineraloške spremembe magnetno aktivnih (povečini železovih oksidov) mineralov se med laboratorijskimi termalnimi testi pojavljajo pogosto, posebno pri majhnih temperaturnih intervalih. Te spremembe lahko izpeljemo iz grafov normaliziranih vrednosti $k_t/k_n = f(t)$; k_n označuje obseg magnetne susceptibilnosti primerkov v naravnem stanju, k_t pa susceptibilnost primer-

kov, demagnetiziranih pri temperaturi $t^\circ\text{C}$. Vrednosti k_t in k_n so bile izmerjene na »kappa-bridge KLY-2« (Jelínek 1973).

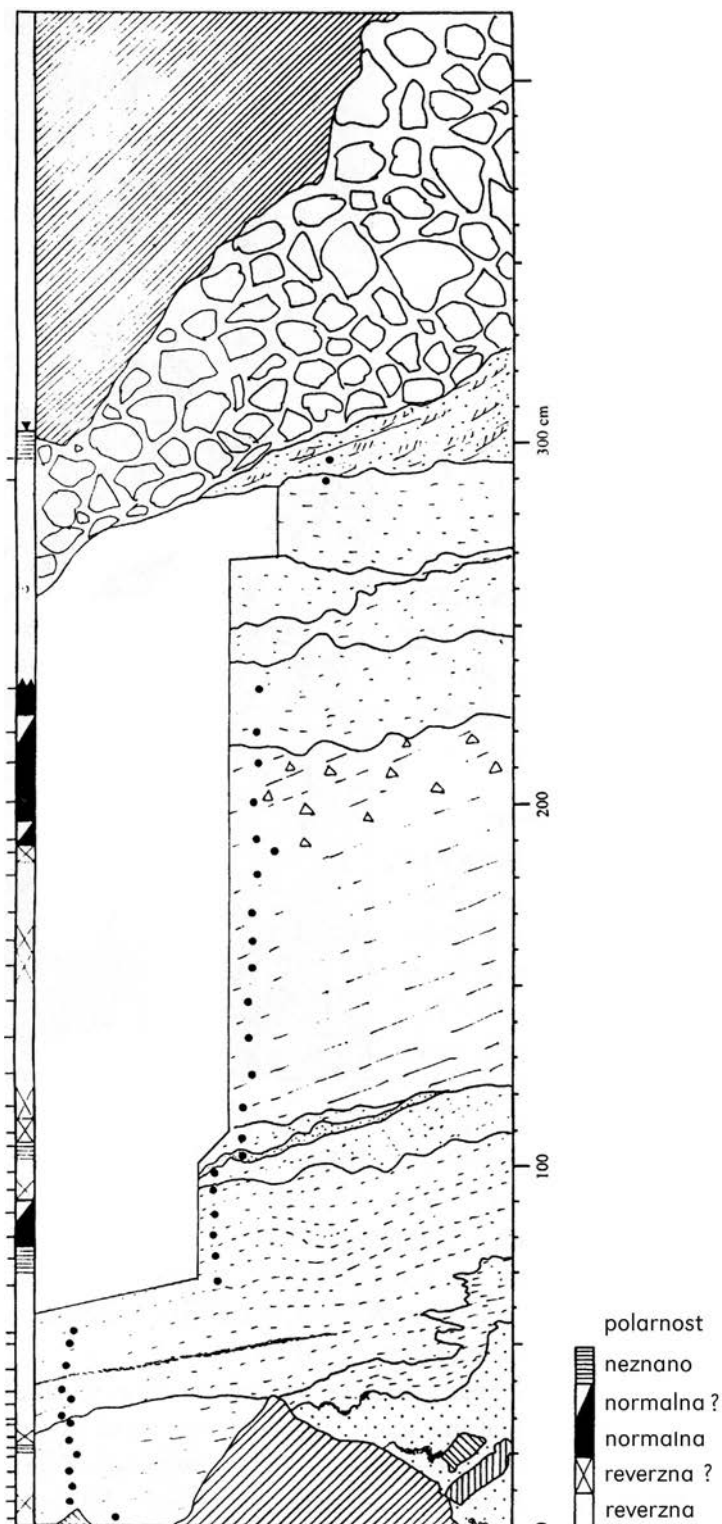
Separacija sestavin remanentne magnetizacije je bila izvedena po večkomponentni Kirschvinkovi analizi (Kirschvink 1980). Za izračun srednjih smeri komponent remanence, izpeljanih iz večkomponentne analize, je bila uporabljena Fischerjeva statistika (1953).

Paleomagnetni rezultati

Vsi odvzeti vzorci (skupaj 38) so bili podvrženi demagnetizaciji IP, en vzorec je bil demagnetiziran termalno. Vrednosti modulov J_n kamnin v naravnem stanju kažejo veliko razpršenost. Srednje vrednosti modulov remanentne magnetizacije J_n in magnetne susceptibilnosti k_n v naravnem stanju iz 38 vzorcev so $J_n = 7,005 \pm 8,391$ [nT], $k_n = 267 \pm 216 \times 10^{-6}$ [SI]. Kamnine kažejo nizko ali srednjo stopnjo magnetizacije.



Slika: 18.4: Celoten profil v cestnem useku blizu Kozine.



Slika 18.5: Litološka skica profila (glej sliko 18.3). Črne pike so točke vzorčenja. Magnetna polariteta: 1. neznana?, 2. normalna?, 3. normalna, 4. inverzna?, 5. inverzna.

Smeri remanentne magnetizacije, ugotovljene z zgoraj opisanimi postopki, so bile testirane z večkomponentno analizo (Kirschvink 1980). V splošnem so vzorci pokazali tri komponente remanence: A, B in C.

Komponente A so večinoma viskozne ali kemoremanentne (preperevanje) izvora. Odstranijo se lahko z izmeničnim poljem z močjo 10 do 30 Oe. Zaznana remanentna magnetizacija v naravnem stanju se giblje med 95 in 36,470 pT, vrednosti obsega magnetne susceptibilnosti so bile od 55 do 998×10^{-6} SI. Pri nekaterih vzorcih je bila izrazita viskozna komponenta (do 90 %), zato prvotne komponente magnetizacije in polaritete ni mogoče navesti.

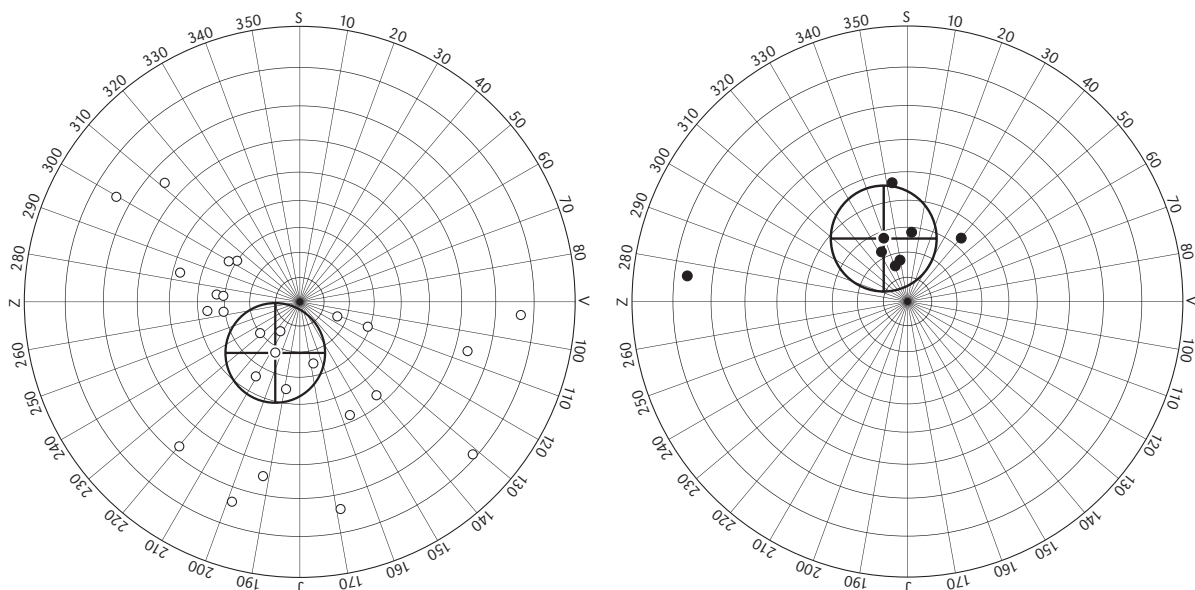
Normalne in inverzne smeri komponente C v vzorcih (slika 18.6) oblikujejo dve ločeni skupini vzorcev s Fisherjevo distribucijo. Srednja smer remanentne magnetizacije profila pri Kozini je navedena v preglednici (slika 18.7).

Zgornji in spodnji del profila kaže inverzno magnetocono. V srednjem delu profila sta dve normalni coni.

Magnetostratigrafski rezultati

Paleomagnetne in magnetostratigrafske raziskave so dale podatke o osnovnih magnetnih značilnostih in za določitev paleomagnetnih smeri:

- magnetostratigrafske raziskave profila pri Kozini kažejo na normalne in inverzne magnetocone polaritete;
- magnetostratigrafski rezultati vzorcev s profila pri Kozini in Divači kažejo dobro korelacijo med obema profiloma: dve normalni podconi v inverzni magnetoconi sta bili ugo-



Slika 18.6: Vzorci z normalno paleomagnetno polarizacijo (levo) in vzorci z reverzno paleomagnetno polarizacijo (desno). Srednje smeri so izračunane skladno s Fisher-jevo metodo (1953).

tovljeni za oba profila in dobra korelacija vrednosti modulov remanentne magnetizacije (J_n).

RAZPRAVA

Litologija profila jasno izraža dvofazno odlaganje v preteklosti. Spodnja sekvenca je bila erodirana po tem, ko se je odložila. Erozijski kanal je bil bolj razvit na levi strani rova. Prazen prostor v jami se je kasneje, med rušenjem, zapolnil z gruščem v velikosti od skal do blokov, pomešanih z rjavo kraško prstjo. Okraste interkalacije v zgornjem delu zgornje sekvence lahko nakazujejo prisotnost erodirane usedline, primerljive s spodnjo

sekvenco. Tanjšanje jamskih stropov z erozijo in kraško denudacijo je sprožilo rušenje.

Litološka sestava spodnje sekvence je primerljiva s profilom pri Divači iz fosilne jame blizu Divače (Bosák idr. 1998a, 1998b, 1998c), posebno sekvenci številki I in II. Sloj številka 10 profila pri Kozini lahko korelira z bazo sekvence številka III profila pri Divači. Zdi se, da usedlina izvira iz podobnega vira kamnine, najverjetneje iz preperlega eocenskega fliša.

Pomembne erozijske meje glavnih litoloških enot znotraj spodnje sekvence ležijo med vzorci številki 28 in 29, med 93 in 98, med 109 in 116, med 212 in 219, med 290 in 295. V nasprotju z

Kraj	Polarnost	Srednje smeri remanentnega magnetizma		α_{95}	k	N
		D[°]	I[°]			
KOZINA	N	338,2	62,3	20,7	8,1	8
	R	206,0	-67,6	20,1	3,1	25

Slika 18.7: Srednje paleomagnetne smeri v obravnavanem območju.

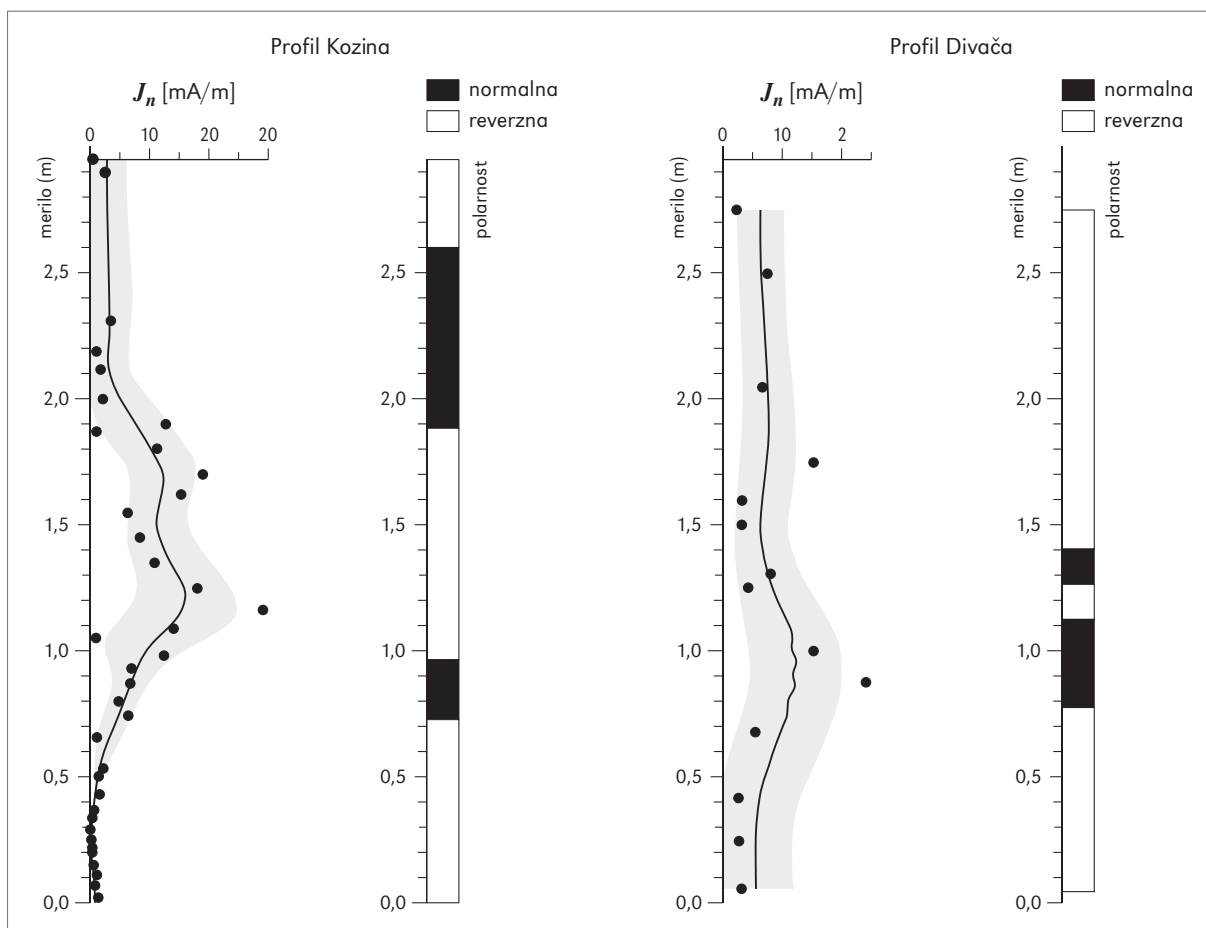
drugimi proučevanimi profili (Bosák idr. 2000) se erozijske meje ne skladajo z mejami con normalne in inverzne polaritete, temveč ležijo znotraj teh. To dejstvo lahko pomeni, da premori v odlaganju niso trajali dolgo.

Magnetostratigrafska slika, pridobljena iz profila pri Kozini, je v celoti primerljiva z magnetoconami, opaženimi v profilu pri Divači (Bosák idr. 1998a, 1998b, 1998c, 2000), tako v pojavnosti normalne in inverzne polaritete magnetocone (slika 18.8) kot v značaju modulov remanentne magnetizacije (J_n ; slika 18.9). Prevladujoči del obeh profilov so inverzne magnetocone. Prisotni sta dve sorazmerno ozki coni normalne polaritete. Žal je med vzorcema iz profila pri Kozini, številki 231 in 290, vrzel zaradi za vzorčenje neprimerne kamninske petrografije. Nekaj razlik med razporeditvijo magnetocon normalne polaritete

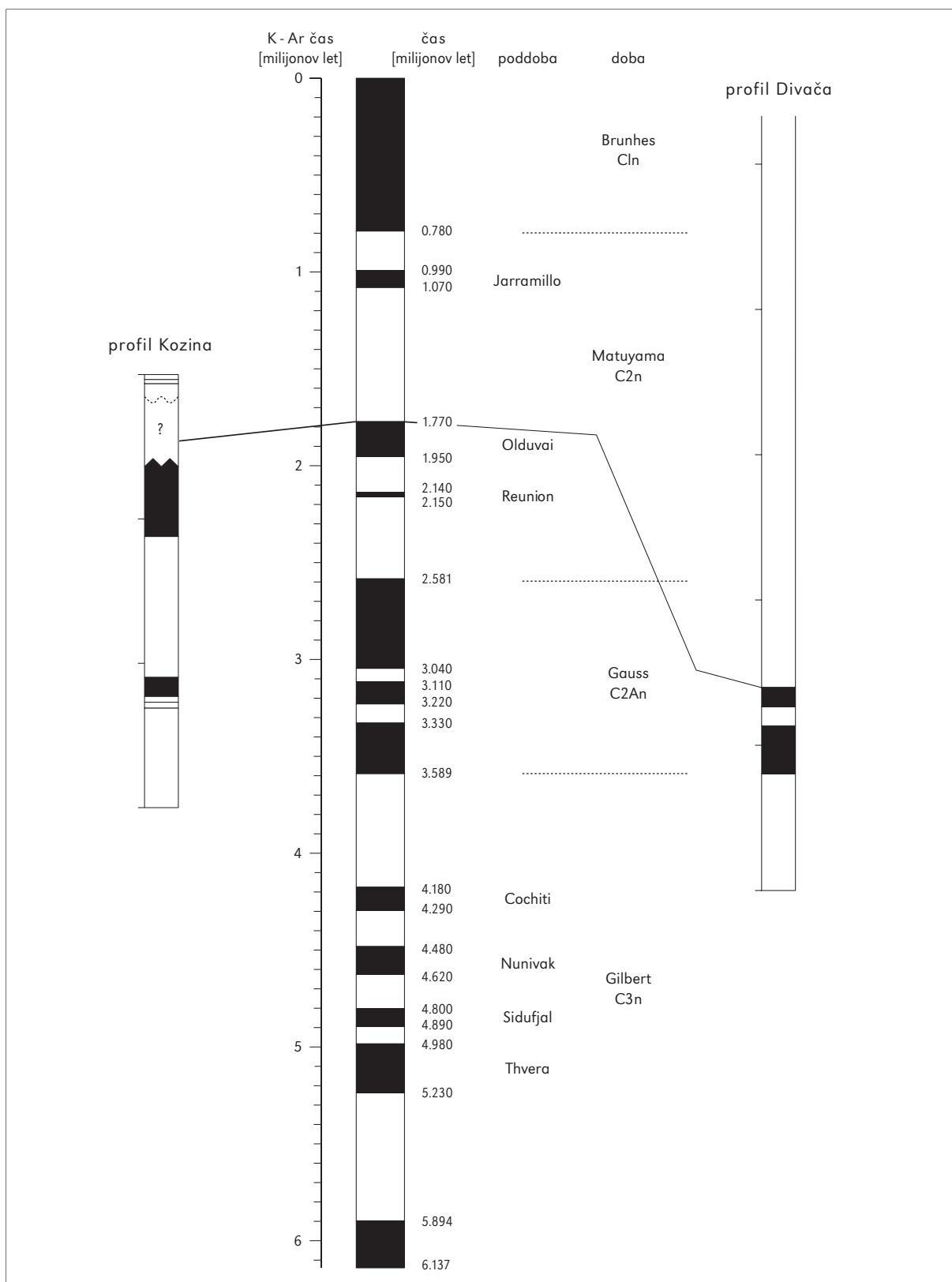
v obeh profilih lahko izhaja iz različnih hitrosti odlaganja med fosilizacijo obeh kanalov.

Profil pri Kozini je starejši od meje bruhnes/matuyama (0,78 milijonov let). Iz razporeditve posameznih magnetocon bilo mogoče trditi, da je usedlina starejša od konca dogodka olduvai (1,77 milijonov let), saj se magnetostratigrafski profil pri Kozini zaključí z magnetocono inverzne polaritete in vsebuje dve coni normalne polaritete (slika 18.7). Zelo primerljiva značaja vrednosti modulov remanentne magnetizacije (J_n ; slika 18.8) močno podpirata starostno korelacijo profilov iz fosilnih jam pri Divači in Kozini.

Menimo, da je, tako kot v Divaškem profilu, jama rezultat messinske speleogeneze (posebno če lahko magnetocone normalne polaritete koreliramo s tistimi iz inverzne gilbertove dobe; slika 18.9).



Slika 18.8: Primerjava osnovnih in magnetostratigrafskih parametrov pri Divači (Bosák idr. 1998c) in profila pri Kozini.



Slika 18.9: Korelacija pridobljenih magnetostratigrafskih rezultatov s standardnimi paleomagnetnimi lestvicami (Cande, Kent 1995).

Takrat je raven Sredozemskega morja naglo upadla (Hsü 1973; Hsü idr. 1973, 1977), kar je bilo povezano z globokim vrezovanjem dolin na območjih okoli Sredozemskega bazena (doline rek Ebra, Durancea, Vara, Pada ali Orontesa; dolina Rone v Južni Franciji z izredno debelino pliocensko-kvartarnega polnila – Clauzon 1973, 1980; Clauzon idr. 1997; dolina Nila v Egiptu – Khumakov 1967, 1971; doline na karbonatni planoti Cirenajki v Libiji ali v karbonatno flišni regiji Istre na Hrvaškem). Globoki kras z debelino med enim in tremi kilometri se je razvil v celotnem sredozemskem območju (Perna 1996) kot posledica podzemnega odtekanja iz zaledja v Sredozemski bazen (Głazek 1993). Perna (1996, 12) je označil posledične kraške oblike kot messinski kraški cikel. Zdaj potopljeni deli teh sistemov se pogosto kažejo kot veliki podmorski izviri (vrulja na jadranski obali, na Cirenajki, v Apuliji, južni Franciji itd.) ali drugi pojavi (Sardinija). Zelo verjetno je, da sta fosilni jami pri Kozini in Divači rezultat te faze.

Fosilizacija jamskih sistemov je bila povezana s hitrim dvigom ravni baze po tem, ko se je pred okoli 5,2 do 5,3 milijonov let odprl Gibraltarski preliv in se je Sredozemski bazen spet zapolnil (Hsü 1973; Hsü idr. 1973). Nadaljnja fosilizacija je bila posledica sprememb na regionalni ravni baze in hidroloških razmer, ki so nastale s postopnim razvojem površja in neotektonike tega dela Krasa ter zaradi sprememb v višini gladine morja v Sredozemskem bazenu.

SKLEP

Gradnja avtoceste med Divačo in Klanec je razkrila številne fosilne in brezstropne jame. Ena je bila najdena v bližini Kozine. Jamski rov je bil brez stropa, ostanki porušenega stropa so bili samo v zgornjem delu. Na terenu smo opazili manjšo zajedo. Profil usedline v jami je bil visok okoli 5 metrov. Sestavljen je bil pretežno iz peščene use-

dline svetlorjave do okraسته barve z glinastimi in meljastimi interkalacijami. Usedlina je vsebovala dinamične strukture in teksture (laminacijo, navzkrižno laminacijo itd.). Erozijske površine so delile profil v posamezne sekvence.

Od skupno 38 vzorcev, odvzetih iz profila, je bil samo eden cementiran. Vzorci so bili demagnetizirani z izmeničnim poljem (IP) pri 10 do 1000 Oe. Cementirani vzorec je bil demagnetiziran s postopnim termalnim procesom od 80 do 560 °C v aparatu MAVACS. Posamezne komponente remanentne magnetizacije po demagnetizaciji z izmeničnim ali termalnim poljem so bile ugotovljene z večkomponentno analizo po Kirschvinkovi metodi. Zaznana remanentna magnetizacija v naravnem stanju se je spreminjala med 95 in 36,470 pT, vrednosti obsega magnetne susceptibilnosti so bile med 55 in 998×10^{-6} SI. Kamnine so pokazale nizko do srednjo magnetizacijo. Normalna in inverzna polariteta sta bili ugotovljeni po demagnetizaciji. Pri nekaterih vzorcih je bila izrazita viskozna komponenta (do 90 %). Primarne komponente magnetizacije in posledično polaritete ni bilo mogoče navesti.

Profil vsebuje magne-tocone inverzne in normalne polaritete. Značilnost razporeditve magne-tocon je podobna lokaciji profila pri Divači (fosilna jama v cestnem useku pri Divači). Profil pri Kozini je starejši od meje bruhnes/matuyama (0,78 milijonov let). Iz razporeditve posameznih magne-tocon je mogoče trditi, da je usedlina starejša od konca obdobja olduvai (1,77 milijonov let), saj se magne-tostratigrafski profil pri Kozini zaključuje z magne-tocono inverzne polaritete in vsebuje dve coni normalne polaritete.

Profil korelira s profilom pri Divači tako paleomagnetno kot tudi litološko. Menimo, da je, tako kot v profilu pri Divači, jama rezultat messinske speleogeneze, njena fosilizacija pa je bila povezana s hitrim dvigom ravni baze po tem, ko se je Sredozemski bazen spet zapolnil. Če so naši sklepi pravilni, se je jama začela polniti z naplavinami pred 5,2 milijona leti.

STAROST JAMSKIH SEDIMENTOV BREZSTROPIH JAM, ODPRTIH PRI GRADNJI AVTOCESTE PRI KOZINI (JUGOZHODNA SLOVENIJA), DOLOČENA S PALEOMAGNETNIMI ANALIZAMI

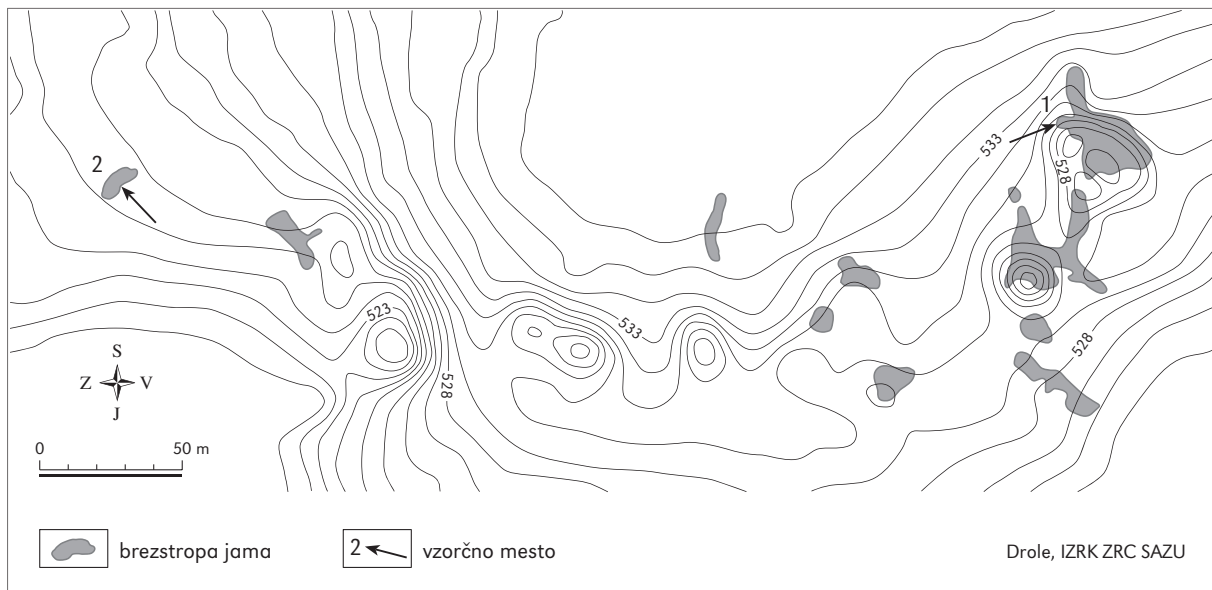
STANKA ŠEBELA, IRA D. SASOWSKY

UVOD

Paleomagnetne raziskave jamskih sedimentov iz brezstropih jam, ki so se odprle pri gradnji avtoceste Divača–Klanec v letu 1999, so bile opravljene z dvema ekipama raziskovalcev (Bosák idr. 2000; Šebela, Sasowsky 2000). Raziskana sta bila dva sedimentacijska profila v eni brezstropi jami (vzorčno mesto 1, slika 19.1) in en profil v okrog 500 metrov oddaljeni stari jami (vzorčno mesto 2; slika 19.1). Vzorčna mesta se nahajajo okrog

400 do 900 metrov severovzhodno od Kozine. Področje se razteza na nadmorski višini 520–540 metrov z značilnim kraškim površjem, vrtačami in udornicami.

Od leta 1994 so v Sloveniji potekale številne raziskave o brezstropih jamah (Knez, Šebela 1994; Šebela, Mihevc 1995; Mihevc 1996; Mihevc, Zupan 1996; Mihevc idr. 1998 in navedeni v prejšnjih poglavjih). Brezstropa jama je definirana kot daljši sistem horizontalnih ali rahlo nagnjenih jamskih rovov, ki je bil izpostavljen denudaciji in



Slika 19.1: Geomorfološki položaj vzorčnih mest pri Kozini.

je tako danes viden na kraškem površju. Rovi, ki smo jih raziskovali, so bili večinoma zapolnjeni s sigo ter alohtonimi fluvialnimi sedimenti, ki so bili odloženi v jamsko okolje (Mihevc idr. 1998). Z zemeljskimi deli pri gradnji avtocest čez Kras v jugozahodni Sloveniji smo odkrili številne brezstrome jamske sisteme. $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ analize sige, odložene čez jamske sedimente v brezstropih jamah, je opravil Mihevc (1996). Rezultat je pokazal starost starejšo od 350 ka, kar je meja te metode. Prve paleomagnetne analize sedimentov iz brezstropih jam v Sloveniji je opravil Bosák s sodelavci (Bosák idr. 1998c). Magnetostratigrafski rezultati s profila Divača so pokazali dve ozki normalni magnetni obdobji z dolgim reverznim magnetnim obdobjem. To se verjetno ujema z obdobji olduvai in reunion (1,67 do 1,87 milijona let) iz reverznega obdobja matuyama ali pa gre za obdobja normalnega magnetizma (3,8 do 5,0 milijona let) znotraj gilbertovega obdobja. Geo-



Slika 19.2: Pogled na brezstropo jamo, kjer smo vzorčili vzorce (SLO033-SLO036) (foto: Franjo Drole).



Slika 19.3: Bližnji pogled profil 1.

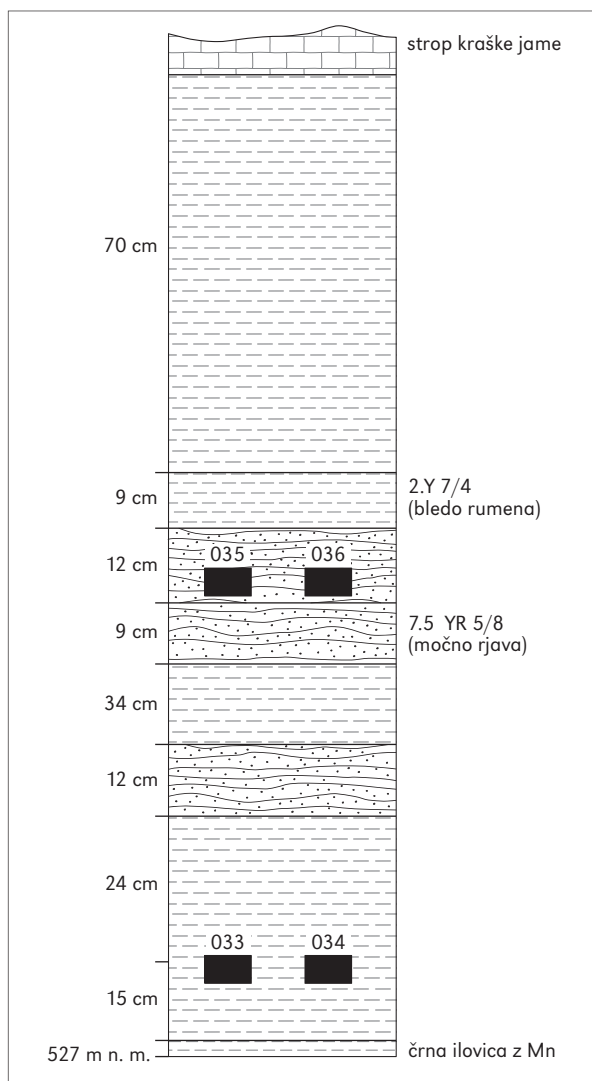
morfološki podatki kažejo, da lahko brezstrome jame izvirajo iz messinskega obdobja, za katerega je značilen padec gladine morja in razvoj globokega krasa v Mediteranskem bazenu (Bosák idr. 1998c).

Brezstrome jame so na površju vidne zaradi površinskih procesov denudacije in raztapljanja. Hitrost zniževanja površja, merjena z mikrometrom, je 0,02 mm/leto (20 metrov v milijonu let; Cucchi idr. 1994). Glede na to lahko zaključimo, da so brezstrome jame ostanki zelo starih kraških hidroloških dogodkov.

Za vzorčevanje jamskih sedimentov na terenu smo uporabili metode, ki so jih razvili Sasowsky s sodelavci (1995) in Schmidt (1982). Plastične kocke s prostornino 8 cm³ smo potisnili v očiščen sedimentacijski profil. Izmerili smo orientacijo, smer in naklon plastične kocke s sedimentom. Dne 31. 3. 1999 smo na terenu vzeli 10 vzorcev skupaj s ponovitvami (SLO033-SLO042).

GEOLOŠKI IN GEOMORFOLOŠKI PODATKI

Obe vzorčni mesti (1 in 2) se nahajata v bližini Kozine (slika 19.1). Ozemlje v okolici Kozine v geološkem smislu kroji dinarsko (SZ–JV) usmerjena antiklinala, ki poteka južno od Kozine vse do severnih pobočij Slavnika (1028 m). Kraške jame, iz katerih smo vzorčevali sedimente, so razvite v zgornjekrednih ($K_2^{2,3}$) apnencih blizu erozijskega kontakta z alveolinsko-numulitnimi apnenci eo-censke starosti. Raziskani teren se nahaja le nekaj 10 metrov severneje od Čičarijske tektonske narivne strukture.



Slika 19.4: Avtocesta pri Kozini. Stolpec z vzorci za pelomagnetizem (SLO033-SLO036).

Nadmorske višine obravnavanega terena so 520 do 540 metrov. Gre za značilno kraško površje z vrtačami in udornicami.

OPIS VZORČNIH MEST

Pri delih ob gradnji avtoceste se je pokazal splet različnih kraških oblik (slika 19.1), ki je rezultat denudacije površja in razgaljanja velikih in različnih jamskih sistemov. Na površju je bil jamski splet viden kot bolj ali manj izrazita podolgovata depresija, ki je povezovala vrtačam podobne depresije. V nekaterih primerih stare fosilne jame niso imele več stropa in so jamski sedimenti gledali na površje, drugje smo lahko še našli ostanke jamskega stropa, ponekod razpadlega v grušč ali apnenčaste bloke.



Slika 19.5: Pogled na brezstropo jamo, kjer smo vzorčili vzorce (SLO037-SLO042). (foto: Franjo Drole).

OPIS PROFILOV

Vzorčno mesto 1

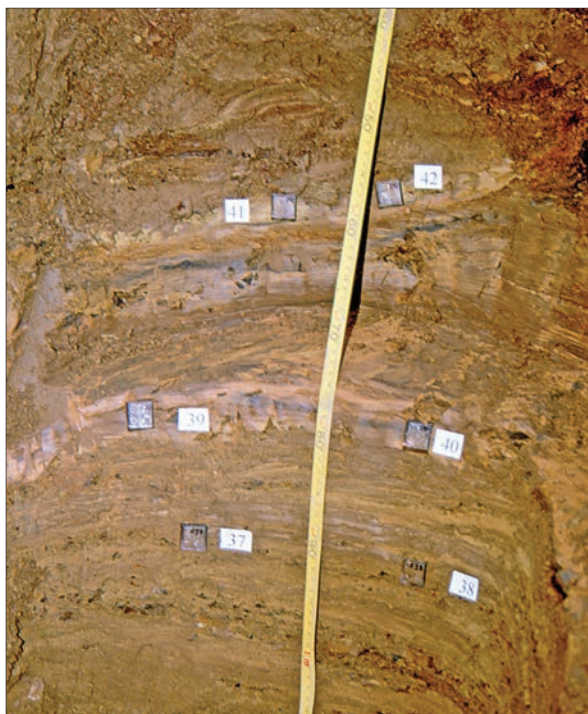
Vzorčno mesto 1 (sliki 19.2 in 19.3) se nahaja okrog 5 metrov jugozahodno od vzorčnega mesta, ki ga je analiziral Bosák s sodelavci (Bosák idr. 2000). Debelina profila je 164 cm (slika 19.4). Spodnji del vzorčevanega profila je bil v nadmorski višini 527 metrov. Na vrhu jamskih sedimentov, ki so predstavljali predvsem laminirane ilovice, je bil še vedno ohranjen jamski strop debeline pol metra. Iz vzorčnega mesta 1 smo vzeli 4 vzorce za paleomagnetne analize (SLO033-SLO036). Barva vzorčevanih sedimentov je bila določena s primerjavo po Munsell Soil Chart:

SLO033-SLO034 (7.5YR 6/8 – rdečerumena)

SLO035-SLO036 (7.5YR 5/8 – močno rjava).

Vzorčno mesto 2

Vzorčno mesto 2 se nahaja okrog 500 metrov zahodno od vzorčnega mesta 1 (slika 19.1). Debelina jamskih sedimentov je bila 7,84 metrov (slika 19.5). Celotni profil je bil verjetno debelejši,



Slika 19.6: Bližnji pogled na vzorce (SLO037-SLO042).

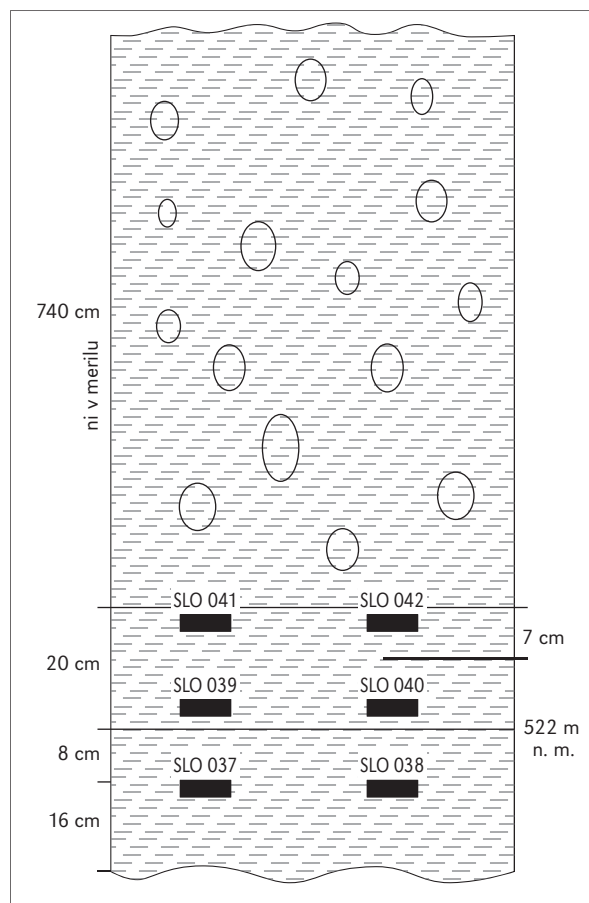
ši, vendar ni bilo mogoče izkopati sedimentov do izvirnega jamskega dna. Zgornji del profila je bil debeline 7,4 metre in je vseboval prepelele flišne prodnike povprečne velikosti 5 centimetrov (sliki 19.6 in 19.7). Pod to peščeno plastjo je bila 20 centimetrov debela plast ilovice. Pod ilovico pa smo našli plastovito peščeno glino. Barva vzorčevanih sedimentov je bila določena s primerjavo po Munsell Soil Chart:

SLO037-SLO038 (7.5YR 5/8 – močno rjava),

SLO039-SLO040 (7.5YR 6/8 – rdečerumena),

SLO041-SLO042 (10YR 5/6 – rumenorjava).

Za paleomagnetne analize smo vzeli 6 vzorcev (SLO037-SLO042) na nadmorski višini okrog 522 metrov. Na vrhu jamskih sedimentov smo ponekod našli meter do meter in pol debelo plast klimatskega grušča. Originalni jamski strop pa v tem profilu ni bil ohranjen.



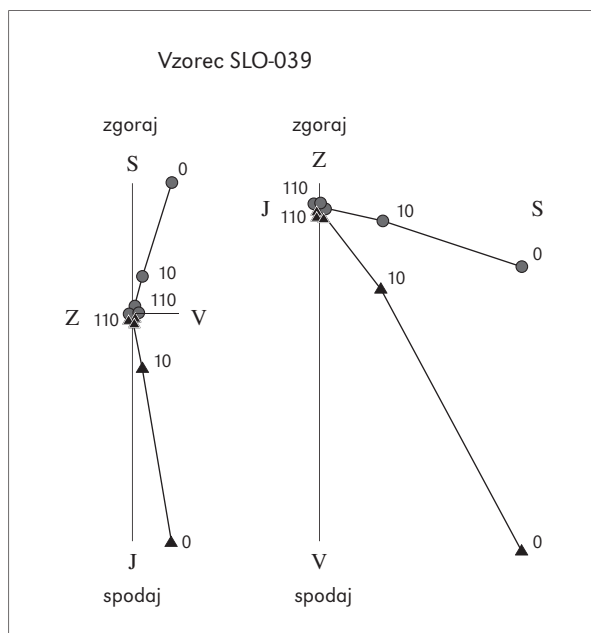
Slika 19.7: Avtocesta pri Kozini. Stolpec z vzorci za pelomagnetizem (SLO037-SLO042).



Slika 19.8: *Paleomagnetni laboratorij na pittsburški univerzi, Pensilvanija, ZDA.*

PALEOMAGNETNE ANALIZE

Deset vzorcev s ponovitvami, ki smo jih pobrali na terenu, smo ohladili in zaščitili pred močnim magnetnim poljem. Magnetne značilnosti so bile določene v paleomagnetnem laboratoriju na pit-



Slika 19.9: *Diagram vektorskih končnih točk (Zijdevelodov prikaz) značilnega vzorca (SLO039) iz Kozine. Nekateri koraki izmeničnih polj demagnetizacije niso označeni zaradi boljše vidljivosti. – horizontalna komponenta • – vertikalna komponenta ▲ – izmenična polja demagnetizacije (mT) – geografske koordinate – označen interval = $10^{-5} \text{ kA m}^{-1}$.*

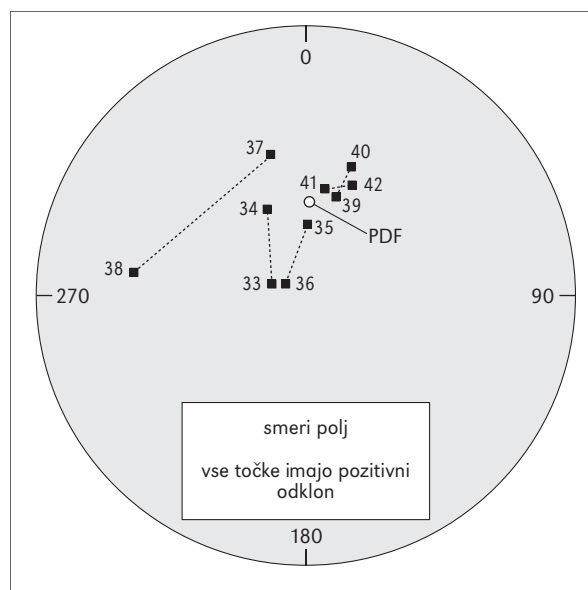
tsburški univerzi (ZDA) (slika 19.8). Moč in smer magnetizma sta bila določena s superprevodnim magnetometrom za kamnine, ki se nahajajo v sobi, zaščiteni proti današnjemu magnetizmu. Najprej smo izmerili naravni remanentni magnetizem (NRM), nato pa smo po korakih nadaljevali z demagnetizacijo izmeničnega polja in dodatnimi meritvami remanentnega magnetizma.

PALEOMAGNETNI REZULTATI

Vzorčni mesti 1 in 2

Slika 19.9 prikazuje značilno demagnetizacijsko pot vzorca SLO039. Analizirani vzorci imajo močan magnetni signal, z NRM-vrednostmi blizu 10^{-5} kA^{-1} . Večina magnetnega signala je bila odstranjena z aplikacijo 20 mT izmeničnega polja.

Analiza glavnih komponent (Kirschvink 1980) je bila uporabljena za določitev poteka vektorja čez točke podatkov demagnetizacije za vsak vzorec. Tako so bile dobljene smeri polja, ki so bile grafično prikazane (slika 19.10). Vzorci ponovitev so v splošnem prikazali dobro korela-



Slika 19.10: *Lambertov stereografski prikaz enakih področij smeri magnetnega polja za vse vzorce. Številke vzorcev (oznaka SLO) ustrezajo kvadratkom. Današnje magnetno polje je označeno s sivim krogom. Svetlejša polja nakazujejo mogoče združbe smeri polj.*

cijo (na sliki je to je prikazano z tanko črtkano črto). Vzorci iz prve lokacije se združujejo nekoliko zahodno od današnjega magnetnega polja, z nekoliko večjim odklonom. Ta strmi odklon je po naših izkušnjah nekoliko nenavaden. Vzorca SLO037 in SLO038 nista pokazala dobre primerjave. Vrednosti vzorcev SLO039-SLO042 so se združile blizu današnjega magnetnega polja.

Magnetna občutljivost je bila merjena v dveh smereh z uporabo naprave Sapphire Instruments. Vrednosti so bile od 1×10^{-5} do 7.5×10^{-5} (cgs enot) s povprečjem 5×10^{-5} . To so relativno visoke vrednosti za jamske sedimente. Anizotropije občutljivosti nismo zasledili.

Jamski sedimenti iz vzorčnih mest 1 in 2 so pokazali le normalno magnetno polarnost.

MAGNETOSTRATIGRAFSKI REZULTATI

Vzorčno mesto 1

Vzorčno mesto 1 se stratigrafsko nahaja nad mestom, ki ga je analiziral Bosák s sodelavci (Bosák idr. 2000), kjer se sedimentacijski profil konča z normalno polarizacijo. Čeprav so bili analizirani v dveh različnih laboratorijih, so dobljeni rezultati primerljivi, saj so sedimenti iz našega profila 1 stratigrafsko višji in kažejo normalno polarizacijo.

Vzorčno mesto 2

To mesto predstavlja staro, zasuto kraško jamo, ki se nahaja približno 500 metrov zahodno od profila 1. Tudi tu paleomagnetne analize kažejo normalno polarizacijo. Nimamo pa dobrih dokazov, da bi z gotovostjo lahko trdili, da gre v primeru profilov 1 in 2 za isti jamski sistem.

ZAKLJUČKI

Paleomagnetne analize jamskih sedimentov iz vzorčnih mest 1 in 2 so pokazale, da ima vseh 10 vzorcev normalno polarnost. Glede na minera-

logijo vzorcev je izvor vseh analiziranih jamskih sedimentov eocenski fliš.

Jamski sedimenti iz profila 1 (SLO033-SLO036) so zelo verjetno mlajši od 0.78 milijonov let. To se ujema s študijami Bosáka in sodelavcev (2000), ki so v spodnjem delu svojega profila, ki je stratigrafsko nižji od našega in le 5 metrov oddaljen, določili starost starejšo kot 0.78 milijona let.

Vzorčno mesto 2, kjer smo vzorčevali spodnji del profila, predstavlja debelejši profil kot mesto 1. Rezultati so pokazali normalno polarnost, vendar je težko za gotovo trditi, da so analizirani sedimenti mlajši kot 0.78 milijona let. Če upoštevamo dejstvo, da so sedimenti iz brezstropih jam lahko starejši od 0.78 milijona let in da so bili vzorci vzeti iz spodnjega dela 7,5 metra debelega profila, obstaja možnost, da bi lahko šlo za eno od starejših obdobj normalne polarnosti. Sedimenti bi lahko bili celo iz normalnega obdobja gauss (2.48–3.4 milijonov let) oziroma – glede na ugotovitve Bosáka in sodelavcev (1998c) bi jih lahko umestili celo v obdobje gilbert (3.8–5.0 milijonov let).

ZAHVALA

Radi bi se zahvalili dr. Williamu Harbertu (Oddelek za znanosti o Zemlji in planetih, Univerza v Pittsburghu, Pensilvaniji, ZDA), ki je odgovoren za Paleomagnetni laboratorij, za pomoč med analizami, ki smo jih opravljali od 26. do 27. aprila 1999.

Stanka Šebela se zahvaljuje dr. Iri D. Sasowskemu za povabilo na Univerzo Akron, Ohio, ZDA (14. 4.–14. 5. 1999). Finančno pomoč za delo v ZDA je dr. Stanki Šebeli nudil Raziskovalni sklad ZRC SAZU. Pri terenskem delu sta nam pomagala Franjo Drole in dr. Martin Knez (IZRK ZRC SAZU).

Denar za delo je zagotovila Univerza v Pittsburghu, njen Paleomagnetni laboratorij v okviru projekta Nacionalne znanstvene fundacije.

SEDIMENTI V JAMI S-647, ODKRITI PRI GRADNJI PREDORA KASTELEC

NADJA ZUPAN HAJNA

Dotedaj neznana jama se je odprla pri gradnji leve cevi predora. Jama je bila dolga več kot 550 metrov in globoka 50 metrov. Vzhodni del jame se enakomerno spušča in doseže najnižjo dostopno točko na 315 metrov nadmorske višine, to je 47 metrov pod dnom predora (Zupan Hajna, Drole 2003). Zahodni del se rahlo vzpenja tako, da je končna točka na 356 metrih nadmorske višine, kar je 6 metrov pod dnom predora. Da bi prišlo na tem odseku predora do morebitnega ugreza, se ni bati, saj večina jame poteka med obema cevema predora. Kjer je jama pod predorom, je strop nad njo izvajalec dodatno utrdil z železobetonsko ploščo. Na stacionaži 590 metrov se je v levi cevi predora odprl vhod še v 85 metrov dolg poševni rov. Končna točka rova je 25 metrov nad predorom. Rov je vzporeden s predorom in poteka v smeri proti zahodu. Vhod v ta rov je zaprt s steno predora. Siga je, kljub bližini miniranja, neznatno poškodovana.

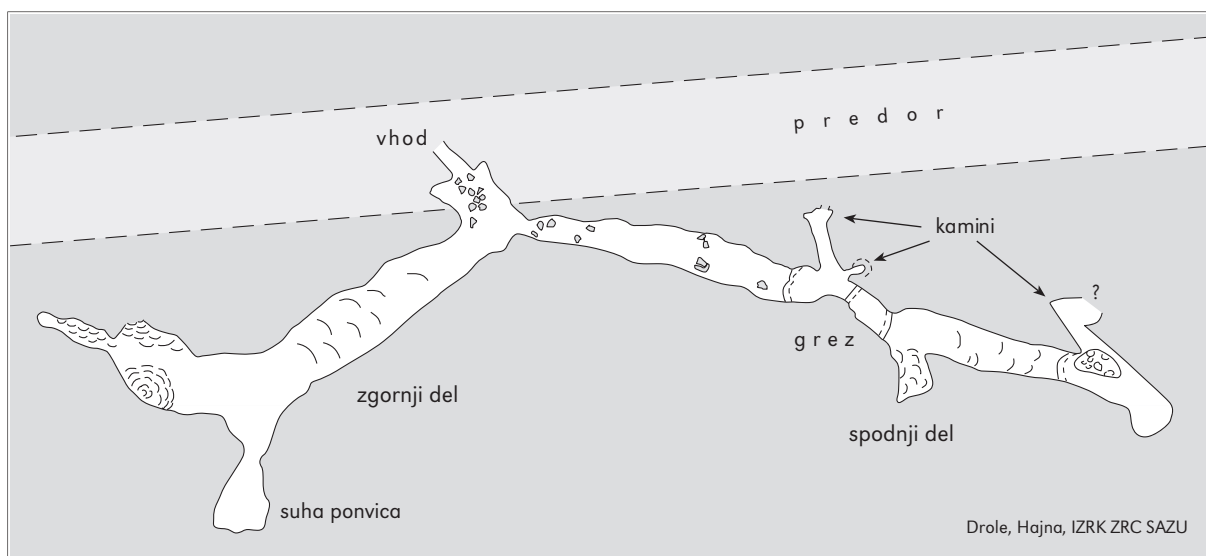
Področje predora Kastelec pripada morfostrukturni enoti Podgorskega krasa (Mihevc 1991; Zupan Hajna 1997), ki ga gradijo paleocenski in eocenski apnenci ter eocenski fliš (Pleničar idr. 1969, 1973). Za to enoto je značilno, da si pasovi apnencev in flišnih kamnin sledijo v več naravnih enotah kot del naluskane zgradbe Čičarije (Placer 1981).

Podgorski kras razdelimo na planotast svet

pod Škrklovico (461 m) na nadmorski višini nad 400 m, na Petrinjski kras, Zgornji kras ter na Spodnji kras, ki je področje med stenami nad Osapsko dolino in Kastelcem. Posebnost tega krasa so stene na stiku med kraškim svetom na apnencu in neprepustnim flišem, ki jih imenujemo kraški rob.

Na območju Podgorskega krasa je znanih več večjih, vodoravnih jam, v katere vodijo vhodna brezna. Jame so globoke od 15 do 150 metrov ter dolge od 30 do 300 m. Sedaj suhe jame preoblikuje le prenikajoča voda. V jamah, ki so močno zakrasele in pogosto zapolnjene z naplavino, so ohranjene tudi oblike, ki kažejo na nastanek jamskih rovov še v zaliti coni. Hiter padec nivoja vode ob znižanju flišne pregrade na zahodu, lahko tudi dviga tega dela krasa, je povzročil, da so se sledi prvotnega oblikovanja jam ponekod lahko ohranile (Bosák idr. 1999). Najbližje ponorne jame, ki so prvotno nastale že v freatični coni in jih sedaj preoblikuje ponikalnica, so jame Beško-Ocizelskega jamskega sistema. Ta sistem ponornih jam je razvit na severovzhodnem robu Podgorskega krasa, kjer vanj s fliša ponika več manjših potokov (Zupan Hajna 2004). Na Podgorskem krasu je znanih tudi več spodmolov, od katerih so nekateri arheološkega pomena (Turk idr. 1992).

Po katastru jam Inštituta za raziskovanje



Slika 20.1: Položaj jame S-647 v predoru Kastelec.

krasa ZRC SAZU in Jamarske zveze Slovenije so znane jame v bližini predora Kastelec: Udor na Škrklovici – Jama pri Črnem vrhu, katastrska številka 1393, dolžina rogov 35 metrov, globina 10 metrov; in Kraljičevka, katastrska številka 4531, dolžina rogov 46 metrov, globina 7 metrov. Najbližje predora pa je Brezno na Škrklovici, katastrska številka 1391, katerega dolžina rogov je 220 metrov in globina 85 metrov. Jama je bila zaradi potreb projekta ob gradnji predora ponovno izmerjena in izrisana (Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU). Jamski rov poteka vzporedno s predorom in je od njega oddaljen v najbližji točki okrog 25 metrov, od jame S-647 pa v končnem delu slabih 15 m metrov. Najnižja točka je na 355 metrih nadmorske višine. Glavni rov je poševen in visok do 17 metrov, na njegovih stenah so vidni sledovi počasnega vodnega toka (velike fasete). Jama je dostopna, ker se je površje nad njo toliko znižalo, da je vrhnji del jame odprt na površje. Pod 13-metrskim vhodnim breznom se rov strmo spušča tako, da je nasip kamenja, ki so ga zmetali v brezno pri čiščenju površja, zelo nestabilen. Za manjšo pasažo na koncu poševnega rova jama postane zelo podobna jami S-647 v levi cevi predora, kateri se tudi močno približa. Poševni rov se v nadaljevanju razširi v nekaj

manjših dvoranic, ob prečnih prelomih ga sekajo kamini, po katerih priteka zelo korozivna voda. Stene kaminov so razžrte, foraminiferni apnenec (alveolinsko-numulitni apnenec) je tako močno korodiran, da bele lupinice foraminifer (lupinčark) štrlijo iz temnosivega apnenca. Glavni rov, ki se poševno spušča, je precej zakrasel, siga prekriva stene in tla. V jami Brezno na Škrklovici je precej različno oblikovanih stalagmitov, od cipresastih do dolgih kijev, in stalaktitov, katerih konice so večinoma polomljene. Starejše sige so rdečkastorjave barve, mlajše pa sive in bele. V tej jami ni helektitov. V spodnjih delih jame je po dnu rova vedno več ilovnatih sedimentov (menjavanje peščenih in glinenih plasti flišnega izvora). Posebno veliko jih je na dnu jame. Med ilovnato naplavino so pomešani prod belega kremenca, železovi pizoliti in tudi čez 10 centimetrov veliki prodniki flišnega peščenjaka. Ilovico ponekod prekriva črna skorja. Sedimenti so iz časov, ko je jama delovala kot del ponornega sistema, seveda ne skozi današnji vhod v jamo. Malo pred dnom in v dnu jame se sedaj sedimenti spirajo skozi več manjših grezov. Po stenah so ostanki nasipa, ki je bil vsaj 2 metra višje od sedanjega položaja naplavin. V dnu jame je zanimiva tudi večja akumulacija drobnega grušča, ki je verje-

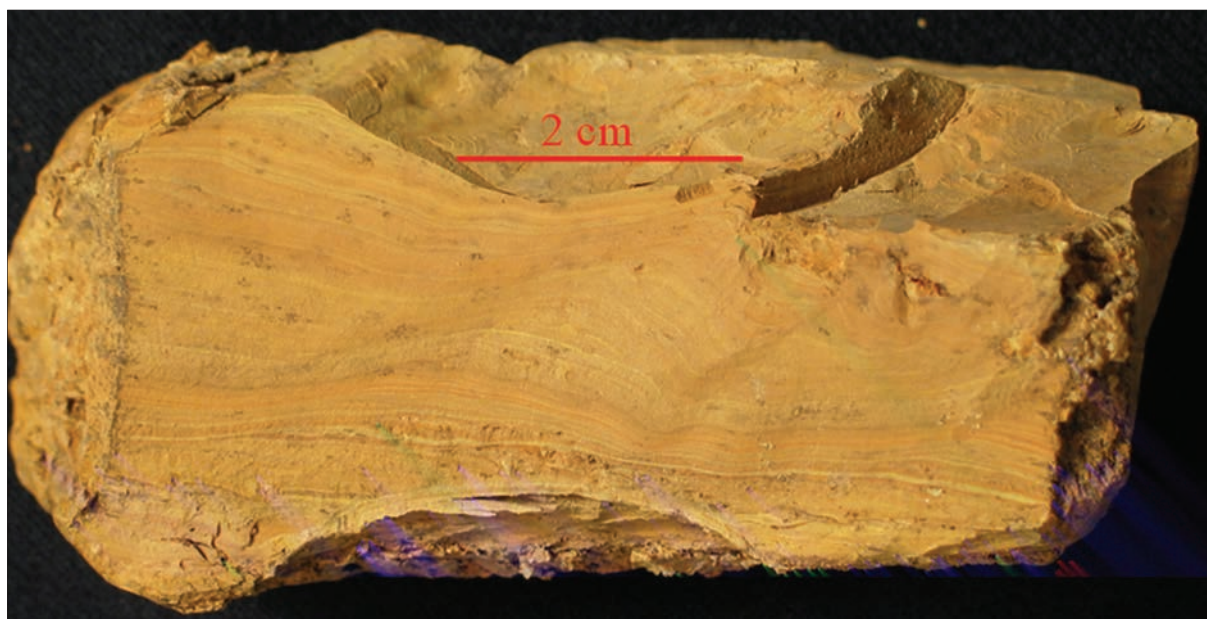


Slika 20.2: Korodirana siga (zavesa in stalagmit) v srednjem delu jame.

tno nastajal v bližini površja (vpliv zmrzali) in se je skozi kamin, visok 40 metrov, sipal v končni del jame. Tudi grušč sedaj polzi proti grezu v dnu jame.

SPELEOMORFOLOŠKI OPIS JAME S-647

Jama poteka južno od predora in ima obliko črke V (slika 20.1). En krak poteka proti jugozahodu in se dviga tako, da je najvišja izmerjena točka na 377 metrov nadmorske višine in okrog 7 metrov nad predorom. Ta krak je 10 metrov južno od leve cevi predora. Ta del jame je do 5 metrov širok in do 8 metrov visok. Jugovzhodni krak je daljši in prvih 35 metrov položno pada navzdol, nato pa 7 metrov stopnja prepreči lahkotno ogledovanje jame. Po stopnji se višina rova precej zniža, iz 4 metrov na slabo pol metra. Nizkega rova je okrog 20 metrov, nato pa prek 5 metrov globoke stopnje pridemo v korozijsko zelo razjedeno dvorano, ki se nadaljuje v kamin. Dno te dvorane je na 334 metrov nadmorske višine. Če upoštevamo še višino kamina, je zadnja izmerjena točka jugovzhodnega kraka na višini 354 metrov nadmorske višine, kar je ista višina kot



Slika 20.3: Laminiran rumeni pesek iz jame v predoru.

najnižje ležeči rovi Brezna na Škrklovici. Jama je od 60 do 100 metrov pod površjem.

Zgornji del jame sledi vpadu plasti proti severovzhodu, spodnji del pa prelomnim conam. Po stenah rova je polno ostankov peščene ilovice, kar kaže na dejstvo, da je bila jama v nekem obdobju popolnoma zasuta z naplavljenimi sedimenti flišnega izvora. Sedaj naplavina izginja v mlajšem grezu, ki se je odprl na sredini spodnjega dela jame. Grez je globok okrog 6 metrov, njegovo dno in stene pa so zasute s peščenimi sedimenti.

Ob dveh izrazitih razpokah, ki prečkata jamo v spodnjem delu, sta oblikovana večja kamina, po katerih v jamo priteka padavinska voda. Prenikajoča voda je močno agresivna saj so apnenčaste stene teh dveh kaminov močno korodirane. Močno je razžrta tudi siga, ki je bila prej odložena v teh delih jame (slika 20.2). V srednjem delu spodnjega rova je ob večjem kaminu odprt še manjši, stranski kamin, ki je razprt ob prelomni ploskvi vzporedni z smerjo glavnega rova. Foraminiferni apnenec je tako močno korodiran, da iz njega štrlijo lupine foraminifer in do 2 centimetra velikih morskih ježkov. Obenem pa po prelomni ploskvi, vzporedni z glavnim rovom, nastajajo žlebiči.

Jama je po vsej verjetnosti nastala že v zaliti coni, kasneje pa je bila zapolnjena z naplavinami s fliša, v njej pa se je odložilo tudi veliko sige.

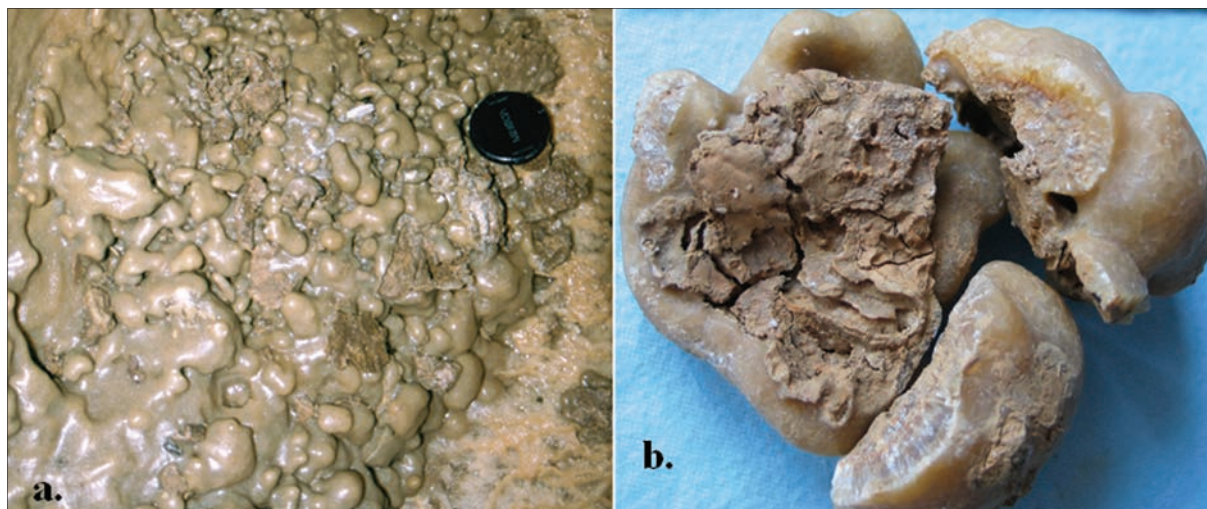
Voda se sedaj pretaka v globljih delih krasa (Beguš idr. 2003).

JAMSKI SEDIMENTI

V jami so poleg sige nahajajo tudi večje količine peščene in ilovnate naplavine flišnega izvora (slika 20.3). Peščeno ilovnat sediment je na več delih preraščen s skorjo črne barve, ki jo gradijo železovi ali manganovi hidroksidi. Ob steni zgornjega dela jame se je na tleh čez peščeni sediment odložila siga v obliki manjših kongrecij (slika 20.4), kjer kristali izraščajo iz središča navzven in dajejo vtis zakraselih prodnikov.

Siga kot drobnokristalni agregat je značilna samo za vadozno cono krasa. Različne oblike sige nastanejo iz kapljajoče, tekoče, mezeče, ujete, kondenzne vode itd. Iz vode, ki teče po stenah ali tleh, se izloča v plasteh, nastajajo obloge, slapovi in baldahini. V jami je precej sige v različnih oblikah, od ponvic, zaves, do stalaktitov in stalagmitov. Različne oblike kažejo na različne mehanizme vodnega pretakanja in s tem izločanja sige. Siga je v glavnem rumeno in rjavo obarvana, razen prozornih helektitov in nekaj prozornih, sedaj rastočih stalaktitov.

V zgornjem delu jame na stalaktitih rastejo prozorni helektiti najrazličnejših oblik in v raz-



Slika 20.4: a. s sigo prekrita naplavina; b. prerez skorje sige čez naplavino (širina vzorca je 10 cm).

ličnih smereh, in sicer na stropu, stenah in stalaktitih (slika 20.5). Helektiti so manj pogosta oblika sige in rastejo iz kapilarne vode, ki meži skozi tanke kanale, največkrat skozi prečne razpoke v stalaktitih. Rastoči helektiti sledijo načelom kristalizacije in ne gravitacije. So brezbarvni, beli in rumeni. Lahko so različnih oblik, razlikujemo predvsem dve: tanke dolge cevke, ki med rastjo zavijajo v različne smeri, in kratke čokate monokristale, ki so podobni manjšim rogovom.

Tla zgornjega dela jame so prekrita s sigovo skorjo in velikim številom ponvic različnih velikosti. V večino ponvic še priteka voda, velika ponvica v zadnjem delu jame pa je suha verjetno že dlje časa, saj siga na njenih robovih že prepe-
reva. V suhih ponvicah so tudi kapniki s trikotnimi preseki (slika 20.6), stalagmiti, ki so ponavadi značilni za zatišne dele jam. Kapniki s trikotnimi preseki so stalagmiti, v katerih ne vidimo koncentrične strukture, to je posameznih prirastnih plasti, ampak kapnik gradi en velik kristal (sli-



Slika 20.5: Helektiti rastejo iz stalaktitov v vseh smereh.

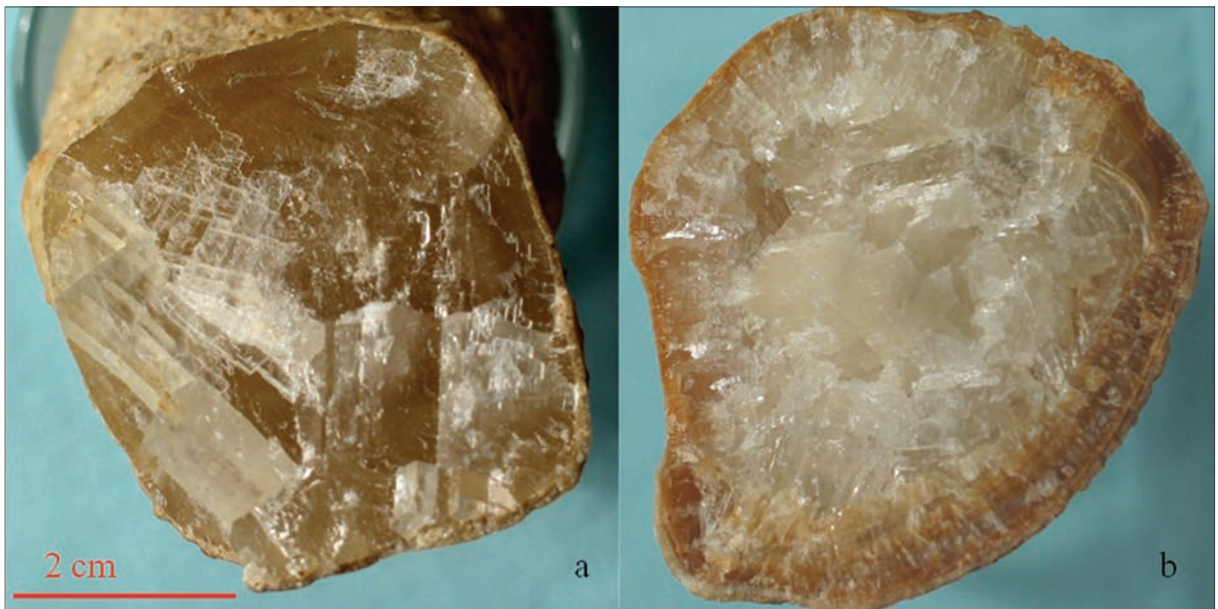
ka 20.7a). Taki kapniki lahko že tudi zrastejo kot monokristali (Hill, Forti 1997), ali pa nastajajo z rekristalizacijo navadnih stalagmitov, kar se kaže v naših jamah. Najpogostejši kapniki s trikotnimi preseki so helektiti ali pa stalaktiti, stalagmiti so zelo redki (opisali so jih v Romuniji, Teksasu, New Mexicu, Južni Afriki in Braziliji). Kot monokristal rastejo iz nizko nasičene raztopine pri visoki vlagi in parcialnem tlaku CO_2 ter minimalnem pretoku zraka, kar je značilno za zaprte jame (Hill, Forti 1997). Njihov nastanek še ni popolnoma pojasnjen, vsekakor so kapniki s trikotnimi oblikami zelo redki. V slovenskih jamah so stalagmiti s trikotnim in kvadratnim presekom precej pogosti, predvsem v zatišnih delih jam, vendar njihovega nastanka, glede na prve analize, ne pripisujemo rasti kalcitovega monokristala, temveč rekristalizaciji običajnih stalagmitov. Rekristalizacija se v večini primerov začne na sredini kapnika, novorastoči kristali so veliko večji, prozorni in brezbarvni (slika 20.7b). S časom se rekristalizacija nadaljuje vedno bolj proti robom stalagmita, tako da novorastoči kristali segajo vse do njegovega zunanjšega roba in s tem vplivajo na morfologijo celega kapnika. Zunanja plast stalagmita ostane rjavo obarvana, saj so nečistoče iz prvotno obarvanih kalcitnih kristalov med rekristalizacijo izrinjene na rob kapnika. V še ne popolnoma prekrizaljenih kapnikih se še vidi prvotna koncentrična struktura, včasih pa je prekrizaljen samo vrh stalagmita.

V zgornjem delu jame je velika ponvica, okrog katere in v kateri se je siga izločila v različnih oblikah in v več generacijah (slika 20.8). Siga se je v in nad ponvico izločala v naslednjem vrstnem redu: 1. rast stalaktitov, 2. rast ponvic, 3. rast in debelitev konic stalaktitov pod vodno gladino, 4. tvorba plavajočega kalcita, 5. usedanje plavajočega kalcita in tvorba jamskega mleka, 6. odebelitve pritrjenih plošč plavajočega kalcita, 7. rast helektitov, 8. poplavljanje in sočasna izločanje sive sige in 9. rast prozornih cevok ter stalagmitov.

V to ponvico rastejo stalaktiti, ki imajo po-



Slika 20.6: Suhe ponvice, v katerem rastejo stalagmiti s trikotnim presekom.



Slika 20.7: Prerez monokristalnega (a) in navadnega stalagmita (b), v drugem je viden začetek rekristalizacije.

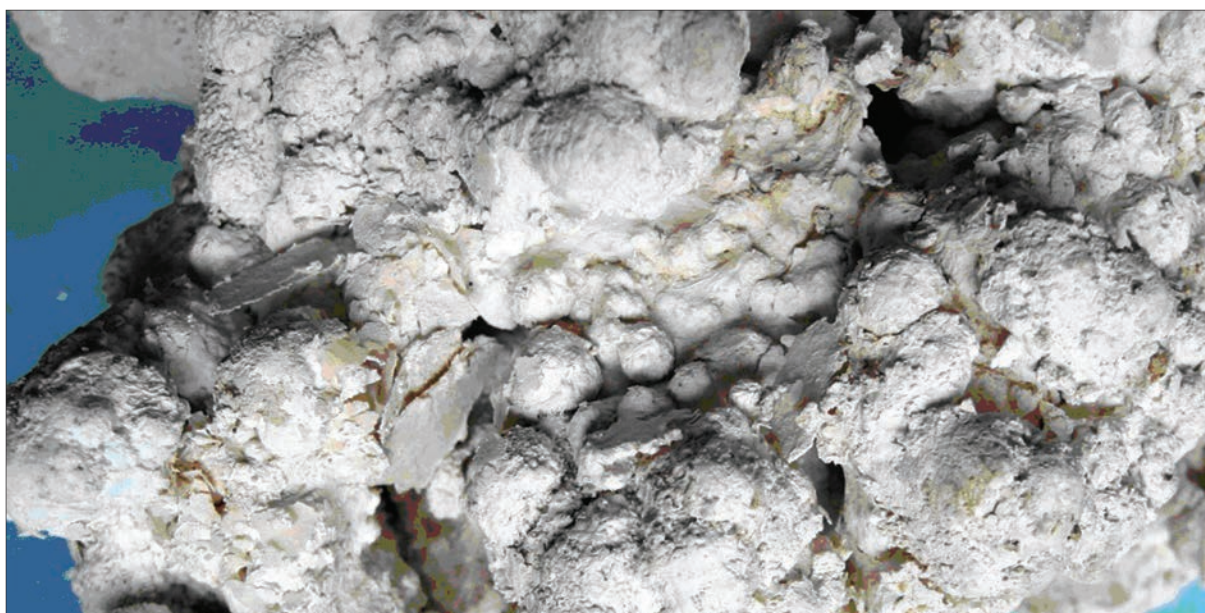


Slika 20.8: Različne vrste in barve sige nad sedaj suho ponvico v zgornjem delu jame in v njej.

seben spodnji del, katerih čebulaste konice so rastle pod nivojem vode (slika 20.8). Na njih se je odlagal vlaknat kalcit, ki izgleda kot drobno kristalno jamsko mleko. Jamsko mleko se izloča kot mikrokristalna bela in mehka masa na stenah in sigi, ki ima med mineralnimi zrni do 70 % vode; kadar je suha, pa je precej drobljiva. Mineralna sestava jamskega mleka je lahko različna, največkrat je iz kalcita ali aragonita, lahko pa je tudi iz nekarbonatnih mineralov. Nastaja s kemičnim obarjanjem iz prenasičenih raztopin in tudi s pomočjo mikroorganizmov. Na te čebulaste konice stalaktitov, prekrite z jamskim mlekom, so se ob nižanju vodne gladine prilepile posamezne kalcitne plavajoče skorje (slika 20.9). Plavajoče skorje kalcita rastejo iz ujete vode v lužah in ponvich. Skorje se na gladini izločajo zaradi spremembe parcialnega tlaka CO_2 . Večje skorje potonejo, ker postanejo pretežke, še posebej zato, ker na njihovi spodnji strani rastejo kalcitovi kristali, ki jih še

dodatno obtežijo. Na dno se usedejo tudi, če voda v ponvich izhlapi.

Stalaktiti v zgornjem delu jame so večinoma polomljeni in manjkajo predvsem njihovi spodnji deli. Glede na to, da jama ni bila odprta, je možnost antropogenega vpliva izključena. Na odlomih rastejo že tudi nove cevke ali pa helektiti, tako da vsi odlomi vsekakor niso sveži. Ti odlomi glede na njihov položaj tudi nimajo nobene povezave s polzenjem naplavin na dnu rova, zaradi katerega pa je odlomljenih ali razpokanih večino stalagmitov in sigastih skorij v osrednjem delu jame. Razpoke so izrazite, večinoma so tudi že zakrasede s sigo bele barve. Razpoke v sigi verjetno kažejo na obdobje, ko se je v osrednjem delu spodnjega dela jame odprl grez in se je s tem povezano začelo močnejše spiranje sedimentov. Odlomi spodnjih delov stalaktitov pa zaenkrat ostajajo nepojasneni, mogoč bi bil njihov lom z večjim poplavnim sunkom, morda vode, ki bi bila polna sedimentov



Slika 20.9: Spodnji deli stalaktitov, ki so bili potopljeni v vodo v ponvici, so preraščeni z vlaknatim kalcitom, na katerega so se usedle ploščice plavajočega kalcita (širina vzorca je 10 cm).

in bi imela tako moč, da bi lomila štrleče konice stalaktitov. Robovi odlomov na stalaktitih tudi ne kažejo preperelosti ali korozije. V spodnjem delu jame so značilni večji stebri in stalagmiti, ki so tudi močno razpokani, nekateri pa tudi odlomljeni. Po tleh ležijo stalagmiti in stalaktiti najrazličnejših velikosti. Na posameznih odlomih rastejo že posamezne cevčice in helektiti.

SKLEP

Jama je zanimiva zaradi tega, ker je globoko pod površjem in je bila vse do izdelave predora nedo-

stopna. Zanimiva je tudi, ker po svojem nastanku ni ponorna jama, je pa v njej veliko naplavin flišnega izvora in ogromno podrtih kapnikov. Del odlomov in razpok lahko povežemo s polzenjem in ugrezanjem naplavin, še vedno pa ostaja nepojasnjeno, zakaj so polomljene konice stalaktitov. Posebnost jame je velika količina helektitov in prisotnost kapnikov trikotnega preseka.

Zaradi posebnosti jame, njene lege in speleomorfoloških značilnosti smo predlagali, da jami pustijo odprt dostop v raziskovalne namene, kar so izvajalci tudi uresničili in omogočili vstop skozi betonsko cev.

PRETAKANJE V VODI NETOPNIH TEKOČIN V KRASU

JANJA KOGOVŠEK, METKA PETRIČ

Zaradi prepustnosti razpokanih in topnih karbonatnih kamnin na kraškem svetu, predvsem apnenca in dolomita, vsakršno onesnaževanje na njegovem površju pomeni onesnaženje kraških podzemnih voda. Kraški vodonosniki se napajajo s padavinami, ki prenikajo v kraško notranjost neposredno s površja, lahko pa tudi prek kraških ponikalnic. Podzemna voda izteka spet na površje skozi kraške izvire, ki so pomemben vir pitne vode. V Sloveniji kar polovica prebivalstva pije kraško vodo. Med celo vrsto onesnaževalcev na kraškem površju, ki ogrožajo kakovost kraške vode, spada tudi promet, tako v normalnih razmerah kot tudi ob prometnih nesrečah, ko lahko pride do razlitja velikih količin nevarnih in škodljivih snovi.

Danes se ekološka ozaveščenost prebivalstva ob skrbi za zdravo življenjsko okolje, ki vključuje tudi ekološko neoporečno vodo in hrano, povečuje. V zadnjem desetletju z zaskrbljenostjo spremljamo posledice razlitij v prometnih nesrečah, najpogosteje naftnih derivatov (Kogovšek 1986, Kogovšek idr. 1994, Kogovšek 1996, Kogovšek, Petrič 2002a). Če se zgodi nesreča na kraškem svetu, lahko na osnovi poznavanja smeri pretakanja vode na obravnavanem območju ugotovljamo, na katere kraške izvire bo to izlitje vplivalo. Še posebej nas zanima, če bodo onesnaženi izviri, ki so zajeti za oskrbo prebivalstva s pitno vodo.

Seveda pa je lahko osnova za taka predvidevanja le dobro poznavanje krasa, ki temelji na raziskovanju pretakanja vode v krasu. Enako nevarne so tudi nesreče v skladiščih naftnih derivatov, ki so bile v preteklosti prav tako vzrok za onesnaževanje kraških voda.

V nadaljevanju so podane analize nesreč z izlitji naftnih derivatov, ki so postopno pripomogle k boljšemu razumevanju pretakanja naftnih derivatov v krasu, saj do sedaj še niso načrtno primerjali pretakanja v vodi topnih in netopnih snovi, kot so naftni derivati. S predlaganimi sledilnimi poskusi s topnim sledilom neposredno ob nesreči z izlitjem naftnih derivatov bi lahko ugotovili razlike v načinu pretakanja, kar bi pomembno prispevalo k boljšemu razumevanju širjenja naftnih derivatov in drugih tekočin, ki se z vodo ne mešajo, v krasu.

NESREČE V PRETEKLOSTI

Pred več kot 40 leti se je v vrtačo na Ravbarkomandi pri Postojni zvrnila cisterna s 25.000 litri jedilnega olja. Po nekaj urah je bila ob prazni cisterni v dnu vrtače le velika lisa rumenega snega. S svedrom so ugotovili 8 metrov debelo plast z oljem prepojene ilovice, zaradi česar se je kasneje posušilo bližnje drevje (Habič 1988). Ta in po-

dobne nesreče so pokazale na dejstvo, da razlitatekočine, bolj ali manj nevarne snovi, ki v vodi se raztapljajo ali pa tudi ne, odtečejo s kraškega površja hitro, še preden je mogoča učinkovita intervencija.

Maja 1984 je prišlo do večjega primanjkljaja nafte v Petrolovem skladišču pri Postojni. Domnevali so, da je odtekla v kraško podzemlje. Ker je bil zaradi že znane vodne povezave bližnjega požiralnika pod Kremenco z Rakovim rokavom in Rudolfovim rovom v Planinski jami ter 6 kilometrov oddaljenim izvirom Malenščice na Planinskem polju (Gams 1965b) pojav nafte na teh točkah zelo verjeten, je občinski štab za civilno zaščito organiziral daljše opazovanje v Planinski jami in na črpališču v Malnih, saj je izvir Malenščice zajet za oskrbo prebivalstva občin Postojna

in Pivka. Ker je bila nevarnost pojava nafte v Malenščici zelo velika in bi lahko povzročila močno onesnaženje pitne vode za dalj časa, je bila nabavljena tudi večja količina aktivnega oglja. Na veliko srečo se nafta na opazovanih točkah sploh ni pojavila, kar je sprožilo domnevo, da nafta ni odtekla v kras. Tedaj je bilo to eno prvih resnih opozoril, kakšno grožnjo lahko predstavljajo skladišča naftnih derivatov na kraškem svetu. Stroški opazovanj in vseh aktivnosti v zvezi s tem dogodkom so bili visoki, vendar pa bi bili ob onesnaženju Malenščice sanacijski stroški še neprijemno večji, če bi bila sanacija sploh izvedljiva.

Da so večja skladišča naftnih derivatov velika potencialna nevarnost za kraško vodo, je pokazalo tudi iztekanje naftnih derivatov ob njihovem pretakanju v skladišču naftnih derivatov



Slika 21.1: Skladišče naftnih derivatov pri Ortneku leži na nekraškem svetu, a je ogrozilo kakovost kraškega izvira Globočec.

pri Ortneku oktobra 1988. Prav ta nesreča je narokovala, da so ob kasnejši načrtovani razširitvi skladišča raziskali možnosti vpliva skladišča na kraške vode. V okviru te raziskave je bil v aprilu 2000 izveden sledilni poskus, ki je predstavljen v nadaljevanju. Poskus je pokazal, kateri izviri bi bili onesnaženi ob izlitju naftnih derivatov, kako hitro in v kolikšni meri.

Številne prometne nesreče z razlitji nevarnih snovi na krasu so sčasoma le prinesle spoznanje, da je treba pristopiti k reševanju strokovno. Ob nesrečah konec prejšnjega stoletja je Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU pogosto sodeloval pri ugotavljanju, kateri izviri bi bili lahko onesnaženi, kar je bila osnova za spremljanje njihove kakovosti.

RAZLITJE PLINSKEGA OLJA OKTOBRA 1998 PRI ORTNEKU JE OGROZILO KAKOVOST ZAJETEGA IZVIRA GLOBOČCA

Dne 13. oktobra 1998 ob 22. uri je prišlo v skladišču naftnih derivatov pri Ortneku (slika 21.1) pri prečrpavanju plinskega olja do napake in razlitja olja. Neznana količina plinskega olja je odtekla po odtočnih drenažah v potok Zvezda, ki se izliva v Tržiščico (Genorio 1999). Skladišče leži na nekraškem svetu, vendar pa Tržiščica, ki teče v bližini, po približno 4 kilometrih površinskega toka na stiku z apnencem ponika v ponoru Tentera v podzemlje. Na osnovi starejših sledenj so sklepali, da bo onesnaženje prizadelo izvire na Dobropolju in v dolini Krke. To razlitje bi lahko tedaj koristno uporabili kot primerjalno sledenje,



Slika 21.2: Izvir Globočec, ki je zajet za oskrbo prebivalstva Suhe krajine s pitno vodo.

če bi takoj po nesrečnem dogodku v ponikalnico injicirali v vodi topno sledilo.

Spremljanje pojava plinskega olja v zajetem izviru Globočec (slika 21.2), ki je potekalo po nesreči oktobra 1998 pod vodstvom upravljavca zajetja Javnega komunalnega podjetja Grosuplje, d. o. o., je dalo koristne informacije. Monitoring s fluorescenčnim spektrofotometrom Shimadzu RF 1501, ki ga je od 15. do 19. oktobra izvajalo JP Vodovod – kanalizacija d.o.o. iz Ljubljane, je pokazal, da Globočec tedaj še ni bil onesnažen z izlitim plinskim oljem. To so potrdile tudi vzoredne kromatografske analize mineralnih olj v laboratoriju Zavoda za zdravstveno varstvo Novo mesto (Genorio 1999).

Prvič so v Globočcu določili pojav plinskega olja v koncentraciji 0,013 mg/l dne 22. oktobra ob 5.10, torej 199 ur (8 dni in 7 ur) po izlitju in približno tri dni po izdatnejšem dežju. Na osnovi teh podatkov bi bila izračunana navidezna hitrost pretakanja 3 cm/s. Vendar pa je že čez 8 ur koncentracija padla pod 0,005 mg/l (najvišja dopustna meja za pitno vodo je 0,01 mg/l). Redno, 5-krat dnevno jemanje vzorcev in njihovo analiziranje, ki je potekalo do 26. novembra, je pokazalo, da v vzorcih od 22. do 28. oktobra niso zaznali prisotnosti plinskega olja, ampak le prisotnost derivatov in značilen vonj, v naslednjih dneh pa tudi tega ne.

Po močnih padavinah 5. novembra se je v vzorcih 7. novembra ob 18. uri in naslednjega dne spet pojavil značilen vonj. Ta pojav je bil posledica iztiskanja plinskega olja po infiltraciji novih padavin. Redne nadaljnje analize so pokazale neoporečno vodo 9. novembra 1998 ob 14. uri. S kasnejšimi analizami do 26. novembra ni bila ugotovljena prisotnost plinskega olja ali derivatov, pa tudi ne pojav značilnega vonja. Decembra in nato od januarja do marca 1999 so prevladovala nizke temperature, padavine pa so bile sorazmerno skromne in v obliki snega.

Spomladi 15. aprila 1999 so na izviru namestili avtomatski merilnik ogljikovodikov in ga umerili na plinsko olje. Ta naprava, ki nepretga-

no meri koncentracijo plinskega olja, je 21. maja 1999 ob 16. uri zapisala prekoračitev dovoljene vsebnosti plinskega olja v vodi (več kot 0,01 mg/l), ki je trajala do 21. ure (po podatkih Javnega komunalnega podjetja Grosuplje, d. o. o.). Tudi takrat so hitri porast vsebnosti plinskega olja pripisali močnim padavinam v zaledju Tržišči-ce. Kasneje niso več beležili povečanj. Ob našem obisku Tentere konec avgusta 1999, eno leto po izlitju plinskega olja, je bil še vedno prisoten močan vonj po plinskem olju, ki se je adsorbiralo na sediment ob robu struge Tržišči-ce.

Prisotnost plinskega olja so ugotovili tudi v Kompoljski jami. Po pripovedovanju domačinov pa so plinsko olje vidno zaznali tudi v Tominčevem studencu, vendar pa tega izvira tedaj v sklopu monitoringa niso opazovali.

Podrobno spremljanje prisotnosti plinskega olja in vonja v Globočcu je pokazalo, da je voda neuporabna že ob prisotnosti vonja po plinskem olju, meja določljivosti pa je z 0,01 mg/l sorazmerno visoka, kar pomeni, da nižjih koncentracij ne moremo zaznati.

RAZISKAVE ZA UGOTAVLJANJE MOŽNEGA VPLIVA SKLADIŠČA NAFTNIH DERIVATOV PRI ORTNEKU NA KRAŠKE VODE

Sledilni poskusi so učinkovita metoda za ugotavljanje podzemnih vodnih zvez v krasu, pa tudi za ugotavljanje mogočega vpliva onesnaženja z določene točke na kraškem površju na podzemne kraške vode oz. kraške izvire. Ta metoda je bila uporabljena tudi pri ugotavljanju morebitnega vpliva skladišča naftnih derivatov pri Ortneku na kraške vode.

Sledilni poskus z injiciranjem sledila v Tržišči-co na ponoru Tentera (slika 21.3), v katero bi ob razlitju v skladišču naftnih derivatov iztekli le-ti, je pokazal, da se v hidroloških pogojih upadanja pretokov od srednjih do nizkih vodostajev voda Tržišči-ce odteka predvsem v Tominčev studenec ter

Javornikov in Debeljakov izvir ob Krki pri Dvoru (slika 21.4). Ocenjeno je bilo, da je skozi te izvire do konca maja 2000 izteklo nekako 2/3 injicirane-ga uranina. V znatno manjši meri in z velikim časovnim zamikom pa je voda odtekala ob upadlih vodostajih in ponovnih padavinah tudi v smeri Podpeške jame ter naprej v Šico pri Mali Račni na Radenskem polju (Kogovšek, Petrič 2002b).

V opisanih hidroloških razmerah pa nismo ugotovili povezave z izvirom Globočcem, ki je zajet za oskrbo prebivalstva Suhe krajine s pitno vodo, čeprav smo ga vzorčili najbolj podrobno.

Voda se je v stalen Tominčev studenec pretakala z navidezno hitrostjo 4,6 cm/s, v občasen Javornikov izvir s 3,8 cm/s, v Debeljakov izvir pa z 2,4 cm/s, računano glede na pojav maksimalne koncentracije. Te, precej velike hitrosti pretakanja vode nakazujejo v primeru onesnaženja Tržiščice tudi hiter prenos onesnaženja do izvirov pri

Dvoru. V Javornikovem izviru smo zabeležili kar 3-krat višje koncentracije uranina kot v Tominčevem studencu, kar kaže na bolj koncentriran odtok oz. manjše razredčevanje vzdolž podzemnega toka. Izračunana hitrost v smeri Podpeške jame je bila le 0,1 cm/s (slika 21.4). Tam smo uranin zaznali šele po izdatnejših padavinah, ki so nastopile po dveh mesecih stalnega upadanja pretokov, ko sta Javornikov in Debeljakov izvir celo presahnila. Zaključimo lahko, da je podzemno raztekanje vode iz Tentere zelo odvisno od hidroloških razmer.

Pojav uranina v Šici pri Mali Račni je skladen z ugotovitvami sledenja iz Podpeške jame leta 1982, ko so uranin zaznali v Šici, nato pa še v izviri Krke (Novak 1985). Za pojav uranina julija 2000 v izviri Krke nimamo dovolj dokazov, ker smo po treh mesecih in pol zaključili z opazovanji.

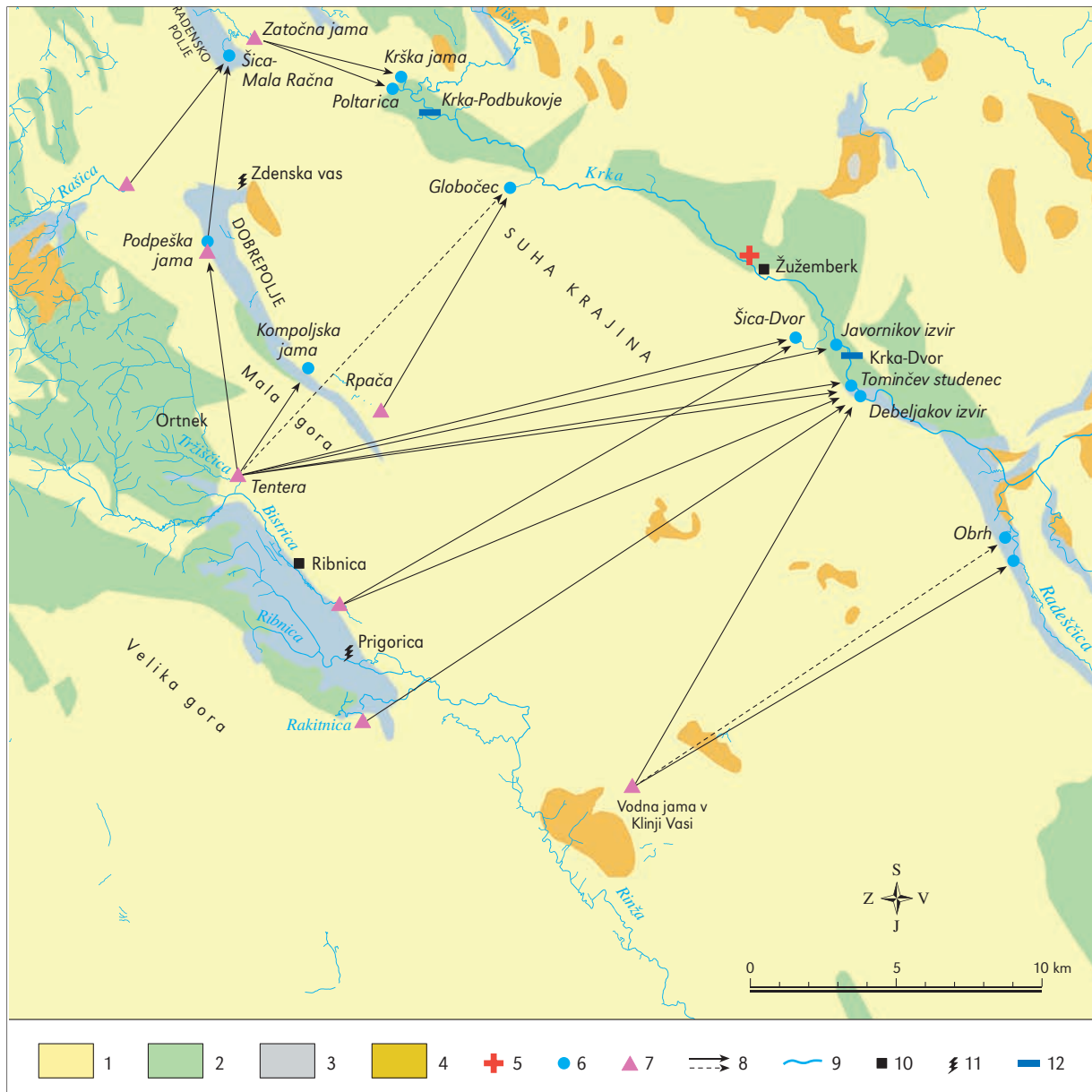


Slika 21.3: Tržiščica ponika v ponor Tentera.

O pretakanju voda ob zelo visokem vodostaju imamo nekaj informacij zaradi spremljanja posledic razlitja plinskega olja iz skladišča naftnih derivatov v Ortneku 13. oktobra 1998, ki smo ga že opisali. Le občasno, kratkotrajno pojavljanje plinskega olja po vsakokratnih padavinah nakazuje, da se snovi, ki se v vodi ne topijo oz. ne

mešajo z vodo, lahko dolgo zadržujejo v kraškem podzemlju.

Na tej osnovi lahko sklepamo, da obstaja ob visokih vodostajih zveza med Tržiščico in Globočcem. Čeprav je povezava slaba in so bile izmerjene koncentracije nizke ter so se pojavljale le občasno, pa ugotavljamo, da je ob onesnaženju

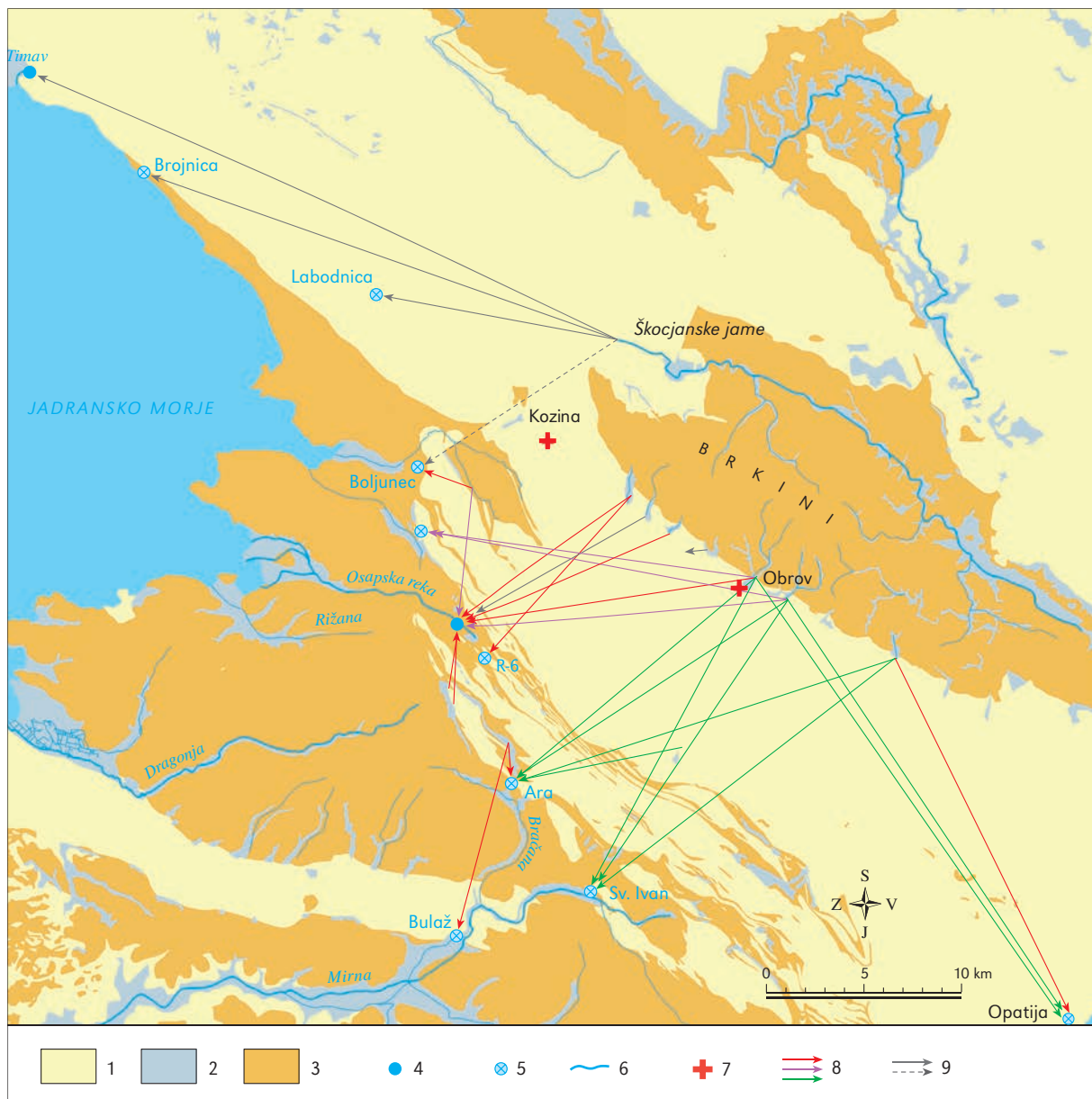


Slika 21.4: Smeri podzemnega raztekanja vode, ki so bile ugotovljene s sledilnim poskusom z injiciranjem sledila v Tržiščico na ponoru Tentera in drugimi sledenji na širšem območju Suhe krajine. Legenda: 1. kraški vodonosnik, 2. razpoklinski vodonosnik, 3. medzrnski vodonosnik, 4. zelo slabo prepustne kamnine, 5. točka izlitja kurilnega olja, 6. izvir, 7. ponor, 8. s sledenjem dokazana glavna in stranska smer podzemnega pretakanja, 9. površinski tok, 10. naselje, 11. padavinska postaja, 12. hidrološka postaja.

z nevarnimi snovmi (kot so tudi naftni derivati) to dovolj za onesnaženje zajetega izvira, saj so ga morali izključiti iz omrežja za daljši čas. Zaledje Tržišnice je torej tudi zaledje Globočca in vsako onesnaženje na tem območju pomeni tudi nevarnost za zajetje Globočec. Pokazalo se je tudi, da netopne, nepolarne tekočine ubirajo podzemne

vodne poti, vendar pa je njihov prenos drugačen in je zelo odvisen od spreminjanja hidroloških razmer, ki omogočajo v kraškem vodonosniku kopičenje in kasnejše različno intenzivno potiskanje teh snovi v smeri izvirov.

Izčrpne podatke o hitrostih, predvsem pa o deležu vode, ki ob visokih in zelo visokih vodah



Slika 21.5: Mesto razlitja pri Obrovu in smeri pretakanja podzemne vode, ugotovljene s sledilnimi poskusi (Krivic idr. 1987, 1989). Legenda: 1. kraško-razpoklinski vodonosnik, 2. medzrnski vodonosnik, 3. zelo slabo prepustne kamnine, 4. pomembnejši izvir, 5. izvir, 6. površinski tok, 7. lokacija nesreče z izlitjem, 8. s sledenji po letu 1976 ugotovljene glavna, stranska ali nezanesljiva smer podzemnega pretakanja, 9. s sledenji pred letom 1976 dokazana ali nezanesljiva smer podzemnega pretakanja.

iz Tržiščice odteka v Globočec, bi podalo le sledenje v takih razmerah. Odprto ostaja tudi vprašanje, ali ni morda večja količina plinskega olja iz Ortneka oktobra 1998 odtekla skozi Tominčev studenec in Javornikov izvir.

IZLITJE KURILNEGA OLJA V PROMETNI NESREČI OKTOBRA 1993 PRI KOZINI

Oktober 1993 je prišlo do izlitja nafte in kurilnega olja pri Kozini (slika 21.5), na kraškem svetu, kar bi lahko ogrozilo tudi kakovost vode v zajetju Rižane. Do izlitja je prišlo ob prometni nesreči, ko se je prevrnila cisterna s priklopnikom in se je izlilo v bližnjo okolico 18 ton nafte in kurilnega olja. Nafta je s površja z malo preperine pod travnato rušo hitro odtekla, po ocenah očitvecev je bila požiralnost okoli 15 l/s, in skozi razpokan in zakrasel apnenec prenikala globlje v kras do podzemeljskih vodnih tokov ter svojo pot nadaljevala skupaj z njimi. Tako so na osnovi že pred časom opravljenih sledilnih poskusov na tem območju, ki so dokazali odtekanje podzemnih voda izpod Brkinov pod Matarskim podoljem v izvire Rižane, Osapske reke, Bračane, Mirne in v obmorske kraške izvire v Kvarnerskem zalivu pri Opatiji (Krivic idr. 1987; 1989), sklepali, da se nafta lahko pojavi na vseh teh točkah. Ker so izviri v Ospu preliv visokih voda Rižane, je bil mogoč pojav nafte tudi v Osapski reki, pa tudi v izvirih Timave, saj vode z območja severozahodno od Kozine odtekajo v to smer. Vzorčenje na terenu in ogled jam smo opravili sodelavci Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU (Knez idr. 1994) po naročilu Ministrstva za okolje in prostor.

Analize vode Rižane je opravljal Sanitarno-kemični laboratorij Zavoda za socialno medicino in higieno Koper (določanje mineralnih olj s plinskim kromatografom po ekstrakciji z metilenkloridom v kislem). Spremljanje mineralnih olj v izvirih Rižane je potekalo od 9. oktobra dalje, najprej tri dni enkrat dnevno, nato štiri dni dvakrat dnevno, nato pa spet pet dni enkrat dnevno,

do 17. novembra le še enkrat tedensko, kasneje do večjega zmanjšanja vodostaja pa le še občasno (Knez idr. 1994).

Mineralna olja se v Rižani niso pojavila, saj so vsi zajeti vzorci vsebovali koncentracije pod 0,005 mg/l. Maksimalna dopustna meja mineralnih olj v pitni vodi je v normalnih razmerah 0,01 mg/l, v izrednih razmerah pa 0,1 mg/l. Navedena največja dopustna količina je enaka tudi v zakonodaji Evropske skupnosti. Ta nesreča se je za izvir Rižane končala srečno, je pa pokazala, da bi ob onesnaženju tega vodnega vira lahko prišlo do zelo neprijetnih posledic.

Vzorci vode so bili vzeti še na šestih drugih mestih. Vsebnost mineralnih olj so določili na Hidrometeorološkem zavodu Republike Slovenije z metodo fluorescence v ekstraktu s heksanom. V izviru Boljunca ni bilo mineralnih olj, rahlo povišana vsebnost (0,016 mg/l) pa je bila določena v Osapski jami 18 dni po izlitju olja ob zelo visokem vodostaju. Večja povečanja so bila določena v Veliki Kozinski jami in v Cikovi jami. Vendar teh povečanj niso pripisali razlitju nafte in kurilnega olja ob nesreči pri Kozini, ker je bilo bolj verjetno, da sta olje in nafta izviralala iz bližnje železniške proge in ceste med Kozino in Rodikom, v podzemlje pa sta prišla z neposrednim prenikanjem s površja.

Naftni derivati se z vodo ne mešajo oz. se ne topijo v vodi in so lažji. Zato se njihov prenos skozi kras verjetno precej razlikuje od toka vode, čeprav smo ob spremljanju razlitij naftnih derivatov ugotavljali, da se pretakajo po vodnih poteh in kasneje iztekajo skozi izvir, v zaledju katerega je prišlo do nesreče.

IZTEKANJE KURILNEGA OLJA NA DOLOMITNEM SVETU PRI ŽUŽUMBERKU

Ob nesreči, ki se je pripetila leta 1991, ko je iz Tovarne kemičnih kondenzatorjev v Žužemberku (slika 21.4), ki leži na dolomitnem svetu neposredno ob reki Krki, izteklo približno 30.000

litrov kurilnega olja, smo ugotavljali značilnosti prenosa te snovi v dolomitu.

Ugotovljeno je bilo, da se je velik del olja zadržal daljši čas kot sorazmerno izoliran oljni madež v podzemlju. Dosegli so ga z vrtino in določeno količino izčrpali, kasneje pa spremljali višino olja v vrtini. Od začetnih več kot 30 metrov višine olja v vrtini ga je po štirih letih (30. 3. 1995) ostalo še 0,62 metra, po 6 letih pa 0,26 metra. To kaže na zelo počasno odtekanje z območja oljnega madeža, kar pa je bil tudi vzrok, da ni prišlo do hitrega in velikega onesnaženja Krke v času izliva. Bolj počasno, dolgotrajno iztekanje pa pomeni daljšo akumulacijo tega onesnaževalca v kraškem podzemlju.

Da bi pridobili novo znanje o pretakanju snovi, ki se z vodo ne mešajo, je bilo opazovanje širjenja kurilnega olja dopolnjeno s sledilnim poskusom s fluorescentnima slediloma uraninom in rodaminom, ki sta topni v vodi (Habič 1991). Na površju, kjer je iztekalo kurilno olje, je bil injiciran

uranin, v vrtino pa rodamin. Od številnih manjših izvirov ob Krki sta se sledili tako kot kurilno olje najizraziteje pojavili v največjem, Žlajpahovem izviru, v opazovanem obdobju je skozenj precej zvezno odteklo dobrih 23 % vlitnega rodamina. Uranin se je pojavil najprej v vrtini, kasneje pa v izviru v več valovih po zaporednih vlitjih vode na mestu injiciranja. Spremljanje koncentracij obeh sledil v vrtini je pokazalo na počasno izmenjavanje kraške vode na območju vrtine.

ONESNAŽENJE RIŽANE OKTOBRA 1994 ZARADI IZLITJA PLINSKEGA OLJA OB PROMETNI NESREČI PRI OBROVU

Dne 2. 10. 1994 je prišlo do prometne nesreče na cesti Podgrad–Kozina pri Obrovu (slika 21.5). Iz cisterne se je izlilo blizu 16 m³ plinskega olja D2. Kot je bilo ugotovljeno že ob omenjeni nesreči pri Kozini, je izliti tovor tudi tokrat zelo hitro odtekel s površja v kraško notranjost (po oceni v



Slika 21.6: Po izlitju plinskega olja pri Obrovu so uspeli izolirati le z oljem prepojeno prst.

15 do 20 minutah), tako da ugotavljamo, da ob takih nesrečah na kraškem svetu ni mogoče izlize snovi pravočasno prečrpati in preprečiti odtoka v kras. Ob izlitju pri Obrovu so uspeli izolirati le zemljo, prepojeno z oljem (slika 21.6). Do izlitja in hitrega prenikanja v kraško notranjost je prišlo na območju drugega varstvenega pasu zajetega vodnega vira Rižana, približno kilometer jugozahodno od ponikalnice Pogoran v slepi dolini Jezerina, za katero je bila ugotovljena s sledilnimi poskusi leta 1986 zanesljiva zveza z izvirova Rižane in Osapske reke (Krivic idr. 1989).

V okviru tega sledenja je bil v času injiciranja rodamina pretok potoka Pogorana 81 l/s. Po padavinah se je injicirani rodamin pojavil izrazito v Rižani, in sicer 18 dni po vlitju, maksimalna koncentracija pa je nastopila po 21 dneh in pol. V enem mesecu po pojavu sledila je izteklo skozi Rižano 10,6 % rodamina, hitrost pretakanja pa je znašala 35 m/h. V Osapski reki se je rodamin

pojavil 21 dni po vlitju v vodnem valu po padavinah. Maksimalna koncentracija je bila štirikrat manjša kot v Rižani, vendar je bil višek izrazit. Hitrost pretakanja v smeri Osapske reke je bila 35 m/h, enaka kot v smeri Rižane. V izviroh Ara pri naselju Mlini na Hrvaškem se je rodamin pojavil po 11 dneh po vlitju, še pred nastopom vodnega vala po padavinah in v zelo nizkih koncentracijah, zato je rezultat vprašljiv. Izračunana hitrost pretakanja bi bila 67 m/h. Podobno šibko se je pojavil rodamin tudi v izvirov Sv. Ivan v Buzetu po 11 dneh, kar bi pomenilo hitrost pretakanja 72 m/h. Zaradi nizkih koncentracij ni bilo mogoče ne ovreči niti potrditi zveze voda z območja Brkinov s povodjem Mirne, čeprav bi bile ugotovljene hitrosti pretakanja mogoče (Krivic idr. 1987).

Na osnovi tega znanja so ob nesreči pri Obrovu ocenili, da bodo na širjenje onesnaženja vplivale predvsem padavine oz. povečani



Slika 21.7: Izvir Rižana je zajet za oskrbo prebivalstva obalne regije s pitno vodo.

pretoki voda in da je zato potrebno podrobneje spremljati vsebnost nafte v zajetju Rižane (slika 21.7), občasno pa tudi v izviru Osapske reke in v izvirih Ara. Pregledane so bile tudi jame na območju med mestom nesreče in naštetimi izviri, vendar pa v nobenem od brezen ali kraških jam niso našli vodnega toka, v katerem bi lahko zajeli vodne vzorce oz. ugotovili morebitno prisotnost plinskega olja, kar bi pokazalo na smer in hitrost pretakanja. Zato smo na Inštitutu za raziskovanje krasa ZRC SAZU vzorčili izvir Osapske reke in vodo izvirov Ara. Analize mineralnih olj je opravil Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije z metodo določanja fluorescence v ekstraktu s heksanom.

Analize vzorcev Rižane so od sedmega do enajstega dne po nesreči jemali enkrat dnevno, od dvanajstega do šestnajstega dne trikrat dnevno, nato pa do 3. novembra 1994 zopet enkrat dnevno. Analizo vzorca razlite snovi kot tudi analize vzorcev Rižane je opravil Sanitarno-kemični laboratorij Zavoda za socialno medicino in higieno Koper z metodo plinske kromatografije po ekstrakciji s heksanom, naročnik pa je bil Rižanski vodovod Koper. Pomagali smo si tudi s podatki o količini padavin na padavinski postaji Podgrad in s srednjimi dnevnimi pretoki Rižane na vodomerni postaji Kubed, ki smo jih prav tako pridobili na Hidrometeorološkem zavodu.

Pojav plinskega olja D2 v Rižani

Po izlitju plinskega olja v prometni nesreči dvanajst dni ni bilo padavin, ki bi pospešile pretakanje olja skozi vadozno cono krasa. Dvanajsti in trinajsti dan pa so se zaradi manjše količine padavin nekoliko povečali pretoki Rižane. To je povečalo hitrost pretakanja vode in olja v podzemlju, vendar je bil zabeležen pojav plinskega olja šele v vzorcu 26. oktobra 1994 ob 20.00, to je 14 dni po nesreči. Šele nadaljnje izdatne padavine (70 mm) so 29. oktobra povzročile povečanje pretoka Rižane na 22,8 m³/s in naslednji dan je bilo zabeleženo tudi povečanje koncentracije plinskega olja (Kogovšek 1995b). Iz slike 21.8

so razvidne povišane vrednosti olja v Rižani od 26. oktobra do 1. novembra 1994. Izvir Rižane je bil zato kar nekaj časa izključen iz vodovodnega omrežja.

Kraško vodo, ki jo uporabljamo kot pitno vodo, je treba v večini primerov dezinficirati, preden prispe do uporabnikov. V Rižanskem vodovodu, ki upravlja z zajetjem Rižana, so jo v času opisanih nesreč pri Kozini in Obrovu klorirali s plinskim klorom. V strokovni literaturi opozarjajo na negativni vpliv na kakovost vode po kloriranju, kadar so v vodi prisotne organske snovi, ker s klorom nastajajo halogenirani ogljikovodiki, ki so karcenogeni. Njihova maksimalna dopustna meja je 30 µg/l. Pri kontroli pitne vode so v končnih točkah rižanskega vodovoda tedaj ugotavljali koncentracijo halogeniranih ogljikovodikov – skupnih trihalogenmetanov 10 µg/l (Ožbolt 1994).

Halogenirani ogljikovodiki nastanejo namreč ob reakciji ogljikovodikov (mineralna olja, plinsko olje ...) s klorom. Verjetno so produkti te reakcije odvisni od vrste ogljikovodika, količine klora, hitrosti reagiranja, česar pa še ne poznamo dobro in verjetno do tedaj ob podobnih nesrečah tudi ni bilo načrtno spremljano. Očitno so se upravljavci Rižanskega vodovoda zavedeli, kakšno nevarnost predstavljajo take nesreče in kasnejše kloriranje, saj vodo Rižane že nekaj časa čistijo z ultrafiltracijo brez dodanih kemikalij.

Potovalna hitrost olja in vode do Rižane je znašala po nesreči pri Obrovu 45 m/h. Izrazitemu pojavu olja (80 µg/l) je sledil upad njegove koncentracije s sočasnim počasnim upadanjem pretoka, kar si razlagamo s potiskom dela olja, ki se je najprej scedil v vodonosnik. Močnejše spiranje pa je nastopilo po izdatnih padavinah 29. oktobra in povečanju pretoka Rižane na 22,8 m³/s (srednji dnevni pretok). Sočasno niso bila zabeležena povečanja koncentracije ogljikovodikov, čeprav so bili prisotni. Razlog so verjetno zelo velike razredčitve, saj se je pretok povečal kar 20-krat. Prvo povišanje je bilo ugotovljeno dan kasneje, ko je pretok nekoliko upadel, z nadaljnjim

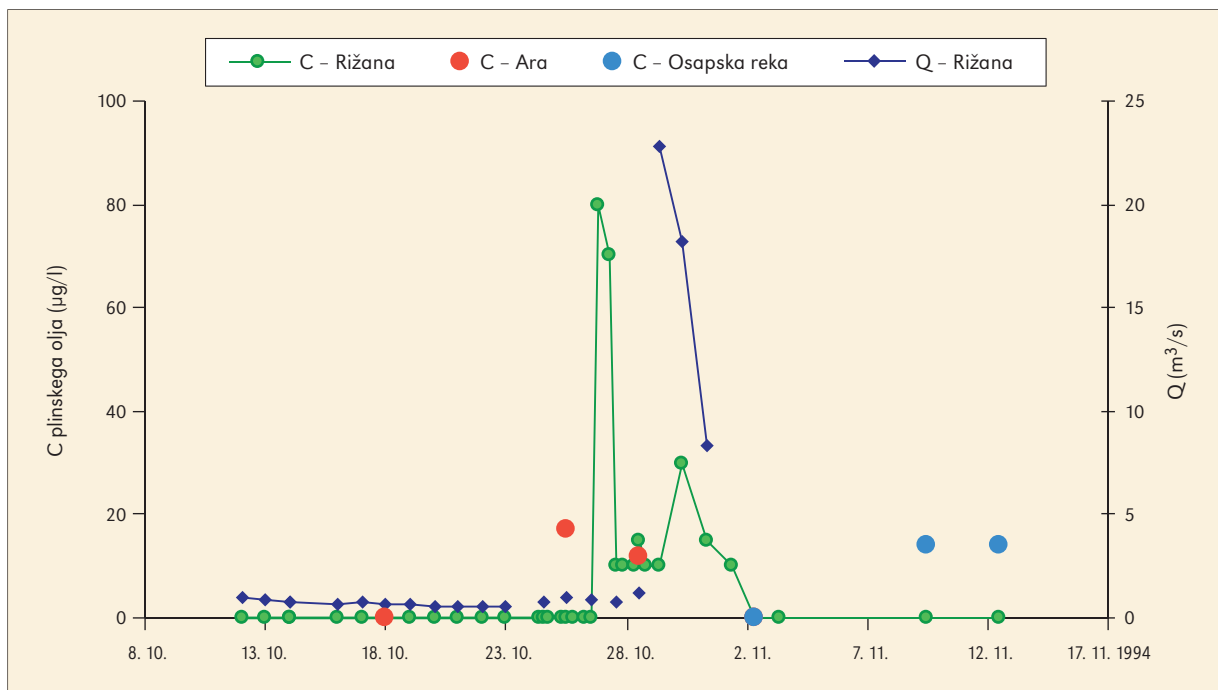
upadanjem pretoka pa je upadala tudi vsebnost ogljikovodikov.

Izdatne padavine (70 mm) so tako iztisnile večjo količino olja iz podzemlja v izvir Rižane v vodnem valu ob močno povišanem pretoku od 29. do 31. oktobra. Prve nadaljnje padavine so bile po prvem tednu v novembru, ko je verjetno prišlo do ponovnega nekoliko intenzivnejšega iztiskanja olja, vendar tedaj ni bilo več vzorčenja in meritev. Seveda pa je zelo mogoče, da tega iztiskanja z meritvami ne bi zaznali, ker je meja določljivosti te metode 10 $\mu\text{g/l}$, povečan pretok pa pomeni veliko razredčevanje. Na osnovi razpoložljivih podatkov, srednjih dnevnih pretokov Rižane in analiz koncentracije ogljikovodikov smo izračunali količino plinskega olja, ki je odtekla skozi Rižano. Ta znaša za čas meritev v zadnjem tednu oktobra le 88 kilogramov, kar je dobrega pol odstotka izlitate količine. To jasno kaže na počasnost iztekanja takih snovi, ki pa se poveča po vsakih intenzivnejših padavinah. Po izdatnih in intenzivnih padavinah, ko je bila aktivna tudi Osapska reka, je olje iztekalo zelo verjetno tudi skozi ta izvir. Vendar pa je moralo iztekanje skozi

oba izvira v manjših količinah potekati kar precej dolgo.

Pojav plinskega olja D2 v Osapski reki in v izviroh Ara

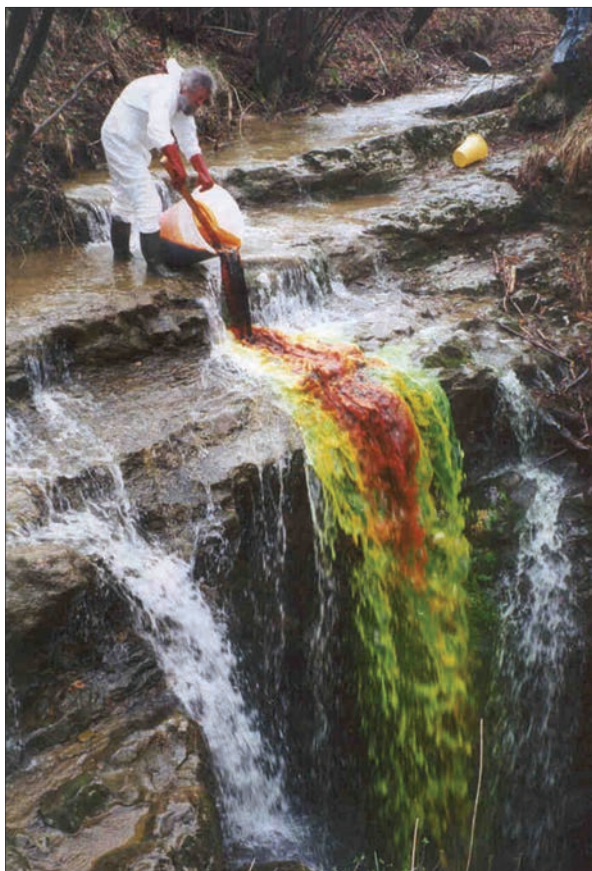
Osapska reka je bila do padavin v začetku novembra suha, 2. novembra pa je pričela teči, a v tedaj zajetem vzorcu nismo ugotovili povišanih vsebnosti mineralnih olj. Ob naraščajočem pretoku 9. in 12. novembra sta zajeta vzorca vsebovala 0,014 mg/l mineralnih olj (slika 21.8). Vzporedno s strmim naraščanjem pretoka, ko je bila opazna večja kalnost, je naraščala tudi specifična električna prevodnost, temperatura pa je upadla, kar kaže na dotok sveže vode (Kogovšek 1995b). Prvi pojav plinskega olja je bil opazen ob prelivanju vode iz izvirov Osapske reke, ki je sledilo izdatnim padavinam 29. oktobra 1994 (70 mm – padavinska postaja Podgrad) ter dodatnim padavinam v začetku novembra. Padavine konec oktobra so izdatno povečale pretok Rižane, niso pa zadostovale za prelivanje v Osapsko reko. Plinsko olje je bilo ugotovljeno v vzorcu 27. dan po nesreči, mogoče pa je, da se je pojavilo že kak



Slika 21.8: Rezultati spremljanja pojava plinskega olja v kraških izviroh po nesreči pri Obrovu.

dan prej, ko nismo jemali vzorcev, zelo verjetno v višjih koncentraciji kot kasneje. Podobno, kot je ugotavljal že Krivic s sodelavci (1989), smo tudi mi ugotovili v Rižani približno 4-krat višjo koncentracijo plinskega olja kot v izviroh Osapske reke. Sklepamo, da je bila hitrost pretakanja najmanj 27 m/h, mogoče pa, da je bila okoli 30 m/h. Način pretakanja plinskega olja smo ugotavljali za razmere nizkih voda. Verjetno pa so bile sorazmerno nizke vode tudi ob sledenju leta 1986 (Krivic idr. 1989), ko se je sledilo iz Jezerine pojavilo po 21 dneh na začetku vodnega vala, kar je pomenilo hitrost pretakanja 30 m/h.

Izviri Ara so bili aktivni že v času izlita, tako da smo od 18. oktobra dalje, ko je bila koncentracija mineralnih olj pod mejo detekcije (0,005 mg/l), pa do 2. novembra, ko je zopet padla pod mejo



Slika 21.9: Injiciranje sledila v vodni tok kot sestavni del sledilnega poskusa za ugotavljanje podzemnih vodnih zvez (foto: Andrej Mihevc).

detekcije, dvakrat ugotovili povišanje mineralnih olj (slika 21.8).

Prvo povišanje vsebnosti mineralnih olj smo zabeležili 25. oktobra, 13 dni po izlitju in en dan pred pojavom plinskega olja v Rižani. To je v času po manjših padavinah, ko se je pretok Rižane podvojil, medtem ko se pretok izvirov Ara ni vidno povečal. Mogoče bi bilo, da je prišlo do pojava olja že dan ali dva prej, a tedaj nismo jemali vzorcev. Izračunana hitrost pretakanja s točke razlita v izvire Ara je tako ob sorazmerno nizkem vodostaju 53 m/h (če je prvi pojav po 13 dneh) ali celo večja.

S sledilnim poskusom junija 1986 (Krivic idr. 1989) so zaradi neizrazitega pojava sledila v izviroh Ara ugotavljali, da ne morejo z gotovostjo sklepati o povezavi z vodami z območja Brkinov, kot je tudi ne morejo izključiti. Voda iz Jezerine se je v izvire Ara pretakala s hitrostjo 67 m/s, sledilo pa se je pojavilo še pred vodnim valom. Čeprav je tudi pojav izlitega olja po nesreči pri Obrovu v izviroh Ara zaradi majhnega števila vzorcev in nizkih koncentracij vprašljiv, podobno kot pri sledilnem poskusu leta 1986, pa se zdi ta povezava verjetna. Ker pa imamo na voljo le dva nezadostna dokaza, bi lahko to povezavo potrdili le z ustreznim sledilnim poskusom.

Od 24. oktobra 1994 dalje so spremljali vsebnost mineralnih olj tudi v izviru Sv. Ivan v Buzetu (Vlahović 2000). Iz njihovih podatkov je razvidno opazno povečanje vsebnosti mineralnih olj in skupnih maščob od 27. do 30. oktobra. Tako sklepamo, da je izlito plinsko olje odtekalo tudi v tej smeri, čeprav niso znane izhodne vrednosti teh parametrov pred nesrečo. Pri sledenju iz Jezerine se je sledilo v tem izviru pojavilo podobno šibko kot v izviroh Ara.

Primerjava rezultatov sledenj leta 1986 in posledic razlitij v nesrečah pri Kozini in Obrovu

Spremljanje posledic ob izlitjih večjih količin naftnih derivatov ob prometnih nesrečah na kraškem svetu je pokazalo, da se ti pretakajo po

vodnih poteh, vendar drugače kot voda. Zato so bili večkrat predlagani vzporedni sledilni poskusi z v vodi topnim sledilom, ki bi jih izvedli takoj ob nesreči in bi tako lahko primerjali prenos topne snovi s prenosom naftnih derivatov, ki se z vodo ne mešajo in so lažji od nje. Tako bi lahko pridobili novo znanje o pretakanju teh snovi. Vendar tako sledenje do sedaj še ni bilo izvedeno.

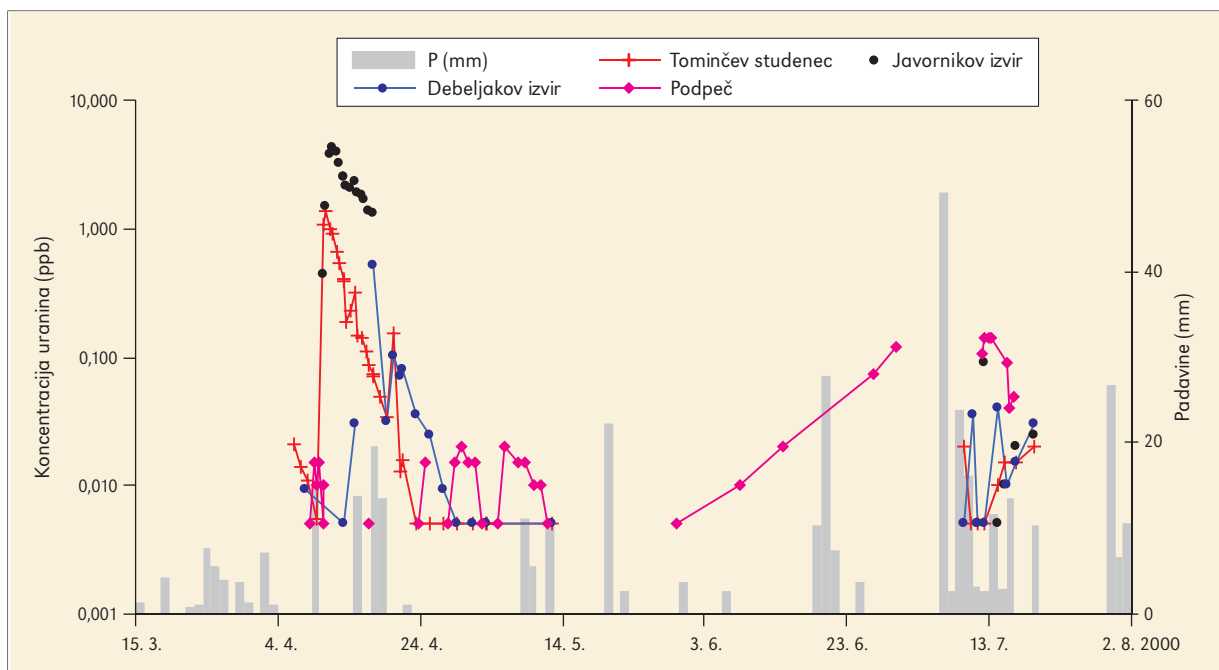
Ker pa so bili v zaledju Rižane v preteklosti izvedeni sledilni poskusi, kasneje pa je prišlo še do dveh prometnih nesreč z izlitjem naftnih derivatov, smo lahko na osnovi opazovanj in primerjave naredili določene zaključke.

Po izlitju nafte in kurilnega olja v prometni nesreči pri Kozini oktobra 1993 ob visokem vodostaju so bili izviri Osapske reke aktivni in v njih so zabeležili pojav mineralnih olj 18. dan po izlitju (Knez idr. 1994). V Rižani so v vseh zajetih vzorcih ob stalnem upadanju pretoka dobili negativen rezultat, torej koncentracijo pod 10 µg/l oz. pod 0,01 mg/l.

Glede na današnje poznavanje pretakanja topnih snovi skozi vadozno cono pa vemo, da je le-to močno odvisno od predhodne namočenosti

in padavinskih razmer, ki sledijo. Lahko prihaja tudi do daljšega zadrževanja v vadozni coni in pojava v kraškem izviru z večjim časovnim zamikom (Kogovšek, Šebela 2004). Zato je v primeru nesreč smiselno daljše opazovanje, še posebno v času po intenzivnejših in izdatnejših padavinah. Lahko se torej vprašamo, ali ni bilo morda tedaj vzorčenje Rižane zaključeno prezgodaj in bi ga bilo smiselno nadaljevati še po sledečih izdatnih in intenzivnih padavinah.

Omejevalni faktor pri ugotavljanju prisotnosti mineralnih olj je tudi sorazmerno visoka meja določljivosti metode za take namene, zato ne moremo reči, da nafta in kurilno olje nista iztekala tudi skozi izvire Rižane, čeprav v zelo nizkih koncentracijah (pod 0,01 g/l). Tudi koncentracije pod 0,01 mg/l ob visokih pretokih 10 m³/s in več dalj časa lahko pomeni prenos večje količine snovi, ne da bi jo določili. Tako bi ob koncentraciji 0,005 mg/l in pretoku 10 m³/s v enem mesecu izteklo 130 kilogramov nafte oz. kurilnega olja. Tako spiranje pa verjetno lahko traja tudi več mesecev in več. Vendar je mogoče, da je večji del



Slika 21.10: Primer rezultatov sledenja za ugotavljanje mogočega vpliva skladišča naftnih derivatov pri Ortneku na kraške vode.

nafta tedaj odtekal skozi visokovodni preliv, v izvire Osapske reke.

Ob nesreči pri Obrovu se je plinsko olje oktobra 1994 pojavilo v Rižani izrazito po 14 dneh v upadu manjšega vodnega vala ob pretakanju s hitrostjo 45 m/h. Ob sledenju maja 1986 se je sledilo pojavilo v Rižani po 18 dneh, potovalo pa je s hitrostjo 35 m/h. Mogoče je, da je ta razlika v pretakanju odraz različnih vodnih razmer v obeh primerih, predvsem različnih velikosti in časa pojava prvih vodnih valov po izlitju v nesreči, ki sta v obeh primerih vplivala na pojav sledila v vodi Rižane. Verjetno pa moramo razlike pripisati tudi različnemu načinu pretakanja vode in v vodi topnih snovi v primerjavi s snovmi, ki se v vodi ne topijo (plinsko olje, nafta, kurilno olje). Morda ne toliko v primeru prvega pojava kot v količinskem prenosu, ki je po dosedanjih opazovanjih in izračunih nakazal ob naftnih derivatih daljše čase, kar pomeni kopičenje in dolgotrajnejše spiranje iz krasa.

V izvirih Osapske reke, ki je bila v času nesreče suha, smo določili prisotnost mineralnih olj v vzorcu 27. dan po izlitju, zelo verjetno pa se je pojavila že nekaj dni prej, v začetnem delu vodnega vala (ob prvem pojavu vode v izvirih nismo ugotovili prisotnosti). Temu bi ustrezala hitrost pretakanja 27 m/h oz. do 35 m/h. Ta rezultat se precej dobro ujema z ugotovitvami hitrosti pretakanja vode s fluorescentnim sledilom, ugotovljenimi s sledilnim poskusom spomladi 1986.

KAJ LAHKO ZAKLJUČIMO NA OSNOVI DOSEDANJIH OPAZOVANJ

Nesreče, kjer iz katerega koli vzroka odtečejo v kras večje količine nevarnih snovi, so zelo nevarne, saj lahko ogrožajo naše okolje, kraške vode in že majhne količine tudi kakovost kraških izvirov, ki so zajeti za oskrbo s pitno vodo. Še posebno so nevarna izlitja naftnih derivatov, ker o pretakanju nepolarnih snovi, kamor uvrščamo tudi naftne derivate, ki se ne raztapljajo v vodi in so

lažji od nje, vemo še zelo malo. Na osnovi dosedanjih opazovanj nesreč z izlitji naftnih derivatov na kraškem svetu vemo, da odtekajo po poteh, ki jih ubira s površja v kraško notranjost, tudi padavinska voda. Na prvi pojav v izvirih vplivajo predvsem padavine. Opravljene primerjave pa nakazujejo, da je kasnejši način prenosa teh snovi skozi kras bistveno drugačen od prenosa topnih snovi. Na osnovi opazovanj Globočca po nesreči pri Ortneku in Rižane po razlitju pri Obrovu ter drugih navedenih primerov predvidevamo predvsem daljše zadrževanje in spiranje naftnih derivatov zaradi možnosti adsorpcije na sedimente in zastajanja v sifonih. Vendar pa ostaja še veliko neznank.

Ob pogostejših nesrečah na nekem območju bi prav zaradi vsakokratnega zbiranja snovi v zaledju izvira lahko prišlo do trajnejšega onesnaženja izvira, ki bi lahko onemogočilo njegovo izrabo. Kot v opomin je tu še vedno živ primer izvira reke Krupe, ki bo kot vodni vir zaradi onesnaženja njegovega zaledja z nevarnimi polikloriranimi bifenili za dolgo izgubljen.

Vsekakor je reševanje konkretnih primerov, ko pride do izlitja nevarne snovi in je treba predvideti smeri in hitrosti odtoka oz. oceniti, kateri kraški izviri bodo onesnaženi, dosti lažje, če so bile predhodno na obravnavanem območju že opravljene raziskave pretakanja podzemnih voda. Hidrogeološke in hidrokemične raziskave, predvsem pa sledilni poskusi (sliki 21.9 in 21.10), nam omogočajo ugotavljanje podzemnih vodni poti. Pri tem se moramo zavedati, da je v primeru trenutno izlitih večjih količin tekočin pretakanje drugačno kot ob padavinah, ko gre za dalj časa trajajoč razpršen vnos. Raziskave pretakanja vode skozi prst in vadozno cono (Kogovšek, Šebela 2004) so pokazale, da lahko prihaja prav tu do najdaljšega zadrževanja vode in morebitnih drugih tekočin na poti v bolj prepustne dele vodonosnika, kjer pa je pretakanje bistveno hitrejše. Zato se onesnaženje lahko pojavi v kraškem izviru z večjim časovnim zamikom. Ob nesrečah je zato smiselno daljše opazovanje, še posebno v

času po intenzivnejših in izdatnejših padavinah, ki sledijo.

Za vsak izvir, ki je zajet za oskrbo prebivalstva s pitno vodo, bi morali poznati njegovo zaledje, da bi lahko varovali kakovost vode in tudi primerno ukrepali, če bi prišlo do nepričakovane onesnaženja. Vendar to ni dovolj, da bi si zagotovili čisto vodo. Treba bi se bilo izogniti mogočim posledicam takih nesreč in s primerno gradnjo cest preprečiti neposredni odtok nevarnih snovi v kras. Prvi korak je bil narejen že ob gradnji avtoceste Ljubljana–Razdrto, ko so na kraškem svetu zgradili lovilnike olj, v katere bi ob izlitjih v prometnih nesrečah stekle nevarne snovi, lažje od vode (Kogovšek 1995c). Ob novejši gradnji avtocest na kraškem svetu vgrajujejo tudi nove generacije zadrževalnih in čistilnih objektov (Kompore idr. 2002b).

Čeprav so v kontaminiranem kraškem izviru koncentracije kontaminanta nizke in se pojavljajo le občasno, pa ugotavljamo, da je ob onesnaženju z nevarnimi snovmi (kot so tudi naftni derivati) to dovolj, da je treba vodni vir izključiti iz uporabe.

Posebej moramo opozoriti, da gre ob večjih povečanjih pretoka kontaminiranega izvira, ko je koncentracija naftnih derivatov sicer že padla pod mejo določljivosti, še vedno lahko za njihov pomemben prenos. Tu se je pokazala kot omejitveni faktor sorazmerno visoka meja določljivosti metode določevanja mineralnih olj. V primerih zajetega izvira, ki je bil kontaminiran in kjer za dezinfekcijo vode uporabljajo klor, nastajajo halogenirani derivati, ki so karcenogeni. To je bil tudi vzrok, da so v Rižani po omenjenih nesrečah prešli na čiščenje vode z ultrafiltracijo.

VPLIV PROMETA NA KRAŠKE VODE

JANJA KOGOVŠEK

Med pomembnejšimi onesnaževalci našega okolja vse pogosteje omenjamo tudi promet. Ne le zaradi nesreč, v katerih pride do razlitij večjih količin nevarnih snovi, ki lahko kontaminirajo tudi pitno vodo, eno najpomembnejših surovin nujnih za človekovo bivanje, temveč tudi zaradi onesnaževanja do katerega prihaja ob normalnem odvijanju prometa po cestah, v rednih razmerah.

Za Maribor so pred časom ugotavljali, da sta glavna vzroka onesnaženosti zraka uporaba slabših vrst premoga za ogrevanje in gost promet (Špes 1993). Promet onesnažuje zrak s plinskimi produkti izgorevanja goriv, ki se ob hitrih cestah, če ni ovir, širijo tudi 100 metrov in več stran od ceste in se usedajo na rastlinstvo ter prodirajo v tla. Na Odseku za fizikalno kemijo in kemijo okolja Inštituta Jožef Stefan in na Oddeleku za geologijo Ljubljanske Fakultete za naravoslovje in tehnologijo so v svojih raziskavah ugotavljali onesnaženje tal in vegetacije s težkimi kovinami, predvsem s svincem ter cinkom in nikljem, le v neposredni bližini avtocest (Rotar 1994). Pomemben del onesnaženja se torej useda na cestišče, predvsem tudi delci zaradi obrabe različnih delov vozil, ki jih kasneje spirajo vsakokratne padavine. Padavinska voda, ki odteka s cestišč je tako bolj ali manj onesnažena. Z manjših cest odteka v neposredno okolico bolj ali manj razpršeno. Če so v neposredni bližini cest vodotoki, pa

se posebno ob izrazitejših nalivih, voda steka karvanje. Pri hitrih cestah in avtocestah, kjer so te vode zbirajo v ceveh, v večjih količinah na enem mestu odteka v okolje. Na avtocesti Ljubljana–Razdrto, ki je bila zgrajena 1972, so na nekraškem svetu vode s cestišča speljali neposredno v bližnjo okolico. Kjer pa je speljana po kraškem svetu, so padavinsko vodo s cestišča speljali po ceveh prek lovilnikov olj, ki so bili zgrajeni, da bi zadržali morebitne, v prometnih nesrečah izlite naftne derivate oz. tekočine, lažje od vode. Že takrat so se zavedali občutljivosti in ranljivosti kraškega sveta in možnosti, da bi taka izlitja lahko ogrozila kakovost bližnjega izvira Malenščice, ki je zajet za oskrbo prebivalstva s pitno vodo. Padavinska voda, ki spira cestišča, je pred tem odtekala neposredno v kras, pri čemer se je običajno zastavljalo le vprašanje požiralnosti. Šele kasneje, po podrobnih opazovanjih sestave vode, ki odteka s cestišča avtoceste pri Postojni, smo ugotovili, da je tudi ta voda lahko precej onesnažena, kar je v podrobnostih podano v nadaljevanju.

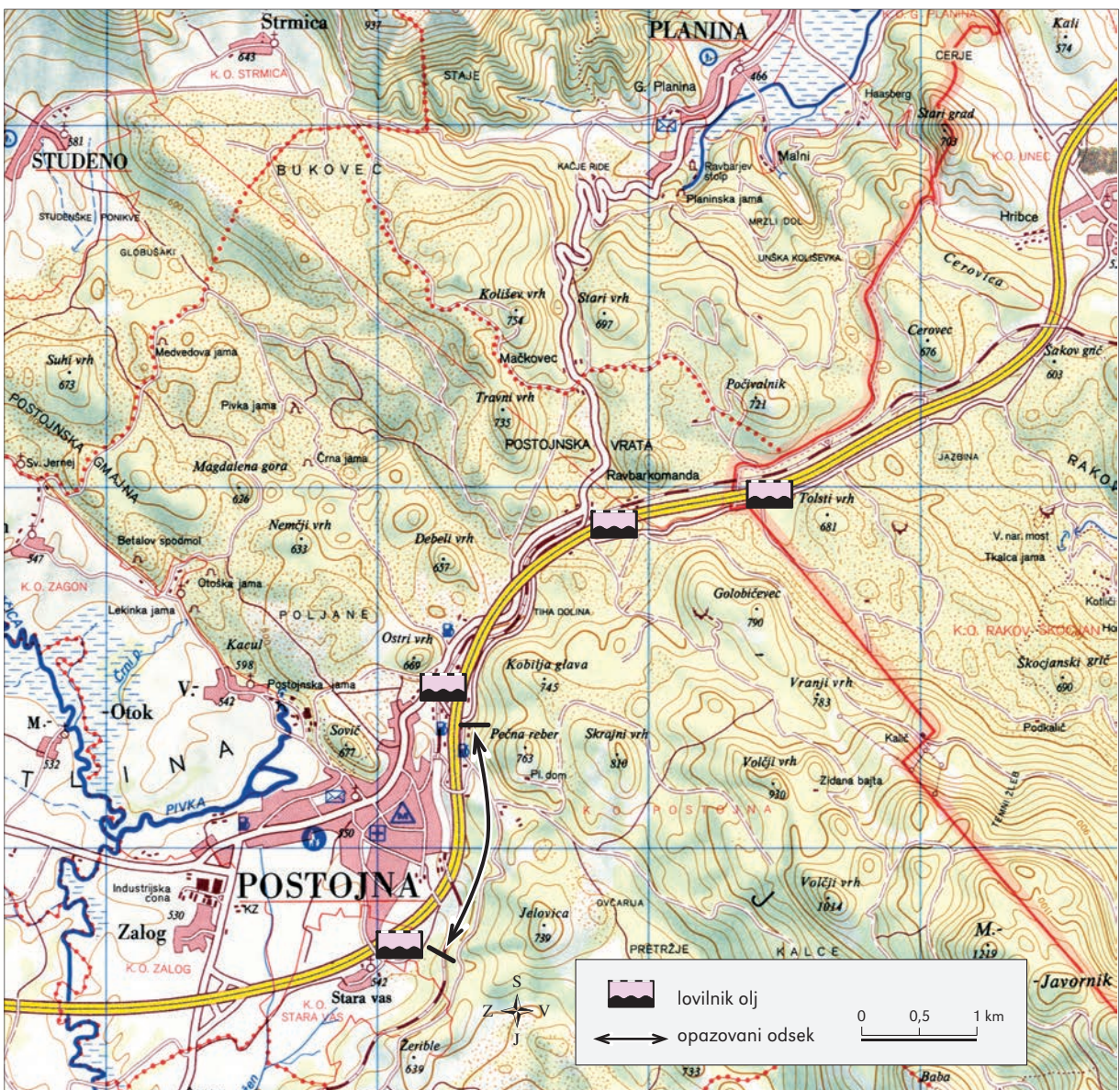
RANLJIVOST KRASA

Za kraški svet, ki ga gradijo razpokane in v vodi topne karbonatne kamnine, apnenec in dolomit, je značilna raznovrstna zgradba. Padavine in voda

s kraškega površja odtekajo neposredno globlje brez nepremostljivih ovir. Kraški vodonosniki se napajajo razpršeno z infiltracijo padavin s celotnega kraškega površja z območja zaledja, ponekod pa še točkovno skozi požiralnike, kjer površinski tokovi ponikajo v podzemlje. Podzemne kraške vode se večinoma pretakajo po dobro razvitih kanalih ali razpokah, zato je njihov tok zelo hiter. V zgornjih delih vodonosnika, neposredno pod površjem, v razpokah in porah v vadozni coni, ki lahko sega nekaj deset do več sto metrov globoko,

pa je zadrževalni čas bistveno daljši. Padavine se s površja najprej počasneje pretakajo v bolj ali manj navpični smeri do sklenjenih podzemnih tokov, nato pa z njimi hitreje do kraških izvirov, od katerih so mnogi zajeti za vodovode.

Te iste vodne poti s kraškega površja v njegovo notranjost pa ubirajo tudi najrazličnejše odpadne vode ter nevarne snovi, ki jih padavine spirajo z različnih odlagališč komunalnih in industrijskih odpadkov. Enako padavine spirajo tudi razpoložljiva gnojila in zaščitna sredstva, ki



Slika 22.1: Lovilniki olj na kraškem odseku avtoceste Ljubljana–Razdrto pri Postojni in odsek avtoceste, s katerega priteka padavinska voda v lovilnik olj pri Stari vasi.

se uporabljajo v kmetijstvu, ter onesnaženje s cestnih in parkirnih površin.

Dovolj debel preperinski pokrov, ki prekriva karbonatne kamnine, učinkuje kot filter in ima sposobnost daljšega zadrževanja tudi škodljivih snovi. Vendar pa je njegova debelina na krasu običajno zelo majhna, pogosto je ta pokrov celo povsem odstranjen. V karbonatni kamnini pod preperino, ki je lahko manj ali bolj razpokana, voda prej ali slej naleti na mrežo kraških razpok, ki omogočajo tudi hitrejši odtok vode in krajši zadrževalni čas.

Dosedanje raziskave pretakanja padavin so pokazale, da intenzivne in izdatne padavine preidejo 150 metrov debele apnenice po bolj prepustnih prevodnikih že v šestih urah (Kogovšek, Habič 1981), po tistih najbolj prepustnih, ki so že začetki brezen, pa še znatno hitreje. Običajno bolj prepustne razpoke spremlja mreža slabo prepustnih razpok, ki prevajajo manjše količine padavin bistveno počasneje, kar pa ob onesnaženju pomeni zbiranje in daljše zadrževanje ter zato pojav v kraških izvirih z velikimi zakasnitvami. Tako je hitrost pretakanja vode in v vodi topnih snovi s površja do sklenjenih vodnih tokov v krasu od 25 m/h do manj kot 1 cm/h. Manj izdatne padavine, ki so značilne za poletno sušno obdobje ali zimske sušne razmere, se zadržijo v kamnini blizu kraškega površja tudi do več mesecev in šele prve izdatne in intenzivne padavine po sušnem obdobju iztisnejo tako zbrano vodo z morebitnimi onesnaževalci globlje v kras. V takih primerih ne zaznamo onesnaženja takoj, ampak šele po več mesecih, zato lahko ob nepoznavanju razmer zmotno sklepamo, da do onesnaženja sploh ni prišlo.

Ko onesnaževalci dosežejo sklenjene podzemne vodne tokove, je njihov prenos zelo hiter. V dosedanjih raziskavah o pretakanju kraških voda na slovenskem Krasu, predvsem s sledilnimi poskusi, je bilo ugotovljeno, da je hitrost pretakanja do 200 m/h, povprečno pa okoli 100 m/h, zato je razširitev onesnaženja daleč stran od točke vnosa onesnaženja zelo velika (Kogovšek 2000; Kogovšek, Petrič 2002a).

Ob onesnaženju na kraškem površju lahko torej pričakujemo (odvisno od geoloških in hidrogeoloških razmer) zelo različno hitrost prenosa onesnaženja globlje v kras do sklenjenih vodnih tokov. Pri tem imajo pomembno vlogo predhodna namočenost oz. zapolnjenost vadozne cone z vodo, debelina prsti ter izdatnost in intenzivnost padavin.

Pri počasnejšem pretakanju skozi vadozno cono prihaja lahko do določene stopnje samoočiščevanja, seveda le lahko oz. biološko razgradljivih organskih snovi. Za odpadno vodo iz sanitarij in umivalnic, ki je po predhodni sedimentaciji trdnih nečistoč prenikala skozi 40 metrov debel prezračen masiv razpokanih karbonatnih kamnin vemo, da se je dokaj učinkovito čistila (Kogovšek 1987). Vendar sta zelo pomembni vrsta in količina onesnaženja. V krasu ima pomembno vlogo tudi vpliv razredčevanja.

Pri slovenskih cestah gre za manj ali bolj razpršen odtok padavinske vode, ki spira cestišča, razen pri avtocestah, kjer se meteorna voda zbira in po kanalih odteka na nekraškem svetu neposredno v okolico, na kraškem svetu pa so ob novozgrajenih cestah zadrževalni in čistilni objekti. V preteklosti smo se premalo zavedali, da so tudi vode, ki odtekajo s cestišč, lahko precej onesnažene in da ne gre le za odtok čiste padavinske vode. Na kraškem svetu je to še toliko pomembnejše, saj tako onesnažena voda lahko prodre tudi do virov pitne vode in ogrozi njihovo kakovost.

Da bi ugotovili, kakšna je sestava vode, ki odteka z avtocest, smo na Inštitutu za raziskovanje krasa ZRC SAZU v okviru raziskav vplivov onesnaženja na prenikajočo vodo, začeli tudi z raziskavami sestave vode, ki odteka z avtoceste pri Postojni.

MESTO VZORČENJ IN METODE

Odločili smo se za zajemanje trenutnih vzorcev v lovilniku olj pri Stari vasi pri Postojni (slika 22.1), kamor se steka padavinska voda z nekako 2200



Slika 22.2: Avtocesta pri Stari vasi pri Postojni se vzpenja na kraškem svetu.



Slika 22.3: Lovilnik olj pri Stari vasi, kjer so potekala opazovanja.

metrov dolgega odseka avtoceste Ljubljana–Razdrto (sliki 22.2 in 22.3). Cesta se tu vzpenja, če gledamo iz smeri Razdrtega proti Ljubljani, kar verjetno lahko vpliva na večjo porabo goriva in obrabo ter posredno na onesnaževanje. Sestava vode s cestišča je odvisna tudi od količine padavin, ki lahko različno razredčuje onesnaženje. V letu 1992, ko smo začeli z meritvami in analizami, je v Postojni padlo 1667 mm padavin, kar pomeni, da s cestišča odtekajo dokaj velike količine vode, ki spirajo manj ali bolj onesnaženo cestišče. Različna intenzivnost in izdatnost padavin je po-

menila manjše ali večje razredčevanje onesnaženja s cestišča. Zajetim vzorcem vode na dotoku v lovilnik (slika 22.4) smo določevali specifično električno prevodnost (SEP), kalnost, kemijsko (KPK – dikromatna metoda) in biokemijsko (BPK₅) potrebo po kisiku ter vsebnosti olj, kloridov, kasneje pa tudi vsebnosti kadmija in svineca ter sulfatov, nitratov in o-fosfatov. Vzporedno smo analizirali tudi vodo v odtočnem jašku, ki je iz lovilnika odtekala neposredno v kras.

Te prve analize in meritve (Kogovšek 1993) so pokazale na vrsto in velikost onesnaženja v

odtekajoči vodi z avtoceste ob najrazličnejših razmerah: takoj po dolgotrajni suši, v času soljenja cest, v intenzivnih nalivih in po njih.

PRVE OBČASNE MERITVE IN ANALIZE SESTAVE VODE, KI ODTEKA S CESTIŠČA

Prvi vzorec je bil zajet 17. marca 1992 v času soljenja cestišča in je pokazal visoko SEP in visoko vsebnost kloridov, prisotnost olj (9 mg/l) ter povišano KPK. Vzporedno zajeti vzorec na lovilniku olj v bližini odcepa regionalne ceste Postojna–Planina za Unec, je imel nižje vrednosti (slika 22.5). Cesta na tem odseku poteka po sorazmerno ravnem terenu.

Drugi vzorec je bil zajet 24. marca 1992, ko je po celomesečni suši padlo 25,8 mm dežja, nato pa je deževalo še prek dneva. Vzorec torej ni bil zajet ob začetnem spiranju cestišča, ko je voda najbolj onesnažena. Kljub temu je imel vzorec opazno povišano kalnost ter KPK in BPK_5 , manjša pa je bila vsebnost kloridov (34 mg Cl^{-1}) in sulfatov, kar se je odrazilo v sorazmerno nizki SEP. Nizka vsebnost kloridov in nizka SEP kažeta na to, da



Slika 22.4: Dotočni jašek lovilnika olj, kjer smo vzorčili dotočno vodo.



Slika 22.5: Lovilnik olj pri odcepu regionalne ceste Postojna–Planina za Unec, kjer poteka avtocesta po ravnem terenu.

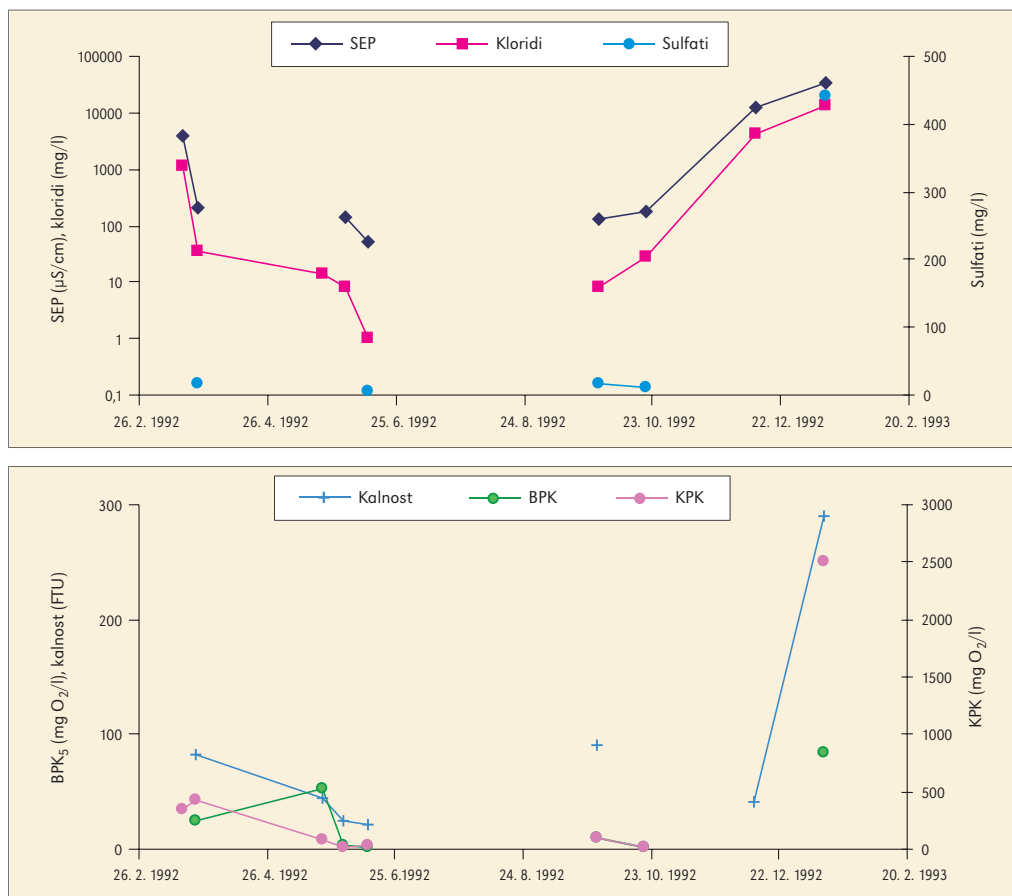
so predhodne padavine že dobro sprale cestišče po soljenju v zimski sezoni. Izračunano razmerje KPK/BPK_5 je bilo 17, kar kaže na velik delež težko razgradljivega onesnaženja v primerjavi z biološko razgradljivim onesnaženjem. Rezultati meritev in analiz so razvidni iz slike 22.6. Voda, ki je iz odtočnega jaška odtekala v kras je imela znatno višjo SEP in višjo koncentracijo kloridov, manjšo kalnost in KPK, kar nakazuje koncentriranje topnih komponent zaradi izhlapevanja ter usedanja trdnih delcev.

Četrty vzorec je bil zajet 1. junija 1992, ko 20 dni prej ni deževalo, ta dan pa je rosilo, tako je bil dotok v lovilnik olj zelo majhen. Analize so pokazale sorazmerno majhno onesnaženost vode, razmerje KPK/BPK_5 pa je bilo le 6,4, kar kaže na manjši delež teže razgradljivega onesnaženja v primerjavi z vzorcem konec marca. Podobno smo ugotovili tudi ob vzorčenju konec maja. Odtočna voda iz lovilnika ni imela bistveno drugačne se-

stave kot dotok. Izgleda, da ob skromnem rosenju ne prihaja do intenzivnejšega spiranja cestišča, razredčevalni učinek pa je tedaj minimalen.

Dne 12. junija 1992, ko je deževalo že več dni, je bil zajet vzorec ob največjem dotoku v lovilnik v okviru vseh vzorčenj. Zaradi spiranja onesnaženja s cestišča s predhodnim dežjem in vzorčenjem ob visokem dotoku z velikim razredčevalnim učinkom, je dosegal vzorec najnižje vrednosti parametrov v času vseh posameznih opazovanj, z izjemo KPK, ki je dosegal vrednost $28 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, razmerje KPK/BPK_5 pa vrednost 12. Čeprav sta bila dotok in odtok vode z lovilnika večja kot konec maja in v začetku junija, se sestava odtoka skoraj ni razlikovala od sestave dotoka, kar pomeni da ni prihajalo do spiranja v lovilniku akumuliranega sedimenta.

Vzorec je bil ponovno zajet 28. septembra 1992 po dolgi poletni suši z malo občasnih padavin. Vrednosti vseh parametrov so bile večje



Slika 22.6:
Rezultati prvih
meritev sestave
vode v letih
1992–93 v
lovilniku pri
Stari vasi.

kot v junijskem vzorcu. Prvič so bili zabeleženi povišani nitrati ($10 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$) in sulfati ($18 \text{ mg SO}_4^{2-} \text{ l}^{-1}$). Vzorcu smo prvič določili tudi vsebnost svinca ($0,22 \text{ mg l}^{-1}$) in kadmija ($0,34 \text{ mg l}^{-1}$). V tem času se je uporabljal poleg osvinčenega tudi že neosvinčeni bencin. Ob vzorčenju kljub dotoku ni bilo iztoka vode iz lovilnika, kar si razlagamo z upadom gladine pod rob odtočnega jaška zaradi intenzivnega izhlapevanja.

Naslednji vzorec je bil zajet po izdatnih padavinah (170 mm) 20. oktobra 1992, ko je bilo cestišče že dobro sprano. Vsi merjeni parametri so dosegali nizke vrednosti, z izjemo nekoliko povišane vsebnosti kloridov in SEP. Določili smo le $0,062 \text{ mg l}^{-1}$ svinca in $0,02 \text{ mg l}^{-1}$ kadmija. Odtočna voda se je minimalno prelivala in je imela v primerjavi z dotokom povečano vsebnost kloridov in svinca ter povečano SEP. Pri ostalih parametrih pa ni bilo opaznejših razlik.

V dneh od 6. do 9. decembra 1992 je tistega leta drugič padel sneg. Dne 10. decembra je bilo suho vreme, a se je v lovilnik še stekal staljeni sneg. Po pričakovanju smo določili visoko SEP ($12,7 \text{ mS cm}^{-1}$) in visoko vsebnost kloridov ($4,2 \text{ g l}^{-1}$), kot posledica soljenja cestišča. Podobno kot dotok je bil tudi iztok minimalen in se po sestavi skoraj ni razlikoval od dotoka.

Po enomesečnem sušnem obdobju je bil vzorec ponovno zajet 12. januarja 1993 v začetku počasnega dežja. Pri vseh parametrih so bile zabeležene največje vrednosti v okviru meritev. Kalnost je bila kar 290 FTU , SEP 33 mS cm^{-1} in vsebnost kloridov $13,9 \text{ g l}^{-1}$ ob visoki vsebnosti kalcija, kar odraža uporabo CaCl_2 za odmrzovanje cestišča. KPK je bila kar 2500 , BPK_5 pa $84 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$. Razmerje KPK/BPK_5 je bilo 30 , najvišje v okviru vseh meritev, kar pomeni velik del težko razgradljivega organskega onesnaženja v primerjavi z biološko razgradljivim onesnaženjem. Določenih je bilo tudi $16 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$, $440 \text{ mg SO}_4^{2-} \text{ l}^{-1}$ ter $0,016 \text{ mg l}^{-1}$ kadmija in $1,1 \text{ mg l}^{-1}$ svinca.

Iz navedenih meritev v danih razmerah vzorčenja je bilo ugotovljeno, da visoka SEP sovpada predvsem z visoko koncentracijo kloridov

zaradi soljenja cestišča pozimi, ki se začne lahko že oktobra in traja do aprila. Visoka vsebnost kloridov ni vplivala na rast trave na obrobju ceste, je pa povzročila sušenje borovih iglic. Kalnost je večja po daljših sušnih obdobjih, ko pride do spiranja trdnih delcev, ki so se nabrali na cestišču v sušnem obdobju. Večja kalnost sovpada z višjo KPK in BPK_5 , kar kaže na to, da so izvor tega onesnaženja trdni delci na cestišču. Vrednosti KPK in BPK_5 so pogosto presegle vrednosti, določene za izpuste iz čistilnih naprav v vodotoke ($\text{KPK} = 160$ in $\text{BPK}_5 = 30 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$), kjer pa prihaja še do razredčevanja, pri odtoku v Stari vasi pa je šlo za neposredni odtok v kras.

Sestava vode, ki priteka s cestišča, se zelo spreminja glede na padavinske razmere, intenzivnost padavin pomembno vpliva na razredčevanje spranih onesnaževalcev, kar se odrazi v različni koncentraciji onesnaževalcev. Najvišje vrednosti kontaminantov so bile izmerjene po daljših sušnih obdobjih ob začetnem spiranju cestišča s skromnimi padavinami.

Vzporedno opazovanje sestave odtočne vode iz lovilnika neposredno v kras je v razmerah umirjenega manjšega dotoka in s tem povezanega usedanja trdnih nečistoč v lovilniku pokazalo na boljšo kakovost odtoka v primerjavi z dotokom, medtem ko so se topne komponente zaradi izhlapevanja lahko močno obogatile, predvsem kloridi v zimskem obdobju. Vendar pa se je usedlo onesnaženje že ob prvem večjem intenzivnem nalivu ob velikem dotoku vode v lovilnik dobro premešalo in kot suspenzija odteklo v kras. Lovilnik olj je imel torej tudi vlogo usedalnika, kjer so se ob nizkih dotokih usedali trdni delci, za katere smo ugotovili, da so nosilci organskega onesnaženja, ki smo ga določevali s metodo KPK in BPK_5 . Zato smo upravljalcu tudi svetovali, da občasno, pred večjimi padavinami jeseni in spomladi, odstrani sediment, da ga intenzivne in izdatne padavine ne bi premešale in sprale v kras. Lovilnik bi v takih primerih lahko pomenil preprosto, a učinkovito mehansko čistilno napravo.

Opisani rezultati so pokazali smisel nadaljevanja raziskav tako, da bi s podrobnim zaporednim vzorčenjem vode s cestišča v različnih padavinskih dogodkih ugotovili, kako se spreminja kakovost v odvisnosti od količine padavin oz. da bi ugotovili, kolikšne padavine so potrebne, da se s cestišča spere največji del onesnaženja.

SESTAVA DOTOKA IN IZTOKA V POSAMEZNIH PADAVINSKIH DOGODKIH

Odločili smo se, da v naših nadaljnjih raziskavah podrobneje preučimo dinamiko spreminjanja sestave voda, ki odteka z avtoceste v času različnih padavinskih dogodkov; ob naraščajočem in kasneje ob upadajočem dotoku vode s cestišča v lovilnik, ki je posledica enkratnih različno izdatnih in intenzivnih padavin. Za to spremljanje je bilo treba pogosto vzorčiti dotok in odtok v lovilniku, kar se je običajno začelo takoj po začetku padavin in nadaljevalo v različnih krajših časovnih intervalih, ko smo ročno zajeli dva do štiri vzorce. Tako smo analizirali sedem vodnih valov (Kogovšek 1995c). Vse meritve so potekale z istimi metodami kot ob prvih opazovanjih v letu

1992 in delno v letu 1993 in na istem odseku avtoceste pri Postojni v lovilniku olj pri Stari vasi.

Kratek pregled meritev 18 vzorcev po posameznih parametrih je razviden iz tabel 22.1 in 22.2. Opazne so znatno višje vrednosti SEP, vsebnosti kloridov ter kalnosti in KPK v zimskem obdobju v primerjavi z meritvami v poletnem času, ko pa so opazno višje vrednosti svinca in kadmija.

Prvi vodni val 24. marca 1993

Prvi vodni val smo spremljali 24. marca 1993 po dolgi zimski suši, ko je bil pretežen del decembra 1992 brez padavin, januarja, februarja in v začetku marca 1993 pa jih je bilo zelo malo (18,5 mm). Po treh sušnih mesecih je začelo 24. marca 1993 ob 7.00 deževati, dež pa je čez dan pojenjal in prešel v pršenje.

Prvi vzorec smo zajeli ob 7.15, ko je bil dotok v lovilnik največji. Izmerili smo zelo visoko kalnost (464 FTU), a vzporedno visoko KPK (340 mgO₂ l⁻¹) ter nižjo BPK₅, kar vse kaže na spiranje akumuliranega onesnaženja na cestišču v daljšem obdobju, ko ni bilo spiranja. Visoka vrednost SEP, 3500 μS cm⁻¹, je bila posledica predvsem visoke vsebnosti kloridov (1200 mg l⁻¹) zaradi soljenja

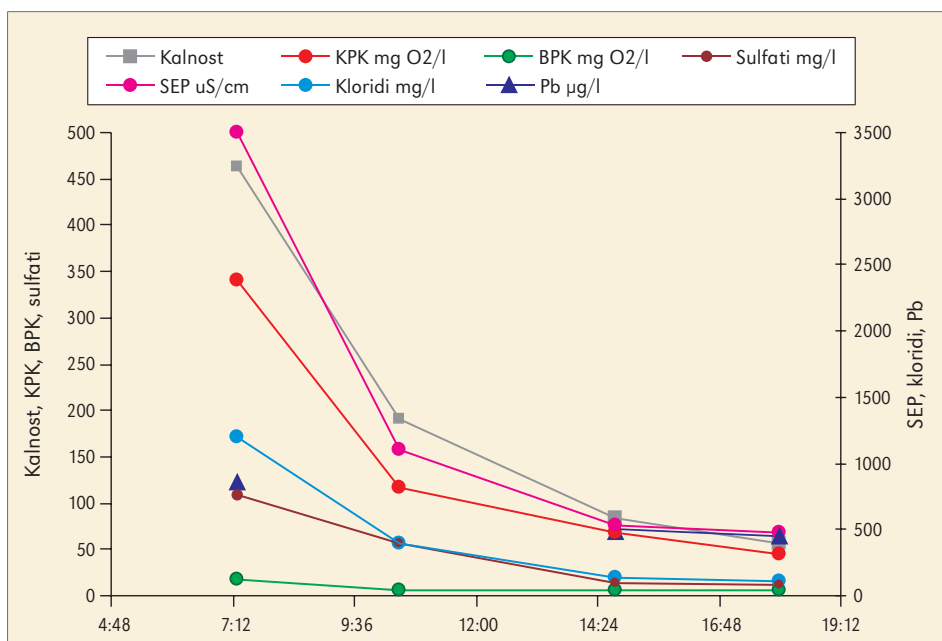
Tabela 22.1: Rezultati meritev v zimskem času.

	T	SEP	Kalnost	KPK	BPK ₅	Kloridi	Sulfati	Pb	Cd	Nitrati
	°C	μS cm ⁻¹	FTU	mgO ₂ l ⁻¹		mg l ⁻¹		μg l ⁻¹		mg l ⁻¹
Maks. v	9.2	7810	780	480	45	1980	158	1790	76	19
Min. v.	4.5	173	57	33	5	30	3	180	11	3
Povp. v.	6.7	1920	285	150	17	520	47	680	50	8

T – temperatura, SEP – spec.el.prevodnost, kalnost, KPK – kemijska potreba po kisiku, BPK₅ – biokemijska potreba po kisiku, Pb – svinec, Cd – kadmij.

Tabela 22.2: Rezultati meritev v poletnem času.

	T	SEP	Kalnost	KPK	BPK ₅	Kloridi	Sulfati	Pb	Cd	Nitrati
	°C	μS cm ⁻¹	FTU	mgO ₂ l ⁻¹		mg l ⁻¹		μg l ⁻¹		mg l ⁻¹
Maks. v	11.7	216	93	274	70	35	39	11100	250	10
Min. v.	18.6	50	23	19	4	7	11	2280	65	2
Povp. v.	15.9	126	50	113	21	18	23	3750	167	5

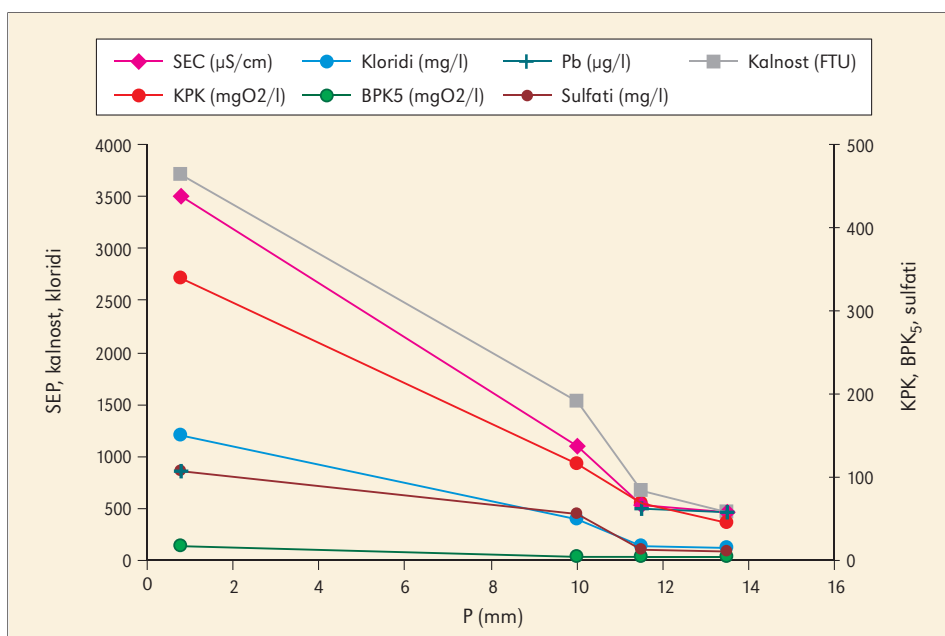


Slika 22.7: Časovni potek sestave dotoka v vodnem valu 24. marca 1993.

ceste, pa tudi višje vsebnosti sulfatov (108 mg l^{-1}). Sorazmerno visoka je bila tudi vsebnost svinca. To začetno stanje se je med nadaljnjimi vzorčenji močno spreminjalo (slika 22.7). Ob počasnem upadu dotoka vode v lovilnik je razviden vzporeden začetni izrazit in kasnejši umirjen upad vseh parametrov. Drugi vzorec, ki je bil zajet tri ure po prvem vzorcu ko je padlo 10 mm dežja, še vedno priča o precej onesnaženi vodi (slika 22.8). Poleg

visoke kalnosti, SEP in vsebnosti kloridov ima tudi povišano KPK.

Po sorazmerno dobrem in dolgem spiranju cestišča (skupaj je padlo 32 mm dežja) ugotavljamo, da je po enajstih urah (četrti vzorec) ni pritekla v lovilnik čista meteorna voda, kar se je kazalo predvsem v kalnosti (57 FTU), KPK ($44 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$) in vsebnosti svinca (460 μg l^{-1}). Kloridov je bilo še 115 mg l^{-1} , SEP pa je bila 470 μS cm^{-1} .



Slika 22.8: Sestava dotoka v vodnem valu 24. marca 1993 v odvisnosti od količine padlih padavin.

Drugi vodni val 3. junija 1993

April in maj 1993 sta bila sorazmerno suha, saj je skupaj padlo le 97 mm dežja. Dobra dva tedna preden smo 3. junija začeli opazovati drugi vodni val, ni bilo padavin. Na dan opazovanja je padlo 30,5 mm dežja. Najintenzivneje je deževalo od 7.00 do 8.00, ko je padlo 15,5 mm dežja, od 8.00 do 9.00 je padlo le 3 mm dežja, nato pa do 14.00 v presledkih le še 1 mm.

Prvo vzorčenje ob 8.30, ob največjem dotoku vode v lovilnik, je pokazalo sorazmerno nizko vrednost SEP in kloridov, kar pomeni, da je bila sol po zimskem soljenju že sprana. Tudi kalnost je bila sorazmerno nizka (93 FTU), izstopajo pa visoka BPK₅ (70 mgO₂ l⁻¹), sorazmerno visoka KPK (220 mgO₂ l⁻¹), pa tudi visoka vsebnost svinca in kadmija. Ob naslednjem vzorčenju ob 9.15 je bil dotok vode več kot dvakrat manjši in smo izmerili opazno nižje vrednosti vseh merjenih parametrov, razen svinca. Očitno je prvi intenzivni dež dobro spral večji del akumuliranega onesnaženja s cestišča.

Sledilo je tretje vzorčenje čez dobro uro, ko je bil dotok minimalen, nekako štirikrat manjši kot pri drugem vzorčenju. Iz slike 22.9 je razviden manjši porast skoraj vseh merjenih parametrov, kar si razlagamo s spiranjem še vedno prisotnega onesnaženja na cestišču, predvsem pa z manjšim razredčevanjem v primerjavi z drugim vzorcem.

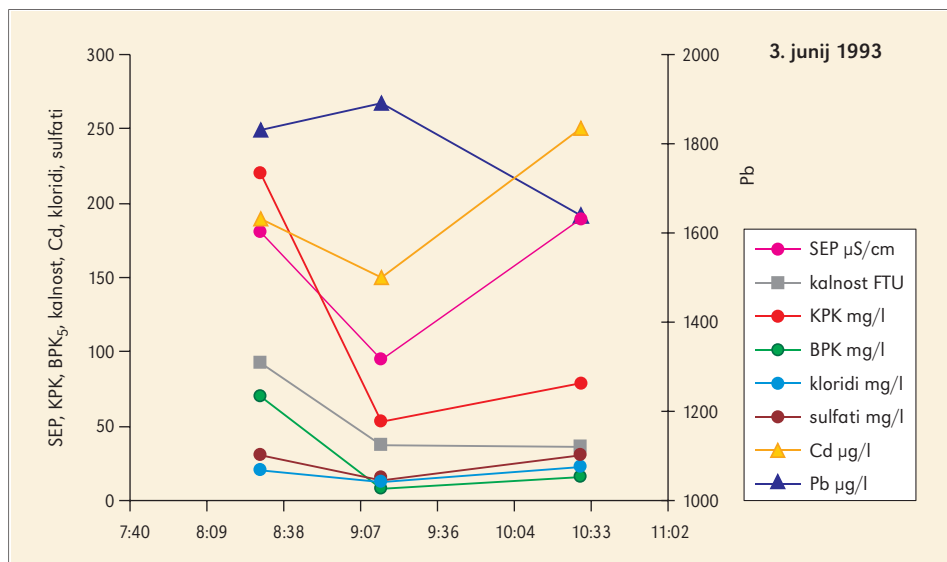
Izjema sta le kalnost, ki je ostala konstantna, in vsebnost svinca, ki je nekoliko upadla.

V času med prvim in drugim vzorčenjem (45-minutni interval) so vrednosti vseh parametrov, razen svinca, upadle. Ker je najintenzivneje deževalo od 7.00 do 8.00 zjutraj, prvi vzorec pa je bil zajet ob 8.30, je verjetno kar nekaj vode odteklo že pred prvim vzorčenjem, po izkušnjah pa je prav prvi dotok v lovilnik najbolj onesnažen.

Na osnovi izmerjenih vrednosti oz. ocenjenih povprečnih vrednosti in količine padavin, ki so padle na opazovani odsek ceste v času prvega intenzivnega dežja (15 mm) in ob oceni evaporacije na nekako 30 %, smo ocenili, da je priteklo v lovilnik blizu 250 m³ vode. Ta je sprala s cestišča prek pol kilograma svinca in 10-krat manj kadmija. Organsko onesnaženje je bilo ekvivalentno 35 kg O₂ (KPK), biološko razgradljivi del (BPK₅) pa 14 kg O₂. To je le groba ocena odtekega onesnaženja, saj bi za popolnejši izračun potrebovali podrobnejša opazovanja, predvsem pa meritve pretoka. Izbrani val za oceno količine onesnaženja je bil v poletnem času, ko smo beležili v splošnem manjše onesnaženje kot pa v zimskem času.

Tretji vodni val 6. julija 1993

V drugi in tretji dekadi junija je deževalo deset dni in padlo 115 mm dežja. Sledil je teden brez padavin. 6. julija je okoli 13.00 pol ure moč-



Slika 22.9:
Opazovani vodni val
3. junija 1993.

no deževalo, in nato do večera bolj zmerno. Skupno je padlo 37 mm padavin. Glede na količino padavin je ta vodni val primerljiv z drugim vodnim valom, le da so bile padavine intenzivnejše, smo zajeli začetno močno naraščanje pretoka.

Ob prvem vzorčenju ob 13.55 je bil dotok vode v lovilnik enak kot v začetku drugega vodnega vala. Vrednosti merjenih parametrov so bile le nekoliko višje, z izjemo svinca, kjer smo zabeležili maksimalno vrednost v okviru vseh dosedanjih meritev odtočne vode z avtoceste (11.1 mg l^{-1}). Pri drugem vzorčenju, deset minut za prvim, je bil pretok znatno višji in pri vseh parametrih smo zabeležili znižanje merjenih parametrov na polovične vrednosti, vsebnosti svinca pa na petino, kar je bila posledica razredčevanja. Ob tretjem zajemu, ki je sledil po nadaljnjih desetih minutah, pa je bil pretok že tolikšen, da je prišlo zaradi premajhnega odtoka iz lovilnika do zastajanja oz. naraščanja vode v celotnem lovilniku, kar je onemogočilo nadaljnje zajemanje dotoka v lovilnik. Spremljanje pretoka v tem valu je pokazalo, kako močan je lahko dotok voda s cestišča ob izdatnih, intenzivnih padavinah, kar je osnova za načrtovanje ustrezno velikih lovilnikov. Intenzivnost in izdatnost padavin na nekem območju narekujejo velikost zadrževalnih objektov oz. dolžino ceste, s katere priteka meteorna voda v lovilnik.

Četrty vodni val 29. septembra 1993

Po 3. opazovanem vodnem valu je padlo v juliju in avgustu 92 mm dežja. V septembru je nato padlo kar 330 mm dežja, od tega kar 47 mm dva dni pred opazovanim valom. Cestišče je bilo res dobro sprano in pričakovali smo, da bo s cestišča pritekala v lovilnik sorazmerno čista voda.

Dne 29. septembra je od 7.00 do 15.00 padlo 12 mm dežja. Prvi vzorec smo zajeli ob minimalnem dotoku v lovilnik. Zabeležili smo najnižje začetne vrednosti parametrov v okviru vseh opazovanih valov. SEP je dosegala $158 \mu\text{S cm}^{-1}$, kalnost 64 FTU, KPK 44 in BPK_5 $7.3 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$. Voda je vsebovala tudi 24 mg l^{-1} sulfatov. Pri drugem

vzorčenju čez dve uri in pol, ko je bil pretok kar nekajkrat večji, smo zabeležili od dva- do trikrat nižje vrednosti merjenih parametrov. Ta vodni val je ponovno pokazal, da se s cestišča, kljub prejšnjemu daljšemu in dobremu spiranju, odteka še relativno onesnažene vode, kot posledica stalnega prometa.

Pri odtoku teh voda v vodotok, kjer prihaja še do razredčevalnih efektov, bi po veljavni zakonodaji tako onesnažene vode lahko spuščali v vodotok. Vendar pa gre v našem primeru za neposredni odtok v kras brez predhodnih razredčevalnih učinkov, in to na vodozbirnem območju zajetega izvira Malenščice, ki leži 140 metrov niže in le dva kilometra stran od avtoceste; v drugem varstvenem območju izvira (Odlok o zaščitnih območjih vodnega vira Malni pri Planini pri Raketu). Le nekaj kilometrov stran na območju Postojnske jame smo ugotavljali, da preide voda 100 metrov debele apnenice lahko tudi že v dobri uri (Kogovšek 1995a; Kogovšek, Šebela 2004), tako da tudi na območju avtoceste lahko računamo s podobno prepustnostjo kamnin in hitrim pretakanjem, kar pa bi pokazala le podrobnejša sledenja z območja avtoceste.

Peti vodni val od 9. do 15. decembra 1993

V tem primeru smo opazovali spreminjanje sestave vode v času več dni, ko so padle sorazmerno izdatne padavine, vendar zelo neenakomerno. V oktobru in novembru je padlo 517 mm dežja. Začetek decembra je bil suh, 9. decembra pa so padle minimalne padavine (1 mm), vendar pa je bil dotok v lovilnik le nekoliko manjši kot v četrtem vodnem valu. Verjetno je del vode prispeval tudi sneg, ki se je talil ob robu ceste. 11. in 13. decembra je padlo skupaj 22 mm dežja, štirinajstega decembra pa še 53 mm. Sestava prvega vzorca (9. decembra) je bila primerljiva s prvimi vzorci v drugem in tretjem vodnem valu, z izjemo kloridov in SEP, ki sta dosegala višje vrednosti. Ob drugem vzorčenju, 14. decembra, je bil dotok opazno višji kot ob prvem, vrednosti vseh merjenih parametrov z izjemo BPK_5 pa so znatno

upadle. Prek dneva je izdatno deževalo, dež pa se je nadaljeval še 15. decembra. Istega dne je bil dotok ob tretjem vzorčenju povišan. Zabeležili smo znatno zmanjšanje SEP in vsebnosti kloridov (4-krat), manj pa kalnosti ter vsebnosti sulfatov in svinca. KPK je celo nekoliko porasla, BPK₅ pa le neznatno upadla. Povprečne vrednosti so bile nekoliko nižje od povprečnih vrednosti za zimsko obdobje, z izjemo BPK₅. Očitno je prišlo do glavnega odtoka in spiranja že med vzorčevanji, saj so intervali med vzorci tokrat trajali celo dan in več. Vzorci so tako odraz stanja po spiranju cestišča.

Šesti vodni val 26. januarja 1994

Po vzorčenju petega vodnega vala je v decembru padlo še 88 mm dežja, v januarju 1994 pa 140 mm. Teden dni pred vzorčenji ni bilo padavin, 26. januarja pa je od noči do 14.00 padlo 4,2 mm dežja.

Te male padavine so slabo spirale cestišče, hkrati pa ni bilo večjega razredčevanja onesnaženja, kar se je odrazilo v sorazmerno visokih izhodnih vrednostih merjenih parametrov ob prvem vzorčenju. Dotok vode je bil ob drugem vzorčenju višji in izmerjene vrednosti vseh parametrov nižje. KPK je upadla trikrat, SEP in vsebnost kloridov 2,5-krat; podobno tudi sulfati, manj pa BPK₅, kalnost, vsebnost svinca in kadmija. Povprečne vrednosti vseh parametrov, razen BPK₅ in vsebnosti svinca, so močno presegale povprečne zimske vrednosti.

Sedmi vodni val 24. februarja 1994

Februarja 1994 so padle manjše količine padavin, dva tedna pred opazovanim sedmim valom pa ni deževalo. Dne 23. februarja je začelo deževati kasno popoldne in se nadaljevalo še ves dan.

Prvi vzorec smo zajeli naslednji dan zjutraj ob sorazmerno velikem dotoku v lovilnik. Zabeležili smo sorazmerno nizke vrednosti vseh parametrov z izjemo svinca. Očitno je prišlo do odtoka prvega onesnaženja že pred našim vzorčenjem. Ob drugem vzorčenju čez šest ur dotok vode v lovilnik ni bistveno upadel, večurno dobro spiranje pa se

je odrazilo v do trikrat nižjih vrednostih merjenih parametrov z izjemo sulfatov in kloridov, ki so bili konstantno zelo nizki (le 3 mg l⁻¹). Vsebnost kloridov in SEP je bila le nekoliko povečana, kar kaže na to, da je soljenje v zimskem času zelo odvisno od vsakokratnih razmer.

SESTAVA VODE, KI IZ LOVILNIKA OLJ ODTEKA V KRAS

Spremljanje sestave vode, ki odteka iz lovilnika olj, je v zimskih mesecih pokazalo v primerjavi s sestavo dotoka do sedemkrat povečane vrednosti SEP in vsebnosti kloridov ter do dvakrat povečane koncentracije sulfatov. To pomeni, da se v sušnem obdobju brez padavin topne komponente v lovilniku obogatijo predvsem zaradi izhlapevanja vode.

Nižje vrednosti v odtoku glede na dotok pa smo izmerili pri kalnosti in KPK, kar je posledica usedanja trdnih delcev v lovilniku v času manjših dotokov, ko ne prihaja do premešanja usedline. Lovilnik je imel tako tudi vlogo usedalnika. Do intenzivnejšega mešanja usedline pa pride ob večjih povečanjih dotoka, tako da usedlina tedaj kot suspenzija odteka v kras. To se manj ali bolj izrazito pokaže v povečanih vrednostih skoraj vseh parametrov odtoka v primerjavi z dotokom, predvsem pa v povečanju kalnosti, KPK, vsebnosti kloridov, sulfatov in svinca. Tako se je zgodilo po dežju 24. marca 1993, kar je razvidno iz slike 22.10. Vsi parametri so dosegali višje vrednosti na odtoku v primerjavi z dotokom, le ob prvem vzorčenju sta bili kalnost in KPK višji na dotoku.

KAJ IZHAJA IZ DOSEDANJIH MERITEV

Iz naštetih podrobnejših raziskav odtočne vode z avtocestnega odseka pri Postojni v letih 1993 in 1994 izhaja, da imajo le-te v zimskem obdobju opazno povišane koncentracije kloridov in sulfatov, kar se vzporedno odrazi tudi v SEP ter

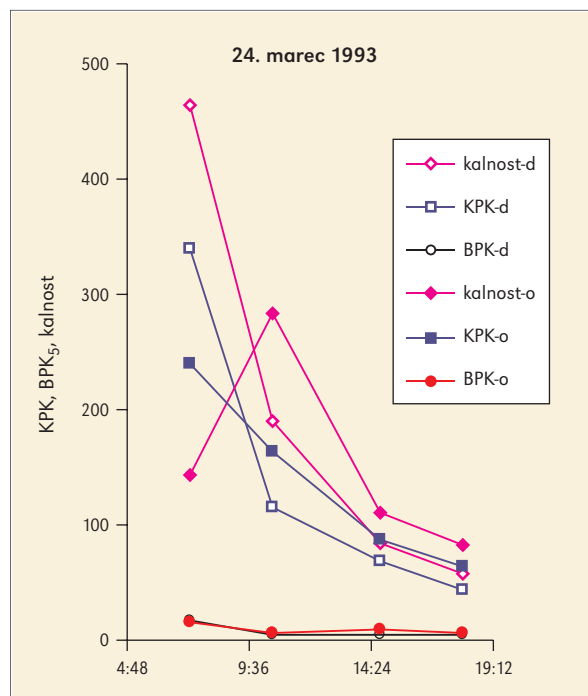
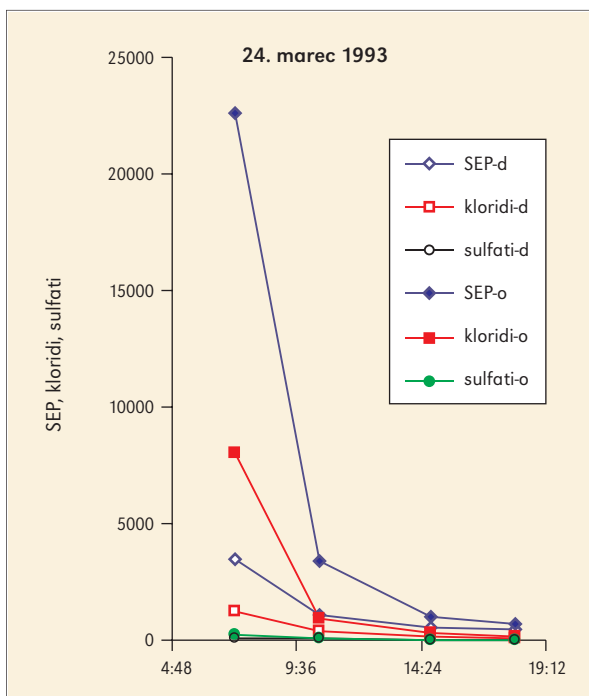
povišani kalnosti in KPK v primerjavi s poletnim časom, ko smo ugotavljali predvsem povišane vsebnosti svinca in kadmija. Ob zadostni količini padavin v posameznem nalivu se cestišče postopoma spira, kar se kaže v vse boljši kvaliteti zaporednih vzorcev. To pomeni, da največja količina onesnaženja odteka ob začetnem spiranju, pri čemer je pomembna tudi intenzivnost padavin. Vendar pa vrednosti parametrov tudi po močnem spiranju cestišča po izdatnih in intenzivnih padavinah ne padejo pod določeno mejo, česar tudi ni mogoče pričakovati, saj stalni promet pomeni zvezno onesnaževanje. Vzorci so pogosto presegali največje dovoljene koncentracije (MDK) za izpust v okolje iz čistilnih naprav (Ur. l. RS, 35/1996). Iztok iz lovilnika neposredno v kras je bil ob majhnih dotokih v lovilnik običajno boljše kakovosti kot dotok, ob velikih dotokih pa znatno slabše kakovosti, saj se je spirala tudi v lovilniku zbrana usedlina, na katero je vezana večina organskega onesnaženja in kovine.

Tudi Pintar in sodelavci (Pintar idr. 1998) so na osnovi v letih 1997 in 1998 opravljenih me-

ritev ugotavljali, da intenzivnost in količina padavin vpliva na koncentracije onesnaževalcev v vodi, ki doteka v betonski usedalnik na odseku avtoceste Čebulovica–Sežana pri divaškem pokopališču. Kot najpomembnejši onesnaževalci so se ponovno pokazali svinec, celokupni organski ogljik (TOC) ter suspendirane snovi, na katere je vezana večina kovin. Izmerjene vrednosti so le občasno presegale dovoljeno mejo za izpuste odpadnih voda v odprte vodotoke.

Kompare s sodelavci (2002a) podajajo kasnejše meritve sestave vode na istem usedalniku. V deževnem dogodku 4. in 5. oktobra 2001 so bili zajeti 20-minutni vzorci. Ugotovljeno je bilo, da niti dotok niti odtok z objekta nista presegala MDK, vendar da za presojo učinkovitosti zaščite okolja ne zadoščajo le koncentracije, ampak količine snovi, ki odtekaajo v kras, ki so odvisne tudi od količin vode.

Primerjava vseh opravljenih meritev je pokazala, da je obremenjenost posameznih odsekov avtocest lahko različna in da pravo sliko podajajo le pogoste in sistematične meritve.



Slika 22.10: Sestava dotoka (označeno z d) in odtoka (o) po posameznih parametrih v vodnem valu 24. marca 1993.

SKLEP

Večina onesnaženja zaradi prometa v rednih razmerah ostaja na cestišču. Padavine ga spirajo in tako na kraškem svetu odteka z lokalnih cest neposredno in razpršeno v bližnje okolje, z avtocest pa točkovno. Z avtoceste Ljubljana–Razdrto odteka po kanalih prek lovilnikov olj. Predvidevali smo, da ti odtoki lahko ogrožajo kakovost pitne vode, če so v neposredni bližini kraških izvirov, kot so na odseku pri Postojni v neposrednem zaledju izvira Malenščice na Planinskem polju.

Prve analize voda z avtoceste Ljubljana–Razdrto in kasnejše sistematične meritve v času padavinskih dogodkov (Kogovšek 1993, 1995c) so pokazale, kako je voda z avtoceste lahko onesnažena in da pogosto presega mejne dovoljene vrednosti (MDK) za izpuste v okolje iz čistilnih naprav. To je vplivalo na gradnjo zadrževalnikov in čistilnih objektov ob kasnejši gradnji novih avtocest v Sloveniji. Tako je nastalo več generacij teh objektov, ki jih izboljšujejo in dopolnjujejo. Kasnejše analize voda s cestišča na nekaterih odsekih teh novozgrajenih avtocest so pokazale le občasno prekoračitve MDK (Pintar idr. 1998), meritve sestave v času deževnega dogodka oktobra 2001 pa celo niso bile zabeležene prekoračitve (Kompare idr. 2002a). Primerjava vseh teh opravljenih meritev je pokazala, da je obremenjenost posameznih odsekov avtocest lahko različna in da pravo sliko lahko podajo le pogoste in sistematične meritve.

Spoznanje, da na območjih z večjo letno količino padavin prihaja do večjega razredčevanja onesnažene vode s cestišč, nakazuje, da koncentracije niso zadostno merilo za onesnaženje, ki s cestišč avtocest odteka v okolje. Bolj smiselni so izračuni količin vnosa posameznih kontaminantov, ki so zmnožek koncentracij in količin vode, ki odteka s cestišč. Posebej še, če gre za kraški svet, kjer gre za neposreden odtok brez predhodnega razredčevanja, kot je pri izpustih v vodotoke. Če pa potekajo ceste na krasu še v neposredni bliži-

ni zajetih kraških izvirov za pitno vodo, kot npr. Malenščica, ki izvira le 2 kilometra stran od avtoceste in 140 metrov niže, to pomeni, da se po prepuščajih vodnih poteh lahko onesnaženje prenaša do izvira zelo hitro, brez mogočega čiščenja in večjega razredčevanja. Na območju Postojnske jame smo namreč s sledilnimi poskusi ugotovili, da 100 metrov debele apnenice voda lahko preide po tistih najprepuščajih vodnih poteh že v 75 minutah (Kogovšek, Šebela 2004) in da je hitrost pretakanja kar 80 metrov na uro.

Ta spoznanja narekujejo, da se na območjih zaledij kraških izvirov, ki so zajeti za oskrbo prebivalstva s pitno vodo, prestrežejo in očistijo vsaj začetne količine najbolj onesnažene odtočne vode s cestišč. Tudi že leta 1972 zgrajeni lovilniki olj na avtocesti Ljubljana–Razdrto bi lahko služili kot usedalniki za odtočne vode z avtoceste, le da bi bilo treba redno prazniti usedlino, saj smo ugotovili, da so prav trdni delci tisti, na katere je vezano največje onesnaženje (KPK, BPK₅, svinec in kadmij in verjetno še druge kovine). Vendar od leta 1993 na tem odseku onesnažena voda z avtoceste pri Postojni še vedno teče neposredno v kras in tako še naprej zelo verjetno onesnažuje izvir Malenščice. Kovine, ki smo jih določevali v odtoku s cestišča avtoceste, so namreč prisotne tudi v sedimentu izvira. Ker je mogoč vnos teh kovin tudi iz drugih virov, bi le ustrezen sledilni poskus pokazal dejansko stanje.

V takih primerih, kot je opisani primer izvira Malenščice in avtoceste, ki preči njegovo zaledje v neposredni bližini izvira, bi bilo treba podrobneje preučiti, kam in kako odteka voda, in ali morda lahko pride do ogrožanja kakovosti kakega zajetega kraškega izvira. To je pomembno zaradi onesnaževanja v rednih razmerah kot tudi zaradi morebitnih izlitij nevarnih snovi, do katerih lahko pride ob prometnih nesrečah, kot je bilo izlitje plinskega olja pri Obrovu, ko je bil onesnažen najpomembnejši primorski vodni vir – Rižana.

LITERATURA

- Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU.
- BAVDEK, A., 1998: Poročilo o arheoloških izkopavanjih vrtač na trasi AC Divača–Kozina. 39 str., 8 prilog, Notranjski muzej Postojna, Postojna.
- BAVDEK, A., 2003a: AC Divača–Kozina, končno poročilo o obdelavi arheološkega gradiva z arheoloških izkopavanj vrtač. 111 str., Notranjski muzej Postojna, Postojna.
- BAVDEK, A., 2003b: Vrtače. – V: Zemlja pod vašimi nogami, Vodnik po najdiščih, Zbirka DEKD, 285–287.
- BAVDEK, A., KRIŽMAN, P., 2000: Delno poročilo – obdelava arheološkega gradiva, pridobljenega pri arheoloških izkopavanjih vrtač na trasi AC Divača–Kozina. 28 str., Notranjski muzej Postojna, Postojna.
- BEGUŠ, T., KOČEVAR, M., PRESTOR, J., SOTLAR, K., 2003: Tunnels in karst and flysch in Slovenia. RMZ – Materials and Geoenvironment, Vol. 50, No. 1, 17–20, Ljubljana.
- BOSÁK P., FORD D. C., GLAZEK J., 1989: Terminology. – V: Bosák, P., Ford, D. C., Glazek, J., Horaček, I. (ur.): Paleokarst. A Systematic and Regional Review, 25–32. Elsevier Academia. Amsterdam, Praha.
- BOSÁK, P., KNEZ, M., OTRUBOVA, D., PRUNER, P., SLABE, T., VENHODOVA, D., 2000: Paleomagnetic Research of Fossil Cave in the Highway Construction at Kozina (Slovenia). Acta carsologica, 29/2, 15–33, Ljubljana.
- BOSÁK, P., MIHEVC, A., PRUNER, P., (ur.), 1999a: Cave fill in the Črnotiče Quarry, SW Slovenia: palaeomagnetic, mineralogical and geochemical study (Preliminary Report). – MS, Geol. ust. AV ČR and Karst Res. Inst. SAZU, 108 str., Praha – Postojna.
- BOSÁK, P., MIHEVC, A., PRUNER, P., MELKA, K., VENHODOVA, D., LANGROVA, A., 1999b: Cave fill in the Črnotiče Quarry, SW Slovenia: Palaeomagnetic, mineralogical and geochemical study. Acta Carsologica, 28/2, 2, 15–39. Ljubljana.
- BOSÁK, P., PRUNER, P., MIHEVC, A., ZUPAN HAJNA, N., 2000: Magnetostratigraphy and unconformities in cave sediments: case study from the Classical Karst, SW Slovenia. Geologos, 5, 13–30, Poznan.
- BOSÁK, P., PRUNER, P., ZUPAN HAJNA, N., 1998a: Palaeomagnetic research of cave sediments in SW Slovenia. MS, Geol. list. Akad. Ved Čes. rep. and Karst Res. Inst. Slovenian Acad. Sci. Arts, 144 str., Praha – Postojna.
- BOSÁK, P., PRUNER, P., ZUPAN HAJNA, N., 1998b: Palaeomagnetic research of cave sediments in SW Slovenia. – 6th Int. Karstol. School Classical Karst, Alpine Caves, Guide–Booklet for the Excursions and Abstracts of Papers, 35–37. Speleol. Assoc. Slovenia and Karst Res. Inst. SAZU, Postojna.
- BOSÁK, P., PRUNER, P., ZUPAN HAJNA, N., 1998c: Paleomagnetic research of cave sediments in SW Slovenia. Acta Carsologica, XXVII/2, 151–179, Ljubljana.
- BRODAR, S., 1958: Črni kal, nova paleolitska postaja v Slovenskem primorju. Razprave 4. razreda SAZU, 269–364, Ljubljana.
- BUSER, S., 1968: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Gorica. Zvezni geološki zavod Beograd, Beograd.
- BUSER, S., 1969: Osnovna geološka karta SFRJ 1 :

- 100.000, list Ribnica. Zvezni geološki zavod Beograd, Beograd.
- BUSER, S., 1973: Tolmač lista Gorica. Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod Beograd, 50 str., Beograd.
- BUSER, S., 1976: Tektonska zgradba južnozahodne Slovenije. 8. jugoslovanski geološki kongres, Bled 1.–5. oktober 1974, 3, 45–58, Ljubljana.
- BUSER, S., GRAD, K., PLENIČAR, M., 1967: Osnovna geološka karta SFRJ Postojna 1:100.000. Zvezni geološki zavod Beograd, Beograd.
- CANDE, S. C., KENT, D. V., 1995: Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research*, 100, B4, 6093–6095.
- CLAUZON, G., 1973: The eustatic hypothesis and pre-Pliocene cutting of the Rhone valley. *Init. Rep. Deep Sea Drilling Proj.*, 13, 1251–1256.
- CLAUZON, G., 1980: Le canyon Messinien de la Durance (Provence, France): une preuve paléogéographique de bassin profond de dessiccation. – *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 29, 1/2, 15–40.
- CLAUZON, G., PUIG, J. M., GUENDON, J. L., 1997. Géomorphologie quantitative et paléogéomorphologie dans les karsts du domaine Méditerranéen. – *Livret-Guide de l'Excursion „Manifestations karstiques induites par le creusement messinien: exemples rhodano-duranciens“*. CNRS (URA 903) – Université de Provence, Aix-Marseille.
- CUCCHI, F., FORTI, F., ULCIGRAI, F., 1994: Valori per dissoluzione di superfici carsiche. *Acta carsologica* 23, 55–61, Ljubljana.
- ČAR, J., 1980: Šmihelska tektonska krpa. *Geologija* 23, 2, 279–283, Ljubljana.
- ČAR, J., 1982: Geološka zgradba požiralnega obrobja Planinskega polja. *Acta carsologica* 10, 1981, 78–105, Ljubljana.
- DEBELJAK, I., KOŠIR, A., OTONIČAR, B., 1999: A preliminary note on dinosaurs and non-dinosaurian reptiles from the Upper Cretaceous carbonate platform succession at Kozina (SW Slovenia) = Preliminarno obvestilo o dinozavrih in drugih reptilih iz zaporedja zgornjekrednih platformnih karbonatov pri Kozini (JZ Slovenija). *Razpr. - Slov. akad. znan. umet., Razr. naravosl. vede* 40, 3-25, Ljubljana.
- D'AMBROSI, C., LEGNANI F., 1965: Sul problema delle sabbie silicee del carso di Trieste. *Boll. Della Società Adriatica di Scienze*. LIII, 3, Trieste.
- DULAR, A., 1993a: Geološko-geomehansko poročilo za izvedbeni projekt trase AC na odseku Čebulovica–Divača in za razcep Divača. *Elaborat ZRMK*, 14 str., Ljubljana.
- DULAR, A., 1993b: Geološko-geomehansko poročilo za izvedbeni projekt trase AC na odseku Divača–Dane. *Elaborat ZRMK*, 12 str., Ljubljana.
- DURN, G., ALJINOVIĆ, D., 1995: Teška mineralna frakcija u terra rossama istarskog poluotoka, Hrvatska. *Abstracts, First Croatian Geological Congress*, 31, Zagreb.
- FISHER R., 1953: Dispersion on a sphere. *Proc. Roy. Soc, A* 217, 295–305, London.
- GAMS, I., 1959: Problematika regionalizacije Dolenjske in Bele krajine. *Geografski vestnik* 31, 79–95, Ljubljana.
- GAMS, I., 1962a: Morfološki pregled novomeških pokrajin. *Dolenjska zemlja in ljudje, Dolenjska založba*, 31–38, Novo mesto.
- GAMS, I., 1962b: Meritve korozijske intenzitete v Sloveniji in njihov pomen za geomorfologijo. *Geografski vestnik* 34, 3–20, Ljubljana.
- GAMS, I., 1962c: Nekateri značilnosti Krke in njenih pritokov. *Dolenjska zemlja in ljudje*, 92–110, Novo mesto.
- GAMS, I., 1965a: H kvartarni geomorfogenezi ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerkniškim poljem. *Geografski vestnik* 37, 60–101, Ljubljana.
- GAMS, I., 1965b: Aperçu sur l'hydrologie du karst slovène et sur ses communications souterraines. *Naše jame* 7, 51–60, Ljubljana.
- GAMS, I., 1971: Podtalne kraške oblike. *Geografski vestnik* 43, 27–45, Ljubljana.
- GAMS, I., 1974: *Kras*. Slovenska matica, 360 str., Ljubljana.
- GAMS, I., 1986: Razvoj reliefa na zahodnem Dolenjskem (s posebnim ozirom na poplave). *Geografski zbornik* 26, 63–96, Ljubljana.

- GAMS, I., 1987: Razvoj reliefa na zahodnem Dolenjskem. Geografski zbornik 26, 65-96, Ljubljana.
- GAMS, I., 1990: Depth of Rillenkarrren as a measure of deforestation age. *Studia carsologica* 2, 29-36, Brno.
- GAMS, I., 1991: Sistemi prilagoditve primorskega dinarskega krasa na kmetijsko rabo tal. Geografski zbornik 31, 5-106, Ljubljana.
- GAMS, I., 1998: Kras. – V: Gams, I., Vrišer, I. (ur.), Geografija Slovenije. Slovenska matica, 55-90, Ljubljana.
- GAMS, I., 2004: Kras v Sloveniji v prostoru in času. Založba ZRC, 515 str., Ljubljana.
- GENORIO, M., 1999: Varovanje kraških vodnih virov, primer havarije plinskega olja v zajetju Globočec. Diplomski naloga, Visoka šola za zdravstvo, 65 str., Ljubljana.
- GERŠL, M., STEPIŠNIK, U., ŠUŠTERŠIČ, F., 1999: The "unroofed cave" near the Bunker (Laški Ravniki). *Acta Carsologica*, 28, 2, 77-90, Ljubljana.
- GLĄZEK J., 1993. Kryszy messynski (wyschnieciwe Morza Środziemskiego w gornym miocenie) i jego rola w paleogeografii Europy. – Streszczenia referatow wygloszonych na posiedzeniach Oddzialu Poznanskiiego (1991-1992), 13-15. Pol. Tow. Geol. Inst. Geol. UAM. Poznan.
- GOSPODARIČ, R., 1985: O speleogenezi Divaške jame in Trhlovcu. *Acta carsologica* 13(1984), 5-34, Ljubljana.
- GREGORIČ, V., 1967: Minerali glin v nekaterih talnih enotah Slovenskega primorja. *Geologija* 10, 247-270, Ljubljana.
- GREGORIČ, V., 1969: Nastanek tal na triadnih dolo-
mitih. *Geologija* 12, 201-230, Ljubljana.
- HABIČ, P., 1968: Kraški svet med Idrijco in Vipavo. Prispevek k poznavanju razvoja kraškega reliefa. *Dela SAZU*, Razred za prirodoslovne in medicinske vede 21, 243 str., Ljubljana.
- HABIČ, P., 1974: Poročilo o kraških pojavih na AC Senožeče-Divača-Sežana. Elaborat IZRK, 20 str., Postojna.
- HABIČ, P., 1982: Pregledna speleološka karta Slovenije. *Acta carsologica* 10, 5-22, Ljubljana.
- HABIČ, P., 1987: The Renčelica doline near Sežana. Man's impact in Dinaric Karst, Guide book, 115-117, Ljubljana.
- HABIČ, P., 1988: Ogroženost kraških voda zaradi izlivov škodljivih tekočin. *Ujma* 2, 83-86, Ljubljana.
- HABIČ, P., 1991: Sledenje onesnažene kraške vode po razlitju olja v Tovarni kemičnih kondenzatorjev Žužemberk. Elaborat, Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, 12 str., Postojna.
- HABIČ, P., 1992: Les phénomènes paléokarstiques du karst Alpin et Dinarique en Slovénie. – V: Karst et évolutions climatiques, 411-428, Bordeaux.
- Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, 1995-1997: Hidrološki letopisi Slovenije 1990-1995. Letniki 1-6, Ljubljana.
- HILL, C. A., FORTI, P., 1997: Cave Minerals of the World. Second edition. National Speleological Society, Inc., 463 str., Huntsville.
- HROVAT, A., 1953: Kraška ilovica. 96 str., Ljubljana.
- HSÜ, K. J., 1973. Quando il Mediterraneo si disseccò. *Le Scienze*, 56, 19-29. Milano.
- HSÜ, K. J., CITA, M. B., RYAN, W. B. F., 1973: Origin of Mediterranean evaporites. *Init. Rep. Deep Sea Drilling Proj.*, 13, 1203-1231.
- HSÜ, K. J., MONTADERT, L., BERNOULLI, D., CITA, M. B., ERICKSON, A., GARRISON, R. E., KIDD, R. B., MRLIERWS, F., WRIGHT, R., 1977: History of the Mediterranean salinity crisis. *Nature*, 267, 5610, 399-403.
- HUDOKLIN, A., 1995: Poročilo o barvanju Temenice. Bilten '94 Dolenjskega krasa, 16-17, Novo mesto.
- ILEŠIČ, S., 1958: Problemi geografske rajonizacije ob primeru Slovenije. *Geografski vestnik* 29-30, 83-140, Ljubljana.
- JELÍNEK, V., 1966: A high sensitivity spinner magnetometer. *Stud. geoph. geod.*, 10, 58-78.
- JELÍNEK, V., 1973: Precision A.C. bridge set for measuring magnetic susceptibility and its anisotropy. *Stud. geoph. geod.*, 17, 36-48.
- JURKOVŠEK, B., TOMAN, M., OGORELEC, B., ŠRIBAR, L., DROBNE, K., POLJAK, M. and ŠRIBAR, L., 1996: Geological Map of the Southern Part of the Trieste-Komen Plateau. Cretaceous and Paleogene Carbonate Rocks. *IGGG*, 143str., Ljubljana.

- Kataster Jamarske zveze Slovenije in Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU.
- KHUMAKOV, I. S., 1967: Pliocenove i pleistocenove otlozhenia doliny Nila v Nubii i verchnem Egipte. Trudy Geol. Inst. AN SSSR, 170, 1–115, Moskva.
- KHUMAKOV, I. S., 1971: Nekotorye voprosy geologicheskoy istorii Sredizemnomorskogo basseyna v konce miocena-nachala pliocena po novym dannym. Sov. Geol, 14,10, 3–14, Moskva.
- KIRSCHVINK, J. L., 1980: The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data. Geophys. J. Royal Astronom. Soc. 62, 699–718, Oxford.
- KLADNIK, D., 1996: Naravnogeografske členitve Slovenije. Geografski vestnik 68, 123–159, Ljubljana.
- KLIMCHOUK, A., 1995: Karst Morphogenesis in the epikarstic zone. Cave and Karst Science 21, 2, 45–50.
- KNEZ, M., 1995: Pomen in vloga lezik pri makroskopskih raziskavah karbonatnih kamnin, v katerih so oblikovani freatični kanali. Annales, 7, 127–130, Koper.
- KNEZ, M., 1996: Vpliv lezik na razvoj kraških jam (Primer Velike doline, Škocjanske jame). Znanstvenoraziskovalni center SAZU, 14, 186 str., Ljubljana.
- KNEZ, M., KRANJC, A., OTONIČAR, B., SLABE, T., SVETLIČIČ, S., 1994: Posledice izlitja nafte pri Kozini. Ujma 9, 74–80, Ljubljana.
- KNEZ, M., OTONIČAR, B., SLABE, T., 2003: Subcutaneous stone forest (Trebnje, Central Slovenia). Acta carsologica 32, 1, 29–38, Ljubljana.
- KNEZ, M., SLABE, T., 1999a: Unroofed caves met during the motorway construction near Kozina and their recognition on karst surface. 7th International Karstological School. Classical Karst – Roofless Caves, Abstracts, 30–31, Postojna.
- KNEZ, M., SLABE, T., 1999b: Unroofed caves and recognising them in karst relief (Discovered during motorway construction at Kozina, South Slovenia). Acta carsologica 28, 2, 103–112, Ljubljana.
- KNEZ, M., SLABE, T., 2000: Jame brez stropa so pomembna oblika na kraškem površju: s krasoslovnega nadzora gradnje avtocest na krasu. – V: Gostinčar, A. (ur.). 5. slovenski kongres o cestah in prometu. Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije, Zbornik povzetkov referatov, 29, Ljubljana.
- KNEZ, M., SLABE, T., 2001a: Oblika in skalni relief stebrov v Naigu kamnitem gozdu (JZ Kitajska). Acta carsologica 30, 1, 13–24, Ljubljana.
- KNEZ, M., SLABE, T., 2001b: The lithology, shape and rock relief of the pillars in the Pu Chao Chun stone forest (Lunan stone forests, SW China). Acta carsologica 30, 2, 129–139, Ljubljana.
- KNEZ, M., SLABE, T., 2001c: Karstology and expressway construction. Proceedings of 14th IRF Road World Congress, Paris.
- KNEZ, M., SLABE, T., 2002a: Unroofed caves are an important feature of karst surfaces: examples from the classical karst. Z. Geomorphol., 46, 2, 181–191, Berlin, Stuttgart.
- KNEZ, M., SLABE, T., 2002b: Lithological and morphological properties and rock relief of the Lunan stone forests. – V: Gabrovšek, F. (ur.): Evolution of karst: from prekarst to cessation, 259–266, Postojna – Ljubljana.
- KNEZ, M., SLABE, T., 2004a: Karstology and the opening of caves during motorway construction in the karst region of Slovenia. Int. J. Speleol., 31, 1/4, 159–168.
- KNEZ, M., SLABE, T., 2004b: Highways on karst. – V: Gunn, J. (ur.). Encyclopedia of caves and karst science, Fitzroy Dearborn, 419–420, New York, London.
- KNEZ, M., SLABE, T., 2005: Caves and sinkholes in motorway construction, Slovenia. – V: Waltham, T., Bell, F., Culshaw, M. (ur.): Sinkholes and Subsidence. Karst and Cavernous Rocks in Engineering and Construction, Springer, Praxis, 283–288, Chichester.
- KNEZ, M., SLABE, T., 2006: Krasoslovne raziskave pri gradnji avtocest preko slovenskega krasa. Annales, 16, 2, 259–266, Koper.
- KNEZ, M., SLABE, T., ŠEBELA, S., 2004a: Karstification of the aquifer discovered during the construction of the expressway between Klanec and

- Črni Kal, Classical Karst. *Acta carsologica* 33, 1, 205–217, Ljubljana.
- KNEZ, M., SLABE, T., ŠEBELA, S. 2004b: Karst uncovered during Bič–Korenitka motorway construction (Dolenjska, Slovenija). *Acta carsologica* 33, 2, 75–89, Ljubljana.
- KNEZ, M., ŠEBELA, S. 1994: Novo odkriti kraški pojavi na trasi avtomobilske ceste pri Divači. *Naše jame* 36, 102, Ljubljana.
- KOGOVIŠEK, J., 1986: Kakšna je sestava voda, ki odteka z naših cest? *Ujma* 7, 67–69, Ljubljana.
- KOGOVIŠEK, J., 1987: Naravno čiščenje sanitarnih odplak pri vertikalnem prenikanju v Pivki jami. *Acta carsologica* 16, 121–139, Ljubljana.
- KOGOVIŠEK, J., 1993: Kakšna je sestava voda, ki odteka z naših cest? *Ujma* 7, 67–69, Ljubljana.
- KOGOVIŠEK, J., 1995a: The surface above Postojnska jama and its relation with the cave. The case of Kristalni rov. *Proc. of Symposium International Show Caves and Environmental Monitoring*, 29–39, Frabosa Soprana.
- KOGOVIŠEK, J., 1995b: Izlitja nevarnih snovi ogrožajo kraško vodo. Onesnaženje Rižane oktobra 1994 zaradi izlitja plinskega olja ob prometni nesreči v Obrovu. *Annales* 5, 7, 141–148, Koper.
- KOGOVIŠEK, J., 1995c: Podrobno spremljanje kvalitete vode, odtekajoče z avtoceste in njen vpliv na kraško vodo. *Annales* 7, 2, 149–154, Koper.
- KOGOVIŠEK, J., 1996: Onesnaženje krasa ob različnih nesrečah. *Ujma* 10, 170–171, Ljubljana.
- KOGOVIŠEK, J., 2000: Ugotavljanje načina pretakanja in prenosa snovi s sledilnim poskusom v naravnih razmerah. *Annales* 10, 1, 133–142, Koper.
- KOGOVIŠEK, J., P. HABIČ, 1981: Preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame. *Acta carsologica* 9, 129–148, Ljubljana.
- KOGOVIŠEK, J., KNEZ, M., SLABE, T., 1994: Poročilo o posledicah izlitja nafte pri Obrovu 12.10.1994. *Elaborat*. Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, 10 str., Postojna.
- KOGOVIŠEK, J., PETRIČ, M., 2002a: Ogroženost kraškega sveta. – V: Ušeničnik, B. (ur.). *Nesreče in varstvo pred njimi*. Uprava RS za zaščito in reševanje Ministrstva za obrambo, 170–183, Ljubljana.
- KOGOVIŠEK, J., PETRIČ, M., 2002b: Podzemno raztekanje vode iz ponora Tržiščice (JV Slovenija) = Underground water flow from the Tržiščica sinking stream (SE Slovenia). *Acta carsologica* 31, 2, 75–91, Ljubljana.
- KOGOVIŠEK, J., SLABE, T., ŠEBELA, S., 1997: Motorways in Karst (Slovenia). *Proceedings & Fieldtrip excursion guide, 48th highway geology symposium*, 49–55 Knoxville, Tennessee.
- KOGOVIŠEK, J., ŠEBELA, S., 2004: Water tracing through the vadose zone above Postojnska Jama, Slovenia. *Environmental geology* 45, 7, 992–1001, Berlin.
- KOMPARE, B., ATANASOVA, N., BABIČ, R., PANJAN, J., BULC, T., CERAR, U., RODIČ, P., KNEZ, M., KOGOVIŠEK, J., PETRIČ, M., PINTAR, M., 2002a: Odvodnja avtocest in zaščita voda: analiza delovanja čistilnega objekta na Krasu. – V: Vilhar, M. (ur.). *6. slovenski kongres o cestah in prometu*, Portorož, 23.–25. oktobra 2002. *Zbornik referatov*, Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije, 93–102, Ljubljana.
- KOMPARE, B., ATANASOVA, N., BULC, T., CERAR, U., KNEZ, M., KOGOVIŠEK, J., PANJAN, J., PETRIČ, M., PINTAR, M., P. RODIČ, 2002b: Zaščita hidrosfere pred spiranjem in dreniranjem z avtocest. *Zbornik seminarja: Varstvo in kvaliteta pitne vode*, 60–68, Terme Olimia.
- KRANJC, A., 1986: Transport rečnih sedimentov skozi kraško podzemlje na primeru Škocjanskih jam. *Acta carsologica* 14–15, 107–116, Ljubljana.
- KRANJC, A., 1989: Recent fluvial cave sediments, their origin and role in speleogenesis. *Opera* 4. razreda, SAZU, ZRC, Inštitut za raziskovanje krasa, 27, 1, 167 str., Ljubljana.
- KRANJC, A. 1990, *Dolenjski kraški svet*. Dolenjska založba, 240 str., Novo mesto.
- KRANJC, A. (ur.), 1997: *Slovene Classical Karst*. ZRC SAZU, 254 str., Ljubljana.
- KRIVIC, P., BRICELJ, M., TRIŠIČ, N., ZUPAN, M., 1987: Sledenje podzemnih vod v zaledju izvira Rižane. *Acta carsologica* 16, 83–104, Ljubljana.

- KRIVIC, P., BRICELJ, M., ZUPAN, M., 1989: Podzemne vodne zveze na področju Čičarije in osrednjega dela Istre. *Acta carsologica* 18, 265–295, Ljubljana.
- LADIŠIČ, B., 1981: Hidrografsko speleološke odlike temeniškega podolja. Osmi jugoslovenski speleološki kongres, 75–85, Beograd.
- MELIK, A., 1959: Posavska Slovenija. Slovenija, Geografski opis, Slovenska Matica, II, Tretji zvezek, 595 str., Ljubljana.
- MELIK, A., 1960: Slovensko primorje. 546 str., Ljubljana.
- MELIK, A., 1961: Fluvialni elementi v krasu. Geografski zbornik 6, 333–361, Ljubljana.
- MELIK, A., 1962: Geografski pregled Dolenjske. Dolenjska zemlja in ljudje, 7–14, Novo mesto.
- MIHEVC, A., 1984: Nova spoznanja o Kačni jami. *Naše jame* 26, 11–20, Ljubljana.
- MIHEVC, A., 1991: Morfološke značilnosti ponornega kontaktnega krasa. Magistrska naloga, 206 str., Ljubljana.
- MIHEVC, A., 1996: Brezstropa jama pri Povirju. *Naše jame* 38, 65–75, Ljubljana.
- MIHEVC, A., 1998: Speleogeneza Matičnega krasa. MS, doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, 150 str., Ljubljana.
- MIHEVC, A., 1999a: The caves and the karst surface – case study from Kras, Slovenia. *Etudes de géographie physique, suppl. XXVIII, Colloque européen – Karst* 99, 141–144.
- MIHEVC, A., 1999b: Roofless caves. 7th International Karstological School Classical Karst – Roofless Caves. Guide-booklet for the excursions, 2–25, Postojna.
- MIHEVC, A., 1999c: Unroofed caves as geomorphic and speleologic features. 7th International Karstological School. Classical Karst – Roofless Caves. Abstracts, 33–34, Postojna.
- MIHEVC, A., 2001: The speleogenesis of the Divača Karst. ZRC Collection 27, Založba ZRC, 180 str., Ljubljana.
- MIHEVC, A., SLABE, T., ŠEBELA, S., 1998: Denuded caves. *Acta carsologica* 27, 1, 165–174, Ljubljana.
- MIHEVC, A., ZUPAN HAJNA N. 1996: Clastic sediments from dolines and caves found during the construction of the motorway near Divača, on the Classical Karst. *Acta carsologica* 25, 169–191, Ljubljana.
- MLAKAR, I., 1969: Krovna zgradba idrijsko žirovskega ozemlja. *Geologija* 12, 5–72, Ljubljana.
- NOVAK, D., 1970: Hidrogeološke značilnosti Osrednje Dolenjske. *Naše jame* 11, 17–24, Ljubljana.
- NOVAK, D., 1985: Izvir Globočec in njegovo zaledje. *Naše jame* 27, 5–9, Ljubljana.
- NOVAK, D., 1994: Raziskave na Temenici leta 1994. *Naše jame* 36, 109–110, Ljubljana.
- OŽBOLT, A., 1994: Poročilo o spremljanju onesnaženja na izviru Rižane po izlitju plinskega olja D2. Poročilo Zavoda za socialno medicino in higieno, Koper.
- PERNA, G., 1996: Il carsismo Messiniano nell'area del Mediterraneo. *Speleologia*, XVII, 34, 5–12. Milano.
- PINTAR, M., AJDIČ, M., LESKOVŠEK, H., 1998: Kemizem padavinske vode z avtoceste pri Divači in v Vipavski dolini. Zbornik 4. kongresa o cestah in promet., 159–267, Portorož.
- PLACER, L., 1981: Geološka zgradba jugozahodne Slovenije. *Geologija* 24, 1, 27–60, Ljubljana.
- PLACER, L., 1999a: Structural meaning of the Sava folds. *Geologija* 41, 191–221, Ljubljana.
- PLACER, L., 1999b: Contribution to the macrotectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides. *Geologija* 41, 223–255, Ljubljana.
- PLENIČAR, M., 1954: Vrnik. *Proteus*, XVII, 98–90, Ljubljana.
- PLENIČAR, M., 1970: Tolmač lista Postojna. Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod Beograd, 62 str., Beograd.
- PLENIČAR, M., POLŠAK, A., ŠIKIČ, D., 1969: Osnovna geološka karta SFRJ, list Trst, 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- PLENIČAR, M., POLŠAK, A., ŠIKIČ, D., 1973: Tolmač k Osnovni geološki karti SFRJ, list Trst, 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- PLENIČAR, M., PREMUR, U., 1977: Tolmač za list Novo mesto. 61, Zvezni geološki zavod, Beograd.

- PLENIČAR, M., PREMUR, U., HERAK, M., 1976: Osnovna geološka karta 1 : 100.000, list Novo mesto. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- PLUT, D., 1984: Nekateri značilnosti vodnih virov novomeške občine, Dolenjske in Bele krajine. Zbornik 13. zborovanja slovenskih geografov, 99–111, Ljubljana.
- PREMRU, U., 1976: Neotectonic Evolution of Eastern Slovenia. *Geologija* 19, 211–249, Ljubljana.
- PŘÍHODA, K., KRS, M., PEŠINA, B., BLAHA, J., 1989: MAVACS – a new system of creating a non-magnetic environment for palaeomagnetic studies. *Cuad. Geol. Iberica*, 12, 223–250, Madrid.
- PRUNER, P., BOSÁK, P., 1999: Zprava k projektu KONTAKT ME 251. (1998) Česko-slovenska spolupráce, Research of karst sediments on the example of the Classical Karst, Slovenia. – MS, Geol. list. AV ČR, 1–78, Praha.
- RADINJA, D., 1961: Neka iskustva u proučavanju gruboklastičnog materiala sa morfometrijskom metodom. *Zbor. rad. 6. kongr. geogr. Jug.*, 235–243, Ljubljana.
- RADINJA, D., 1972: Zakrasevanje v Sloveniji v luči celotnega morfogenetskega razvoja. *Geografski zbornik* 13, 197–243, Ljubljana.
- RAKOVEC, L., 1958: Pleistocenski sesalci iz jame pri Črnem kalu. *Razprave 4. razreda SAZU*, 4, 365–434, Ljubljana.
- REMŠKAR, B., 2006: Jame v breči na južnem pobočju Trnovskega gozda. *Naše jame* 46, 4–15, Ljubljana.
- ROTAR, J. P., 1994: Raziskave bodo spremljale vpliv novih avtocest na okolje. *Delo*, 5. 10. 1994, Ljubljana.
- SASOWSKY, I. D., WHITE, W. B., SCHMIDT, V. A., 1995: Determination of stream incision rate in the Appalachian plateaus by using cave-sediment magnetostratigraphy. *Geology* 23, 415–418.
- SAVNIK, R., 1962: Nekateri problemi kraške hidrografije na Dolenjskem. *Dolenjska zemlja in ljudje, Dolenjska založba*, 15–30, Novo mesto.
- SCHMIDT, V. A., 1982: Magnetostratigraphy of sediments in Mammoth Cave, Kentucky. *Science*, 217, 827–829.
- SKOBERNE, P., PETERLIN, S. (ur.), 1991: Inventar najpomembnejše naravne dediščine Slovenije. *Zavod Republike Slovenije za varstvo naravne in kulturne dediščine*, 2. del.: osrednja Slovenija, 606 str., Ljubljana.
- SLABE, T., 1995: Cave rocky relief and its speleogenetical significance. *Zbirka ZRC*, 10, 128 str., Ljubljana.
- SLABE, T., 1996: Karst features in the motorway section between Čebulovica and Dane. *Acta carsologica* 25, 221–240, Ljubljana.
- SLABE, T., 1997a: Karst features discovered during motorway construction in Slovenia. *Environmental Geology*, 32, 3, 186–190.
- SLABE, T., 1997b: The caves in the motorway Dane–Fernetiči. *Acta carsologica* 26, 2, 361–372, Ljubljana.
- SLABE T., 1998a: Karst features discovered during motorway construction between Divača and Kozina. *Acta carsologica*, 27, 2, 105–113, Ljubljana.
- SLABE, T., 1998b: Rock relief of pillars in the Lunan stone forests. – V: Chen X. idr. (ur.). *South China Karst*, Založba ZRC, 51–67, Ljubljana.
- SLABE, T., 1999: Subcutaneous rock forms. *Acta carsologica* 28, 2, 255–269, Ljubljana.
- SLABE, T., 2005: Two experimental modelings of karst rock relief in plaster: subcutaneous “rock teeth” and “rock peaks” exposed to rain. *Z. Geomorphol.* 49, 1, 107–119, Berlin, Stuttgart.
- SLABE, T., KNEZ, M., 2004: Kraške podtalne skalne oblike. *Annales* 14, 2, 259–266, Koper.
- STEPIŠNIK U., ŠUŠTERŠIČ S., 1999: The “unroofed cave” near the Bunker (Laški Ravnik). 7th International Karstological School. *Classical Karst – Roofless Caves*. Abstracts, 35–36, Postojna.
- ŠEBELA, S., 1996: Predhodne krasoslovne raziskave trase avtoceste Divača–Kozina. *Annales* 9, 103–106, Koper.
- ŠEBELA S., 1999: Morphological and geological characteristics of two denuded caves in SW Slovenia. 7th International Karstological School. *Classical Karst – Roofless Caves*, Abstracts, 36–37, Postojna.
- ŠEBELA, S., MIHEVC, A., 1995: The problems of con-

- struction on karst - the examples from Slovenia. – V: Beck B.F., Pearson F.M. (ur.) Karst geohazards, engineering and environmental problems in karst terrain. Proceedings of the Fifth Multidisciplinary Conference on Dolines and Engineering and Environmental Impacts on Karst. A.A. Balkema, 475–479, Rotterdam, The Netherlands.
- ŠEBELA, S., MIHEVC, A., SLABE, T., 1999: The vulnerability map of karst along highways in Slovenia. – V: Beck, B. F., Pettit, A. J., Herring, J. G. (ur.) Hydrogeology and engineering geology of dolines and karst. Proceedings of the Seventh Multidisciplinary Conference on Dolines and the Engineering and Environmental Impacts on Karst. A.A. Balkema, 419–422, Rotterdam, The Netherlands.
- ŠEBELA, S., SASOWSKY, I. D., 2000: Paleomagnetic dating of sediments in caves opened during highway construction near Kozina, Slovenia. *Acta carsologica* 29, 2, 303–312, Ljubljana.
- ŠIFRER, M., 1970: Nekateri geomorfološki problemi dolenskega krasa. *Naše jame* 11, 7–15, Ljubljana.
- ŠPES, M., 1993: Kaj vemo o onesnaževanju zraka? *Geografski obzornik*, 40, 2, 10–16, Ljubljana.
- ŠUŠTERŠIČ, F., 1978: Nekaj misli o zasutih brezni in njihovem polnilu. *Naše jame* 19, 7–14, Ljubljana.
- ŠUŠTERŠIČ, F., 1985: Metoda morfometrije in računalniške obdelave vrtač. *Acta carsologica* 13, 81–98, Ljubljana.
- ŠUŠTERŠIČ F., 1998: Interaction between cave systems and the lowering karst surface: case study: Laški Ravniki. *Acta carsologica* 27, 2, 115–138, Ljubljana.
- TURK, I., BAVDEK, A., PERKO, V., CULIBERG, M., ŠERCELJ, A., DIRJEC, J., PAVLIN, P., 1992: Acijev spodmol pri Petrinjah, Slovenija. Poročilo o raziskovanju paleolita, neolita in eneolita v Sloveniji 20, 27–48, Ljubljana.
- VLAHOVIĆ, T., 2000: Kemizam vode kao indikator regionalnog kretanja podzemne vode u krškim vodonosnicima: izvor Sv. Ivan, Istra. Proceedings of 2. Croatian geological congress, Cavtat-Dubrovnik, 827–832, Zagreb.
- VRABEC, M., FODOR L., 2006: Late Cenozoic tectonics of Slovenia: structural styles at the Northeastern corner of the Adriatic microplate. V: Pinter, N., Grenczy G., Weber, J., Stein, S., Medak, D. (ur.). The Adria microplate: GPS geodesy, tectonics and hazards, NATO Science Series, IV, Earth and Environmental Sciences, 61, Springer, 151–168, Dordrecht.
- ZUPAN, N., 1991: Flowstone datations in Slovenia. *Acta carsologica* 20, 187–204, Ljubljana.
- ZUPAN HAJNA, N., 1992: Mineralna sestava mehanskih sedimentov iz nekaterih delov slovenskega krasa. *Acta carsologica* 21, 115–130, Ljubljana.
- ZUPAN HAJNA, N., 1997: Poročilo o I. fazi speleoloških raziskav na trasi AC Klanec–Križišče Ankaran. Elaborat, IZRK ZRC SAZU, 6 str., Postojna.
- ZUPAN HAJNA, N., 1998: Mineral composition of clastic sediments in some dolines along the new motorway Divača–Kozina. *Acta carsologica* 27, 1, 277–296, Ljubljana.
- ZUPAN HAJNA, N., 1999: Comparison of some clastic sediments from the surface and caves of Divača Karst, SW Slovenia. – V: Karst 99 : Colloque européen : des paysages du karst au géosystème karstique : dynamiques, structures et enregistrement karstiques. *Etudes de géographie physique, supplément* 28. CAGEP, 209–214, Aix-en-Provence.
- ZUPAN HAJNA, N., DROLE, F., 2003: Jama S 647 v levi cevi tunela Kastelec. *Naše jame* 45, 69–79, Ljubljana.

POVZETEK

Eden večjih projektov, ki potekajo v Sloveniji, je povezati državo s sodobnimi avtocestami. Skoraj polovica Slovenije je kraške in več kot polovica voda, s katerimi se oskrbujemo, je iz kraških vodonosnikov. Slovenija je dežela matičnega Krasa, ki je v številne svetovne jezike dal ime za to svojevrstno pokrajino na karbonatnih kamninah in kjer se je začelo razvijati krasoslovje. Občutljiva kraška pokrajina terja od nas njeno dobro poznavanje in trud za njeno ohranjanje, hkrati pa je seveda pomemben del naše naravne in kulturne dediščine.

Krasoslovci že od leta 1994 sodelujemo pri načrtovanju in izgradnji avtocest na krasu. Pri izbiri trase avtocest in železniških prog so v ospredju upoštevanje celovitosti kraške pokrajine, priporočila po izogibanju pomembnejšim površinskim kraškim pojavom (vrtače, polja, udornice, kraške stene) in že znanim jamam. Posebno pozornost posvečamo vplivu gradnje in uporabe avtocest na kraške vode. Avtoceste naj bi zato bile neprepustne. Vode s cestišča se najprej zberejo v lovilcih olj in so nato prečiščene spuščene v kras. Raziskovali smo sestavo onesnaženosti voda, ki se vsakodnevno stekajo z avtocest.

Gradbena dela so razkrila vrsto pomembnih spoznanj o načinu oblikovanja krasa in njegovemu razvoju na različnih kamninah, v različnih razmerah in z različnimi procesi. Proučevali smo kras med Razdrtim in Kraškim robom ter Fernetiči, osrednji del Dolenjskega krasa in mladi kras v Vipavski dolini. Prečni prerez nam je torej razkril najbolj pomembna področja našega krasa. Pridobili smo vrsto spoznanj o površinskih kra-

ških pojavih, epikrasu, kjer so se zemeljska dela zasekala globlje v površje, in v predorih o vadonzi coni ter paleokrasu. V vseh pa je pomembno sled zapustil razvoj krasa, predvsem s številnimi starimi jamami. Na novo se je odprlo več kot 350 jam.

Na krasu zahodne Slovenije smo poučevali površinske kraške pojave, kot so različne vrtače in škraplje. Številne, na novo odkrite jame so nam razkrile prevotljenost posameznih delov vodonosnika. To so stare jame, ki so danes suhe, saj so obvisile visoko nad gladino podzemeljske vode in brezna, skozi katera se pretaka vodo s prepustnega kraškega površja v notranjost vodonosnika. Dobršen del jam je zapolnjenih z naplavinami. Te so nam, poleg ostalih speleoloških značilnosti, oblike jamskih spletov in njihovih delov ter skalnega reliefa, razkrile pomembna obdobja njihovega oblikovanja in razvoj ter starost. Pomagali smo si s paleomagnetnim določevanjem njihove starosti. Najstarejše naplavine naj bi jame zapolnile po messinski krizi, so torej starejše od pet milijonov let. Lahko jih uvrščamo med naše najstarejše jame, njihova starost pa presega naše ocene iz preteklosti. Pomembno spoznanje so nam odprle jame brez stropa, saj ugotavljamo, da sledi razvoja vodonosnika, veliko bolj kot smo domnevali doslej, sooblikujejo kraško površje. Jame brez stropa, ki so posledica nižanja kraškega površja, so nova oblika, ki smo jo v celostni podobi uvrstili v mednarodni nabor kraških oblik. Na večinoma z gozdom poraslem kraškem površju so se razkrile tudi sledi človekovega delovanja, zgodovina njegovega nekdanjega

intenzivnega izkoriščanja predvsem v kmetijske namene in oskrbo z vodo.

Gradbena dela na nizkem in z naplavina mi večinoma prekritem Dolenjskem krasu pa so nam razkrila predvsem podtalno oblikovanje krasa. Izdvojimo lahko podtalne kamnite gozdove in podtalna brezna, obliki, ki smo jih na našem krasu prvič zabeležili celostno, v vsem sijaju in povednosti. Velike površine kamnitih gozdov s svojimi značilnimi podtalnimi oblikami nam razkrivajo bogastvo podtalnega oblikovanja kraškega površja. Voda, ki je pronicala skozi prst in naplavino, je namreč svojevrstno oblikovala različne karbonatne kamnine. Strnjeni podtalni tokovi prenikajoče vode pa dolbejo podtalna brezna, votline, ki so podobne navadnim breznom, so pa bolj ali manj v celoti zapolnjene z naplavinami in temu primerno oblikovane.

Svojevrstna odkritja so nam razkrila zemeljska dela pri gradnji avtoceste skozi Vipavsko do-

lino. Tu se je kras oblikoval tudi v mladih brečah, ki nastajajo s strjevanjem pobočnega grušča pod Nanosom. S prenikanjem vode s površja so začele nastajati vrtačam podobne oblike. Razkrilo se je več vrst jam. Manjše votline so nastale v najbolj strjenih delih breče, so torej značilno kraške, večje pa so nastale na stiku s flišem, ki je pod brečo. Skoznje se pretakajo manjši vodni tokovi. Špranjaste jame so posledica napetosti v pobočnih brečah, ki leže na nagnjeni flišni podlagi. Na tem stiku se pretaka tudi večina vode.

Skratka, izsledki rednih raziskav kraških značilnosti, ki so se razkrile med gradnjo avtocest, so obogatili naše poznavanje naravne in kulturne dediščine in poglobili krasoslovno znanje. Vsekakor jih kaže poudariti in jih zbrano predstaviti ter ohraniti za nadaljnje proučevanje. So tudi izhodišče za načrtovanje življenja na kraškem površju in varovanje krasa.

SUMMARY

One of the major ongoing projects in Slovenia is to link the country via modern expressways. Almost half of Slovenia is karst and more than half of its supply of water comes from karst aquifers. Slovenia is the home of the Classical Karst region, which gave its name to numerous world languages for the type of landscape that develops on carbonate stone and where the science of karstology began to develop. Comprising an important part of our natural and cultural heritage, the sensitive karst landscape demands from us good knowledge and serious effort for its preservation.

Since 1994, Slovene karstologists have cooperated closely in the planning and construction of expressways in karst regions. With the consideration of the integrity of the karst landscape in the foreground, we have recommended avoiding more important areas of karst phenomena (sinkholes, poljes, collapse dolines, karst walls, etc.) and already known caves in the selection of routes for expressways and railway lines. We have devoted special attention to the impact on karst waters of building and using the expressways. Expressway should be impermeable. Water from the road surface is first collected in oil separators and then released clean into the karst. We have also studied the pollutants in the water that flows off the expressways everyday.

Construction work has provided a series of important discoveries about the formation of karst and its development on various bedrock, in different conditions, and through various processes. We have studied the karst along

expressways between Razdrto, Kastelec, and Fernetiči (southwest Slovenia), the central part of the Dolenjska karst region (south Slovenia), and the young karst in the Vipava Valley (southwest Slovenia). This selection of sites includes the most important areas of our karst regions. We have acquired a great deal of information about surface karst phenomena and the epikarst, and where excavation work has cut deeper in the surface and in tunnels about the vadose zone and the paleokarst. Everywhere the development of the karst left important traces, above all in the numerous old caves. More than 350 new caves have been opened.

In the karst region of western Slovenia we have studied surface karst phenomena such as sinkholes and karren. The numerous newly opened caves have revealed the perforation of individual parts of the aquifer. These include old caves that today are dry since they are located high above the water table and caverns through which water flows from the permeable karst surface to the aquifers below. A good part of the caves is filled with alluvial sediments. In combination with other speleological features, patterns of cave networks and their parts, and subsoil rock forms, these sediments helped to determine important periods in the formation and development of caves and their age. Paleomagnetic determination of the age of sediments assists us here. The oldest sediments probably filled the caves after the Messinian crisis and are therefore more than five million years old. We can therefore rank them among our oldest caves, and their

age exceeds our previous estimates. The opening of unroofed caves also provided important information, as we discovered that these traces of the development of the aquifer helped form the karst surface much more than we previously suspected. Unroofed caves, which are the consequence of the lowering of the karst surface, comprise a new form that we have added as a unique form to the international list of karst forms. On the majority of karst surfaces overgrown with forest, traces of human activity have been discovered, the history of their former intensive exploitation, primarily for agriculture and water supply.

Construction work on the low and largely alluvium-covered Dolenjska karst primarily revealed the subsoil shaping of the karst. Here we can find subsoil stone forests and subsoil shafts, forms first comprehensively recorded in Slovenia's karst region in all their glory and eloquence. Large areas of stone forests with their characteristic subsoil rock forms have revealed all the wealth of the subsoil shaping of karst surfaces. The water that penetrated through the soil and sediment uniquely shaped the different carbonate rock. Consolidated subsoil streams of percolating water carved subsoil shafts, hollows that are similar to empty shafts but more or less completely filled with alluvium.

Excavation work building the expressway through the Vipava Valley provided a unique discovery. Here the karst formed in young breccia that developed from the consolidated slope rubble below Mount Nanos. With the percolation of water from the surface, sinkholes of similar shape began to form. Many types of caves were discovered. Smaller caves characteristic of karst developed in the most consolidated parts of the breccia and larger caves formed at the contact with the flysch that lies below the breccia. Through them run smaller streams of water. Fissure caves are the consequence of stresses in the slope breccia that lies on inclined flysch bedrock. The majority of water also flows at such contacts.

In short, the regular research of karst features revealed during the construction of expressways has enriched our knowledge of the natural and cultural heritage and deepened karstological knowledge. In any case, the construction work assisted by karstologists has exposed karst features and presented and preserved them for further study. The research results are also a starting point for spatial planning in karst areas and for protecting the karst landscape.



31 €

ISBN 978-961-254-030-2



9 789612 540302

[HTTP:// ZALozBA.ZRC-SAZU.SI](http://zalozba.zrc-sazu.si)

