



PALEOPOPLAVE V POREČJU KRAŠKE LJUBLJANICE

MATEJA FERK



Mateja Ferk

Naziv: dr., univerzitetna diplomirana geografinja, znanstvena sodelavka
Naslov: Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Gosposka ulica 13,
1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: mateja.ferk@zrc-sazu.si

Medmrežje: <http://giam.zrc-sazu.si/ferk>

Rodila se je leta 1984 v Mariboru. Po maturi na Prvi gimnaziji v Mariboru leta 2003 je na Filozofski fakulteti Univerze v Ljubljani leta 2009 diplomirala in leta 2014 doktorirala iz geografije. Leta 2010 se je kot mlada raziskovalka zaposlila na Geografskem inštitutu Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Njena raziskovalna dejavnost je usmerjena v področje fizične geografije s poudarkom na geomorfologiji, krasoslovju, glaciologiji in vrednotenju geodiverzitete ter naravnih nesrečah. Trenutno se poglobljeno ukvarja s paleohidrologijo in rekonstrukcijo paleookoljskih razmer klasičnega Dinarskega krasa in krasa v mladih karbonatih planote Nullarbor v Avstraliji.

Med letoma 2007 in 2012 je bila namestnica vodje Katastra jam Jamarske zveze Slovenije, od leta 2010 do 2012 je bila članica predsedstva Jamarske zveze Slovenije, od leta 2011 je tajnica Geomorfološkega društva Slovenije. Za diplomsko delo je leta 2010 prejela študentsko Prešernovo nagrado Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Leta 2011 je prejela priznanje in bronasti znak Jamarske zveze Slovenije za posebne dosežke na področju jamarstva. Leta 2012 je prejela štipendijo Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti za znanstveno-raziskovalno delo na Fakulteti za znanost, tehnologijo in inženirstvo, Univerze La Trobe v Melbourne v Avstraliji.

GEOGRAFIJA SLOVENIJE 33
PALEOPOPLAVE V POREČJU KRAŠKE LJUBLJANICE
Mateja Ferk



GEOGRAFIJA SLOVENIJE 33

PALEOPOPLAVE V POREČJU KRAŠKE LJUBLJANICE

Mateja Ferk

LJUBLJANA 2016

GEOGRAFIJA SLOVENIJE 33

PALEOPOPLAVE V POREČJU KRAŠKE LJUBLJANICE

Mateja Ferk

© 2016, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Uredniški odbor: David Bole, Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Mateja Ferk, Matej Gabrovec, Drago Kladnik, Blaž Komac, Jani Kozina, Janez Nared, Drago Perko, Primož Pipan, Katarina Polajnar Horvat, Nika Razpotnik Visković, Aleš Smrekar, Mateja Šmid Hribar, Maja Topole, Mimi Urbanc, Matija Zorn

Urednika: Blaž Komac, Matija Zorn

Recenzenta: Darko Ogrin, Andrej Šmuc

Fotografi: Andreja Ferk, Mateja Ferk, Janez Ferreira Stražišar, Matija Zorn

Kartografki: Mateja Ferk, Manca Volk Bahun

Oblikovalec: Drago Perko

Izdajatelj: Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Za izdajatelja: Drago Perko

Založnik: Založba ZRC

Za založnika: Oto Luthar

Glavni urednik: Aleš Pogačnik

Računalniški prelom: SYNCOMP d. o. o.

Tiskarna: Collegium Graphicum d. o. o.

Naklada: 250 izvodov

Naslovnica: Poplavljen Cerkljanski polje ob visokem vodostaju leta 2008.

Avtorica fotografije na naslovnici je Mateja Ferk, avtor fotografije na zalistu pa Milan Orožen Adamič.

CIP – Kataložni zapis o publikaciji

Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

911.2:556.166(497.471)"628.6"

FERK, Mateja

Paleopoplave v porečju kraške Ljubljane / Mateja Ferk ; [fotografi Andreja Ferk ... [et al.] ; kartografki Mateja Ferk, Manca Volk Bahun]. – Ljubljana : Založba ZRC, 2016. – (Geografija Slovenije, ISSN 1580-1594 ; 33)

ISBN 978-961-254-843-8

282130432

Knjiga je prosto dostopna tudi v elektronski obliki (pdf),

ISBN 978-961-254-845-2, COBISS.SI ID=282808064:

<http://zalozba.zrc-sazu.si/p/1272>

GEOGRAFIJA SLOVENIJE 33

PALEOPOPLAVE V POREČJU KRAŠKE LJUBLJANICE**Mateja Ferk**

UDK: 911.2:556.166(497.471)"628.6"

COBISS: 2.01

IZVLEČEK**Paleopoplave v porečju kraške Ljubljane**

V znanstveni monografiji je predstavljena raziskava paleopoplav v Pivški kotlini ter na Cerknškem in Planinskem polju, kjer je najpomembnejše sotočje vod v porečju kraške Ljubljane. Na tem območju se značilne poplavne oblike, kot so poplavne ravnice, rečne terase, korozijske skalne zajede na jamskih stenah ter drobnnozrnati sedimenti z vodoravno stratigrafijo, pojavljajo tudi na nadmorskih višinah, ki so bistveno nad najvišjimi recentnimi znanimi poplavami. Te oblike so obravnavane kot sledi paleopoplav. Njihov prostorski obseg je bil ugotovljen z morfometričnimi analizami oblik na površju in v jamah, z modeliranjem paleopoplav pa izračunana njihova prostornina in površina. S petrološkimi analizami je bil ugotovljen izvor poplavnega gradiva in dinamika sedimentacije, s čimer je bil dokazan obstoj paleopoplav. Morfokronološke analize so temeljile na datacijah sige med poplavnimi sedimenti z radiometričnima metodama ^{14}C in U-Th. Ugotovljeno je bilo, da je bila jakost poplav v preteklosti bistveno večja od jakosti recentnih poplav. Za Pivško kotlino so bila ugotovljena tri obdobja s paleopoplavami, v katerih se je višina poplav sčasoma zniževala. Dinamika pojavljanja paleopoplav je bila kljub višjim poplavam v preteklosti podobna današnjim. Tako kot ob današnjih poplavah v porečju Ljubljane se je tudi ob paleopoplavah iz suspenzije odlagalo drobnnozrnato gradivo. Plastovitost gradiva dokazuje ponovljivost paleopoplav, njegova debelina pa dolgotrajnost teh procesov. Te ugotovitve so v nasprotju s starejšimi razlagami paleohidroloških razmer v porečju Ljubljane, ki so govorile o trajni ojezeritvi kraških polj v preteklosti. Sklepamo, da se je skladno z dinamiko geomorfnihih procesov porečje Ljubljane hidrološko razvijalo skozi več faz paleookoljskih sprememb v kvartarju.

KLJUČNE BESEDE

fizična geografija, geomorfologija, krasoslovje, speleologija, sedimentologija, ^{14}C datacije, U-Th datacije, paleohidrologija, paleookolje, paleopoplave, Dinarski kras

GEOGRAFIJA SLOVENIJE 33

PALEOPOPLAVE V POREČJU KRAŠKE LJUBLJANICE**Mateja Ferk**

UDC: 911.2:556.166(497.471)"628.6"

COBISS: 2.01

ABSTRACT**Palaeofloods in karstic Ljubljana River Catchment**

The scientific monograph presents a research on palaeofloods in the main water confluence in the Ljubljana River Catchment, namely the area between the Pivka Basin, Cerknica Karst Polje, and Planina Karst Polje. Several geomorphological forms genetically related to floods have been identified, e.g. floodplains, river terraces, corrosion notches on cave walls, as well as laminated fine-grained sediments. Since they were found at higher altitudes than the present floods reach, they were considered as palaeoflood features. Morphometric analysis of the studied geomorphological forms was used to determine the volume of palaeofloods and their altitudinal range. The hydrometric characteristics of the palaeofloods were calculated by computer modelling. Petrological analyses of fine-grained sediments from the surface and caves were used to determine the origin of sediments and their settling velocities, hence to prove their flood origin. Furthermore, morpho-chronological analyses with radiometric methods ^{14}C and U-Th on flowstones interlaying with flood sediments were carried out. The results show that the volume and altitude of palaeofloods throughout the study area fairly exceeded the highest known recent floods. In the Pivka Basin three palaeoflood periods were determined showing a decline of palaeofloods' altitude through time. Although palaeofloods reached higher altitudes, the dynamics of palaeofloods was similar to the dynamics of recent floods: laminated fine-grained sediments were deposited from suspension during palaeofloods, which is also characteristic of recent floods in the Pivka Basin and of other karst poljes of the Notranjska Region. Laminated material confirms periodical flooding, while its depth and thickness prove the durability of the processes, contradicting older theories which assumed the karst poljes were permanently flooded in the past geomorphological periods. In conclusion it was established the Ljubljana River Catchment developed in several stages, with changing dynamics of the geomorphic processes reflecting palaeoenvironmental change in the Quaternary.

KEYWORDS

physical geography, geomorphology, karstology, speleology, sedimentology, ^{14}C dating, U-Th dating, palaeohydrology, palaeoenvironment, palaeofloods, Dinaric Karst

VSEBINA

Predgovor	9
1 Uvod	11
2 Metode	14
2.1 Morfološka analiza	14
2.2 Geomorfološko kartiranje	14
2.3 Speleološke analize	15
2.4 Morfometrične analize	15
2.4.1 Merjenje geometričnih lastnosti	16
2.4.2 Merjenje debeline alohtonih sedimentov	16
2.5 Laboratorijske analize drobnostnega gradiva	17
2.5.1 Rentgenska difrakcija	18
2.5.2 Rentgenska fluorescenca	18
2.5.3 Granulometrična analiza	18
2.6 Modeliranje paleopoplav	19
2.7 Morfokronološke analize	19
2.7.1 Radiometrična analiza ^{14}C	20
2.7.2 Radiometrična analiza U-Th	21
2.8 Sintezna metoda	21
3 Naravnogeografske značilnosti porečja kraške Ljubljane	22
3.1 Pivška kotlina	24
3.2 Cerkniško polje	26
3.3 Planinsko polje	28
4 Pregled literature in teoretska izhodišča	31
4.1 Klasični kras – svetovni pomen porečja Ljubljane za razvoj krasoslovja	31
4.2 Pretekle razlage razvoja porečja	31
4.2.1 Časovne opredelitve razvoja porečja	33
4.2.2 Paleookoljske rekonstrukcije	34
4.3 Pretekle raziskave poplav	34
4.3.1 Pivška kotlina	34
4.3.2 Cerkniško polje	41
4.3.3 Planinsko polje	45
5 Paleopoplave v porečju Ljubljane	50
5.1 Pivška kotlina	51
5.1.1 Sledi paleopoplav na površju	51
5.1.1.1 Grobišče	51
5.1.1.2 Stara vas	55
5.1.1.3 Postojnsko letališče	56
5.1.1.4 Stara opekarna	59
5.1.1.5 Mali Otok	61
5.1.1.6 Zagon	64
5.1.1.7 Veliki Otok	69
5.1.1.8 Risnik – jug	71
5.1.2 Sledi paleopoplav na površju in v udornicah Postojnskega krasi	73
5.1.2.1 Stara Apnenica	74
5.1.2.2 Velika Jeršanova dolina	76

5.1.2.3	Vodni dol	79
5.1.2.4	Površje nad Postojnsko jamo	82
5.1.3	Sledi paleopoplav v jamah	82
5.1.3.1	Rov novih podpisov	84
5.1.3.2	Plesna dvorana	87
5.1.3.3	Rov brez imena	90
5.1.3.4	Pisani rov	92
5.1.3.5	Velika gora	94
5.1.3.6	Zgornji Tartar	97
5.1.3.7	Spodnji Tartar	108
5.1.3.8	Hauptmanov kevderc	110
5.1.3.9	Spodmol v Koliševki	111
5.1.4	Skupne značilnosti sledi paleopoplav v Pivški kotlini	113
5.1.5	Modeliranje paleopoplav	114
5.2	Cerkniško polje	116
5.2.1	Sledi paleopoplav na površju	116
5.2.2	Sledi paleopoplav v udornicah	118
5.2.2.1	Globoki dol	120
5.2.3	Sledi paleopoplav v jamah	121
5.2.3.1	Jama pod cesto	122
5.2.4	Skupne značilnosti sledi paleopoplav na Cerkniškem polju	124
5.2.5	Modeliranje paleopoplav	125
5.3	Planinsko polje	127
5.3.1	Sledi paleopoplav na površju	127
5.3.2	Sledi paleopoplav v udornicah	131
5.3.2.1	Mrzli dol	131
5.3.3	Sledi paleopoplav v jamah	134
5.3.3.1	Planinska jama	134
5.3.4	Skupne značilnosti sledi paleopoplav na Planinskem polju	136
5.3.5	Modeliranje paleopoplav	137
6	Razlaga rezultatov	140
6.1	Pivška kotlina	140
6.2	Cerkniško polje	149
6.3	Planinsko polje	152
6.4	Skupne značilnosti paleopoplav v porečju Ljubljane in vzroki zanje	154
7	Sklep	163
8	Viri in literatura	167
9	Seznam slik	183
10	Seznam preglednic	186

PREDGOVOR

Knjiga *Paleopoplave v porečju kraške Ljubljane* obravnava paleopoplave na območju klasičnega kraša. Avtorici je kljub veliki raziskanosti tega območja, ki poteka že vsaj od Valvasorja dalje, uspelo dokazati nekaj novega: obstoj paleo-hidro-geomorfnih procesov v zanimivem obdobju prehoda iz pleistocena v holocen, o katerih doslej nismo vedeli praktično nič.

Knjiga prinaša veliko novosti v razumevanju porečja kraške Ljubljane. Predstavljene raziskave paleopoplav zaznamujejo izčrpen pregled dosedanjega znanstvenega dela na notranjskem krasu z različnih vidikov (geomorfološkega, geološkega, sedimentološkega, paleontološkega, arheološkega in hidrološkega), izjemno poznavanje geomorfologije in njenih sodobnih raziskovalnih metod, smotrna uporaba znanstveno-raziskovalnih virov in dobro poznavanje geografskih procesov v regiji.

Raziskava je potekala na zanimivem ozemlju, kjer se prepletajo vplivi alpskega, kraškega, sredozemskega, celinskega ... geomorfnega sistema. Avtorica je na podlagi preučevanja sledi geomorfnih procesov na površju (npr. kvartarne terase) in v podzemlju (npr. izmenjavanje sige in poplavne ilovice v kraških jamah) dokazala, da so obdobje antropocena zaznamovale visoke poplave, ki so nekaj izjemnega v primerjavi s sodobnimi poplavami, pri čemer pa njihovih vzrokov še ni bilo možno povsem razjasniti, saj v Sloveniji primanjkuje temeljnih raziskav o paleoekološki. Toliko bolj so zato pomembni rezultati raziskave, ki so velika novost za slovensko geomorfologijo, saj omogočajo globlji vpogled v slabo preučeno, a zanimivo obdobje prehoda iz pleistocena v holocen. Zanimivo posebej zato, ker se v obdobju od neolitika dalje geomorfnim procesom pri oblikovanju pokrajine v večji, tudi na zunaj očitni meri pridruži človek – *homo sapiens sapiens*, ki je pokrajino tako preoblikoval, da govorimo o kulturni pokrajini.

Težišče raziskave je bilo v hidrološkem zaledju Planinskega polja, kamor se podzemsko steka večina voda iz zaledja, ki obsega predvsem Pivško kotlino in območje Cerkniškega polja. Za raziskavo je bila pomembna sestava sedimentov, ki jih voda prinaša s seboj: za hitro tekoče vode so značilni večji delci, počasi tekoče vode, kot jih še danes opazujemo na območju kraških poplav, pa prinašajo manjše delce, ki se iz vode počasi usedajo na dno. Prav takšni glinasti delci, za katere je značilna tudi plastovitost, so odličen dokaz za obstoj periodičnih poplav. Kjer se glinasti sedimenti izmenjujejo s sigo, je bilo možno ugotoviti starost poplav in tako posredno sklepati o tem, v kakšnih razmerah so se pojavljale.

Interdisciplinarnost raziskave, ki posega na področje humanistike in naravoslovja, potrjuje uporaba zelo raznovrstnih raziskovalnih metod, tako kabinetnih (3D analiza površja, geografski informacijski sistemi) kot laboratorijskih in terenskih. Avtorica se je očitno zavedala, da lahko le s terenskim delom postavi nova izhodišča za bodoče geomorfološke raziskave na kontaktnem krasu, to je stičišču rečnega in kraškega reliefa. Poleg jemanja vzorcev sedimentov v jamah je terensko delo obsegalo tudi vzorčenje sedimentov iz vrtin na površju, raziskave lastnosti in lege sedimentov z napravo za merjenje električne upornosti in podrobne analize vpliva morfologije površja na poplave. Sedimenti so bili analizirani z najsodobnejšimi metodami, ki obsegajo sedimentološke analize (laboratorij Univerze La Trobe v Avstraliji), rentgensko difrakcijo (zahvala gre Oddelku za geologijo Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani) ter 12 radioogljivikovih (laboratorij na Floridi) in dve U-Th analizi starosti (laboratorij Univerze Melbourne v Avstraliji). Tovrstne analize ne bi bile možne niti koristne brez izvrstnega poznavanja lastnosti in lege primernih sedimentov v težko dostopnih delih številnih jam, posebej Postojnske in Planinske jame.

Glavni namen raziskave je bil ugotoviti in potrditi obstoj paleopoplav. Poseben izziv je bilo poiskati sedimente (sigo in poplavno ilovico) v legi, ki bi imela sporočilno vrednost, hkrati pa bi bili sedimenti primerni za datiranje. Da je to uspelo, potrjuje primerjava starosti sedimentov na različnih območjih in v različnih legah (glede na površje in jamske rove). Obstoj paleopoplav je avtorica potrdila v treh obdobjih. Na vhodu v Postojnsko jamo so poplave segle vsaj do nadmorske višine 538 m v obdobju pred 39,7 ka BP (do sredine MIS 3), v času do 28,7 ka BP (do zadnje faze MIS 3) so segle do nadmorske višine 530 m, v obdobju do 10,9 ka BP pa največ do nadmorske višine 529 m (do zgodnjega holocena).

Drugi namen raziskave je bil ugotoviti, do kod so segle takšne poplave. S tega vidika so posebnost sledovi holocenskih poplav na Planinskem polju. Avtorica je to ugotovila s prostorsko in časovno analizo jamskih sedimentov, ki temelji na njenem podrobnem znanju o legi klastičnih sedimentov v jamah. Analiza je, ob upoštevanju številnih drugih podatkov o paleookolju, potrdila obstoj poplav v porečju kraške Ljubljane, ki so segale veliko višje od današnjih. V Pivški kotlini so segale vsaj do nadmorske višine 535 m, kar je 15 m nad ravno današnjih poplav, na Cerkljanskem polju 22 m (575 m) nad raven današnjih poplav, na Planinskem polju pa do nadmorske višine 495 m, kar je celih 35 m nad ravno današnjih poplav.

Pomembna je ugotovitev, da je bila dinamika paleopoplav podobna današnjim, kjer se ob periodičnih poplavih na površju in v podzemlju odlaga poplavna ilovica. To je v nasprotju z ugotovitvami predhodnih raziskav, si so predpostavljale, da so bila kraška polja v preteklosti trajno ojezerjena.

Knjiga ima tudi uporabno vrednost, saj nakazuje možne družbene prilagoditve na poplave. Prinaša namreč odgovor na vprašanje, kakšne naravne pojave (poplave) lahko ob določenih razmerah pričakujemo v Sloveniji. S tem smo prišli do najpomembnejšega znanstvenega vprašanja, in sicer je to vprašanje vzroka tako visokih poplav na preučevanem območju. Med možnimi vzroki paleopoplav avtorica podrobno utemeljuje kraške procese, posebej prepustnost ponorov, nastajanje udornic, vpliv tektonike in podnebnih razmer ter delovanje človeka. Kot možen vzrok poplav je izključila omejeno prepustnost ponorov in nastajanje udornic, ni pa še bilo možno ugotoviti, v kolikšni meri so na paleopoplave vplivali tektonika in podnebne razmere ter dejavnost človeka v holocenu, posebej zaradi dejstva, da je na pojavljanje višjih poplav v preteklosti lahko vplivalo več dejavnikov hkrati. Odgovor na to vprašanje bi lahko dal le celosten preplet naravoslovnih in humanističnih znanstvenih raziskovanj. Čeprav bralec v knjigi ne dobi nedvoumnega odgovora na vprašanje vzrokov paleopoplav, kar je za tako znanstveno delo pravzaprav nekaj običajnega, v našem primeru pa je predvsem posledica zelo slabe poprejšnje raziskanosti paleookolja v Sloveniji, je dr. Mateja Ferk pomembno dopolnila razumevanje vpliva kvartarnih geomorfnih procesov na paleookolje v kvartarju na slovenskem ozemlju v obdobju zore človeštva. Delo zato lahko brez zadržkov prištevamo k vrhunskim geomorfološkim, s tem pa tudi geografskim delom.

dr. Blaž Komac

1 UVOD

Knjiga obravnava del porečja Ljubljanice, ki pripada porečju Save ter povodju Črnega morja. Območje je del Dinarskega gorstva, ki se razteza vzdolž obale Jadranskega morja od Italije do Albanije ter obsega okoli 60.000 km² in tvori najobsežnejšo strnjeno kraško pokrajino v Evropi (Mihevc s sodelavci 2010). Porečje Ljubljanice obsega približno 1800 km² (Brenčič 2008). Raziskava je omejena na osrednji del porečja, kjer je glavno sotočje vod pivškega in notranjskega kraka kraške Ljubljanice. Obravnavala sem Pivško kotlino, Cerkniško in Planinsko kraško polje ter vmesni kraški masiv.

Glavnina porečja kraške Ljubljanice je brez površinske rečne mreže. Praviloma je voda na površju zgolj v najnižjem delu Pivške kotline v okolici Postojne in na kraških poljih Notranjskega podolja. Za porečje so značilne periodične poplave, ki se pojavljajo enkrat do dvakrat letno (Arhiv hidroloških podatkov 2011). Med Pivško kotlino in kraškimi polji Notranjskega podolja so obsežni jamski sistemi (Kataster jam IZRK 2014), ki prevajajo vodo med njimi in jih povezujejo v kompleksen hidrološki sistem kraške Ljubljanice (Gams 1966; 1970; 2004; Kogovšek 1999; Kogovšek s sodelavci 1999).

V porečju so tudi reliefne oblike, kot so poplavne ravnice, rečne terase in korozijske skalne zajede v jamah, ki so značilne za poplavna območja (Bull 1981; Springer in Kite 1997; House s sodelavci 2002; Harden 2006; Marriott 2006; Ford in Williams 2007; Farrant in Smart 2011; Wolman in Leopold 2013), a so na višjih nadmorskih višinah, kot jih dosežejo poplave v današnjih hidroloških razmerah. Prav tako so v jamah drobnozrnati sedimenti z vodoravno stratigrafijo, ki so značilni poplavni sedimenti (Baker s sodelavci 1988; Springer 2002; Bridge 2003; Marriott 2006; Wohl 2006) in jih v recentnih hidroloških razmerah poplave ne dosežejo.

Poplave so med najpogostejšimi in ekonomsko najobremenjujočimi naravnimi nesrečami v Sloveniji (Komac, Natek in Zorn 2008) pa tudi v velikem delu sveta (Human cost of Natural Disasters 2015). Pogosti razlogi nepripravljenosti na poplavne dogodke ne izvirajo zgolj iz zanemarjanja preventivnega ukrepanja v razmerju do znanih recentnih hidroloških razmer, ampak tudi iz podcenjevanja največjih magnitud posameznih dogodkov, ki vedno znova presenetijo (Mueller 2003). Sledi preteklih hidroloških razmer nudijo priložnost, da z geomorfološkim preučevanjem pridemo do spoznanja o preteklih okoljskih razmerah ter omogočajo boljšo oceno magnitude poplav (Baker 2008; Hooke 2015), ki so zunaj dometa opravljenih meritev in zgodovinskih virov (Toonen s sodelavci 2015). Podatki meritev iz zadnjega stoletja ne zadoščajo za celovito razumevanje okoljskih kazalnikov in procesov, posebej pa njihovih amplitud. Paleookološke študije pomembno prispevajo k preventivnemu ravnanju družbe in povečanju njene prožnosti (Hooke 2015).

Poplave na kraških poljih so posledica dviga gladine podzemne vode (Turk 2008; Turk in Gabrovšek 2009). Dinamika nihanja podzemne vode se med kraškimi območji po svetu razlikuje v odvisnosti od nasičenosti podlage z vlago po daljšem deževnem obdobju na piedmontskih in robnih kraških poljih, zajezev zaradi bližine morja, sezonskega spreminjanja količine vode v krasu ali litološko pogojenih razlik v hidravlični prevodnosti kraških vodonosnikov (Roglič 1939; 1952; 1957; Šerko 1948; Lehmann 1959; Gospodarič in Habič 1978; Kranjc in Lovrenčak 1981; Milanović 1981; Mijatović 1984; Lopez-Chicano s sodelavci 2002; Perica, Bogar in Lozić 2002; Gams 2005; Ford in Williams 2007; Turk in Gabrovšek 2009; Bonacci 2013). Na hidravlično prevodnost kraškega vodonosnika vplivajo tudi litološka raznolikost, prelomne cone, podori in druge nezveznosti v kamnini (Brenčič 1994; Dreybrodt, Gabrovšek in Romanov 2005; Ford in Williams 2007; Stepišnik 2010).

Nihanje višine kraške vode lahko opazujemo v obdobju poplavljenih dostopnih jamah in na površju, kjer poplave dosežejo dna kraških polj in nižje dele drugih kraških depresij. Habič (1987) je na Dinarskem krasu na podlagi dinamike poplav ločil pet tipov kraških polj:

- trajno poplavljen polja v bližini morja (jezero Vrana na otoku Cres, Vransko jezero pri Šibeniku, Bačinska jezera ob Neretvi, Skadarsko jezero),
- obmediteranska v celoti ali delno poplavljen polja (Imotsko polje, Popovo polje, Rastok pri Vrgoracu),

- obmediteranska suha polja (Dugo polje v bližini Splita, Ljubinsko polje),
- občasno poplavljenega kraškega polja celinskega dela Dinarskega kraka (Pivška kotlina, Cerklješko polje, Planinsko polje) ter
- suha kraška polja celinskega dela Dinarskega kraka (Babno polje, Glamočko polje, Grahovsko polje, Njeguško polje).

V novejših raziskavah je med vzroki za številne obsežne poplave vse bolj izpostavljena vloga človeka (Parise 2003), ki je s krčenjem gozda odstranil rastje in s tem povzročil pospešeno erozijo tal ter hitrejši odtok padavinske vode (Gams s sodelavci 1993; Sorriso Valvo 1993; Gams in Gabrovec 1999; Parise in Wasowski 2000).

Zgodovina raziskovanja in preučevanja reliefnih oblik in procesov v porečju Ljubljane ima že večstoletno tradicijo (Kircher 1678; Valvasor 1689; Hacquet 1778; Hohenwart 1830; Grund 1903; Rus 1925; Melik 1928; 1951; 1955; Šerko 1946; 1949; 1951; Brodar 1950; 1952; Pleničar 1953; Osolc 1959; 1974; Breznik 1961; Gams 1965; 1966; Jenko 1965; Gospodarič 1976; Ravnik 1976; Gospodarič in Habič 1978; Čar in Gospodarič 1984; Habič in Gospodarič 1987; Habič 1989).

Raziskave, ki so med drugim temeljile tudi na numeričnih datacijah, so bile usmerjene predvsem v preučevanje najstarejših hidro-geomorfnih faz razvoja podzemnih jam (Gospodarič 1976; 1981; Zupan 1991; Zupan Hajna s sodelavci 2008a; 2008b; Zupan Hajna, Mihevc in Prelovšek 2010), manj pozornosti je bilo namenjeno stratigrafsko najvišjim, to je najmlajšim plastem sedimentov (Šušteršič, Šušteršič in Stepišnik 2003; Ferk 2011; Stepišnik s sodelavci 2012). Nikoli niso bile podrobno preučene poplavne oblike na površju, kot so uravnave in drobnostni laminirani sedimenti.

Poplavne oblike na površju in v danes hidrološko neaktivnih jamah sem obravnavala kot sledi višjih poplav v preteklosti, za katere sem uporabila mednarodni termin paleopoplave (angleško *paleofloods*; Kochel in Baker 1982; Baker 1987; House s sodelavci 2001 v: Baker 2003). Paleopoplave so poplavni dogodki v geološki preteklosti, z njihovim preučevanjem in rekonstrukcijo se ukvarja hidrologija paleopoplav (angleško *paleoflood hydrology*; Kochel in Baker 1982; Baker 1987; Springer 2002). Preučevanje paleopoplav se razlikuje od drugih tipov paleohidrologije po tem, da je usmerjeno v analize najvišjega vodostaja in ne hidroloških razmer na splošno (Baker 2008). Rezultati so uporabni za ugotavljanje geomorfnih učinkov poplav ter hidrološko-podnebnih povezav (Baker 2008). Dinamika pojavljanja paleopoplav z večjo magnitudo je lahko pokazatelj spreminjanja podnebnega vzorca (Wohl 2002 v: Wohl 2006).

Poglaviti namen raziskave je bil, da s podrobno preučitvijo izbranih geomorfnih oblik v porečju kraške Ljubljane dokažem, da so te oblike nastale ob poplavah ter, da so paleopoplave segale do višjih nadmorskih višin, kot jih dosežejo recentne poplave.

Ker je za reliefne oblike, ki jih gradijo drobnostni sedimenti z vodoravno stratigrafijo, značilno, da lahko nastanejo ob ponavljajočih se poplavah (Nanson in Croke 1992; Aslan 2003; Nanson in Gibling 2003; Marriott 2006; Anderson in Anderson 2010; Warburton 2011), kakršne se v današnjih hidroloških razmerah pojavljajo v nižjih, hidrološko aktivnih delih porečja Ljubljane, sem sklepala, da je bila dinamika pojavljanja paleopoplav podobna današnji in so bile paleopoplave periodičen pojav, le da se je gladina kraške vode in posledično poplav dvignila do višje nadmorske višine.

Podrobnejši cilji raziskave so bili:

- pregledati in ovrednotiti razpoložljivo literaturo o današnjih in preteklih poplavah v porečju kraške Ljubljane,
- prepoznati geomorfološke sledi paleopoplav na površju,
- dokumentirati prostorsko razporeditev geomorfoloških sledi paleopoplav,
- prepoznati in prostorsko dokumentirati sledi paleopoplav v podzemlju,
- ugotoviti prostorski in višinski obseg paleopoplav,
- ugotoviti izvor in velikostno sestavo delcev drobnostnega gradiva in s tem dokazati katere oblike so nastale ob paleopoplavah,
- izračunati hidrometrične lastnosti paleopoplav,
- časovno opredeliti obdobje pojavljanja paleopoplav in
- določiti možne vzroke za pojavljanje paleopoplav.

V teoretskem delu monografije so na podlagi literature navedena starejša spoznanja o poplavih v porečju kraške Ljubljane, ki obravnavajo problematiko poplav v pleistocenu in holocenu oziroma dinamiko kvartarnih poplav. Na te podatke so navezani podatki o jamah, ki sem jih pridobila v Katastru jam Inštituta za raziskovanje krasi ZRC SAZU. Posebno pozornost sem namenila kakovosti podatkov.

Na teoretska izhodišča sem navezala lastno raziskovalno delo, ki je temeljilo na:

- morfološki analizi oblik na površju,
- geomorfološkem kartiranju,
- speleoloških analizah,
- morfometričnih analizah,
- petroloških analizah v laboratoriju,
- modeliranju,
- morfokronoloških analizah in
- sintezi rezultatov predhodnjih analiz.

Raziskava je prispevek k poznavanju razvoja hidro-geomorfnega sistema porečja kraške Ljubljane. Na podlagi rezultatov, pridobljenih s kabinetnim, terenskim in laboratorijskim delom dokazujem višje poplave v porečju kraške Ljubljane v preteklosti ter pojasnujem mehanizme in dinamiko pojavljanja le-teh.

Tovrstne raziskave so bile opravljene že v različnih delih sveta (Baker, Benito in Rudoy 1993; House s sodelavci 2002 v: Baker 2003; Springer 2002; Clarke s sodelavci 2003; 2004; O'Connor in Costa 2004; Sridhar 2007; Wohl 2006; Gornitz 2009; Haberlah s sodelavci 2010; Lipar in Ferk 2015), kjer so ugotavljali starost, magnitudo in pogostost paleopoplavnih dogodkov, ob tem pa so poplave umestili v širši paleoekološki kontekst. Tudi spoznanja o dinamiki paleopoplav v porečju Ljubljane razkrivajo vpogled v takratne paleoekološke razmere.

2 METODE

Preučevanje paleopoplav v porečju Ljubljane je temeljilo na več metodah:

- z morfološko analizo oblik na površju sem prepoznala geomorfološke sledi poplav, ki danes niso hidrološko aktivne;
- z geomorfološkim kartiranjem teh oblik sem dokumentirala njihovo prostorsko razporeditev;
- s speleološkimi analizami sem prepoznala in prostorsko dokumentirala sledi paleopoplav v podzemlju;
- z morfometričnimi analizami oblik na površju in v jamah sem ugotovila obseg paleopoplav v prostoru in njihov višinski razpon (merila sem geometrične lastnosti sledi paleopoplav in globino drobnostnega gradiva);
- na oblikah, ki sem jih predhodno opredelila kot geomorfološke sledi paleopoplav, sem s petrološkimi analizami vzorcev drobnostnega gradiva v laboratoriju dokazala, da se je gradivo odlagalo ob poplavih; z metodo rentgenske difrakcije je bila ugotovljena mineraloška sestava vzorcev, z metodo rentgenske fluorescence pa geokemijska sestava vzorcev; velikostna sestava delcev v vzorcih je bila ugotovljena z granulometrično analizo;
- z modeliranjem paleopoplav sem izračunala hidrometrične lastnosti paleopoplav ter prostornino in površino paleopoplav na površju oziroma količino vode, ki bi povzročila dvig gladine poplavne vode do določene nadmorske višine;
- z morfokronološkimi analizami sledi paleopoplav sem časovno opredelila obdobje paleopoplav in jih uvrstila v širši kontekst paleookoljskih razmer; z radioogljikovo (^{14}C) in uran-torijevo (U-Th) metodo je bila datirana siga iz jam, ki je bila odložena pod in nad drobnostnim poplavnim gradivom;
- s sintezo rezultatov predhodnih analiz sem določila možne vzroke za pojavljanje višjih poplav v preteklosti.

2.1 MORFOLOŠKA ANALIZA

Z morfološko analizo, ki je geomorfološka metoda za preučevanje reliefnih oblik ter ugotavljanje njihovega izvora in razvoja (Kladnik, Lovrenčak in Orožen Adamič 2005), sem preučila posamezne oblike reliefa. Glede na različne kriterije tipizacij jih lahko razvrščamo v skupine in tipe (Perko 2001; 2007; Ford in Williams 2007; Anderson in Anderson 2010). Za preučevanje paleopoplav je bila pomembna pregledna morfološka analiza izbranega območja znotraj porečja Ljubljane, na podlagi česar sem prepoznala reliefne oblike, ki bi lahko nastale ali bile preoblikovane pod vplivom višjih poplav v preteklosti. Sledi paleopoplav na površju sem dokazovala z analizo sedimentacijskih značilnosti poplavnega gradiva (Warburton 2011), ki je drobnostno in se odlaga v vodoravnih plasteh ter oblikuje značilne uravnave. Sledila je podrobnejša morfološka analiza izbranih oblik, ki sem jih geomorfološko kartirala.

2.2 GEOMORFOLOŠKO KARTIRANJE

Izbrane reliefne oblike sem na terenu geomorfografsko kartirala. Upoštevala sem smernice Smitha in Paina (2011), ki priporočata splošno geomorfološko kartiranje v manjšem merilu, nato pa podrobno kartiranje v večjem merilu. Pregledno sem kartirala Pivško kotlino, Cerkniško in Planinsko polje s hidrološkim zaledjem.

Prepoznavanje reliefnih oblik sem opravila s pomočjo digitalnega modela višin (Perko 2001) z natančnostjo 12,5 metra (DMV 12,5) v kombinaciji z geološkimi zemljevidi v merilu 1 : 100.000. Kartiranje je temeljilo na kartografskih podlagah v merilu 1 : 25.000 (TTN 25) in 1 : 5000 (TK 5). Podrobno geomorfološko kartiranje izbranih reliefnih oblik sem izvedla na kartografski podlagi TK 5. Rezultati kartiranja so prikazani v obliki digitalnih geomorfoloških zemljevidov.

Kartiranje je temeljilo na mednarodnih standardih za geomorfološko kartiranje (International Geographical Union 1968; Demek 1972; Natek 1983; 1993; Mentlik s sodelavci 2006; Pain, Paron in Smith 2008;

Smith in Pain 2011) in po priporočilih za preglednost in poenostavitev legend namenjenih merilom od 1:50.000 do 1:5000 (Otto, Gustavsson in Geilhausen 2011), ki sem jih prilagodila potrebam raziskave.

2.3 SPELEOLOŠKE ANALIZE

V Katastru jam IZRK (2014) sem pregledala gradivo o registriranih jamah na preučevanem območju. Pri pregledovanju gradiva o jamah sem posebno pozornost namenila jamam z vodoravnimi rovi in jamam, katerih absolutne nadmorske višine posameznih rogov sežejo v predvideni razpon paleopoplav. Zato sem že ob prvem pregledu izločila plitva brezna s preprosto morfologijo (navpični rovi) na višjih nadmorskih višinah. Iz podrobnejšega pregleda gradiva so bile izključene tudi jame, ki so v freatični ali epifreatični hidrografski coni, saj ne kažejo preteklih, temveč recentne hidrološke razmere. Pozornost sem usmerila zlasti na podatke o drobnozrnatih sedimentih v jamah, ki so ponekod prikazani na načrtih jam ali omenjeni v zapisnikih. Zaradi dolge tradicije zbiranja gradiva, so dostopni podatki o primarnem stanju nekaterih jam, ki so bile kasneje antropogeno spremenjene (urejanje za turistični obisk, vandalizem, uničenje zaradi izgradnje infrastrukture). Na podlagi zbranih podatkov v katastru in legi jam sem izbrala jame za speleološko analizo.

Terenski pregled jam je obsegal lociranje jamskih vhodov s pomočjo kartografskega gradiva in GPS naprave, osnovni pregled jam in določitev nahajališč možnih sledi paleopoplav, zlasti vodoravnih korozijskih in sedimentacijskih oblik, ki so značilne za poplavna območja. Speleološke analize so obsegale:

- analizo primarnih jamskih oblik,
- merjenje nadmorskih višin naplavin drobnozrnatega gradiva v vodoravnih plasteh in
- izbor najprimernejših mest za vzorčenje avtohtonih in alohtonih sedimentov.

Analiza primarnih jamskih oblik je obsegala analizo oblik, ki nastanejo pod vplivom tekoče ali stoječe vode ter na stiku kamnine z drobnozrnatimi sedimenti, kot so fasete, kupole, žlebiči, draslje, vodoravne polkrožne stenske zajede in anastomoze (Bull 1981; Slabe 1995; Springer in Kite 1997; Springer, Kite in Schmidt 1997; Lauritzen in Lundberg 2000; Kiernan, Lauritzen in Duhig 2001; Bruthans in Zeman 2003; Bosch in White 2007; Auler s sodelavci 2009; Farrant in Smart 2011).

Nadmorske višine alohtonih sedimentov sem določila s pomočjo obstoječih načrtov jam, če sem zanje lahko objektivno določila, da so rezultat natančne izmere jam, in s *Thommen* altimetrom, ki sem ga umerila na najbližji znani fiksni točki izmerjene nadmorske višine. Da bi pridobila podatke o zaporednih fazah odlaganja alohtonih sedimentov, sem bila zlasti pozorna na prereze s čim več sedimentacijskimi sekvencami. Kjer je bilo mogoče, sem uporabila naravno ali antropogeno izpostavljene prereze, da bi se izognila zamudnemu in nepotrebnemu spreminjanju jamskega okolja.

Za vzorčenje v jamah sem pridobila dovoljenje Agencije Republike Slovenije za okolje. Lokacije odvzema vzorcev sem izbirala po dveh kriterijih, in sicer (1) glede na lego jame ali jamskega rova v celotnem preučevanem območju in (2) glede na heterogenost sedimentacijskih sekvenc. Tako sem zagotovila prostorsko dovolj razpršen vzorec za ugotavljanje razsežnosti paleopoplav ter zadostno količino podatkov znotraj posamičnega prereza za razlago spreminjanja sedimentacijskih značilnosti v preteklosti. Prednostno sem obravnavala prereze, ki so med sedimentacijskimi sekvencami vsebovali plasti avtohtonih jamskih sedimentov oziroma sigo v primarni legi. Ker je sigo mogoče datirati, je to omogočilo, časovno opredelitev odlaganja sedimentov.

2.4 MORFOMETRIČNE ANALIZE

Z morfometričnimi analizami, ki so metode kvantitativne opredelitve reliefnih oblik (Perko 2001; 2007), sem podrobno analizirala površinske reliefne oblike in oblike v jamah, ki sem jih s predhodnimi analizami opredelila kot verjetne poplavne oblike. Zajela sem podatke o geometričnih lastnostih sledi paleopoplav in globino vodoravno odloženih naplavin. Rezultate sem pridobila s terenskimi meritvami na površju in v podzemlju ter z GIS analizami na podlagi digitalnega modela višin 12,5 m.

2.4.1 MERJENJE GEOMETRIČNIH LASTNOSTI

Za izbrane oblike na površju in v jamah sem zajela podatke o njihovih temeljnih geometričnih lastnostih (Perko 2007):

- dolžino in širino reliefnih oblik sem merila z merskim trakom dolžine 30 m in Leica DISTO laserskim merilcem dolžin;
- višino površinskih reliefnih oblik sem merila z altimetrom *Thommen* in GPS napravo *Magellan Triton*; višino oblik v jamah sem določila s pomočjo obstoječih načrtov jam (Kataster jam IZRK 2014), če sem zanje lahko objektivno ocenila, da so rezultat natančne izmere jam, ali izmerila z altimetrom *Thommen*, ki sem ga umerila na najbližji znani fiksni točki izmerjene nadmorske višine;
- naklon površinskih reliefnih oblik sem izračunala z GIS analizami na podlagi DMV 12,5; za določitev reliefnih oblik na podlagi naklonov sem uporabila mednarodne standarde za klasifikacijo reliefnih enot (Demek 1976; Speight 1980; Gams in Natek 1981; Bogner 1986; Perko 1992), ki sem jih prilagodila za specifične potrebe lastnih raziskav; območja z naklonom od 0 do 2° sem opredelila kot uravnave (Penck 1924; Komac in Zorn 2005; 2007), ki so bile v ospredju preučevanja površinskih reliefnih oblik; podrobnejše meritve naklona oblik, ki sem jih z GIS analizami opredelila kot uravnave, sem na terenu merila z merskim trakom dolžine 30 m, laserskim merilcem dolžin *Leica DISTO*, naklonomerom *Suunto* in kompasom;
- lego preučevanih oblik sem podrobneje določila z GPS napravo *Magellan Triton*.

2.4.2 MERJENJE DEBELINE ALOHTONIH SEDIMENTOV

Za izbrana območja drobnozrnatega gradiva na površju sem zajela podatke o njegovi debelini, ki sem jo izmerila z meritvami električne upornosti tal. Metoda temelji na meritvah razlik v električni upornosti med različnimi litološkimi strukturami (Daniels in Alberty 1966; Keller in Frischknecht 1966; Loke 1999). Električna upornost različnih kamnin, prsti in kemijskih elementov je odvisna od njihove poroznosti, pretlosti, vsebnosti vode in mineralov ter koncentracije ionov (Telford, Geldart in Sheriff 1990; Loke 1999; Zhou, Beck in Stephenson 2000). Merjenje poteka z oddajanjem električnega toka v podlago iz posameznih sond in merjenjem razlike v električni napetosti na drugih sondah pri različnih kombinacijah postavitve oddajnih in prejemnih sond (Herman 2001). Iz oddanega električnega toka (I) in zaznane napetosti (V) na drugi sondi, naprava izračuna navidezno specifično upornost (p_a) v enotah Ohm-m (Ravnik 1965; Loke 1999):

$$p_a = k \times V/I$$

kjer je k geometrijski faktor, ki je odvisen od uporabljene postavitve oddajnih in prejemnih sond. Ker pa dajo meritve upornosti številčno vrednost ($R = V/I$), se navidezna specifična upornost v praksi računa po enačbi (Loke 1999):

$$p_a = k \times R$$

Izračunana navidezna specifična upornost ni prava upornost gradiva v podlagi, saj izračun predpostavlja homogeno sestavo tal, ki ni odvisna od uporabljene postavitve oddajnih in prejemnih sond. Razmerje med navidezno in pravo upornostjo je precej kompleksno, zato se pravo električno upornost izračuna s pretvorbo meritev navidezne specifične upornosti s pomočjo računalniške programske opreme (Loke 1994 v: Loke 1999).

V raziskavi sem dvodimenzionalne (2D) meritve prevodnosti gradiva izvedla z napravo *SuperSting R1/IP*, ki jo razvija podjetje *Advanced Geoscience*. Sestavljajo jo računalnik in kabli z merilnimi sondami, ki jih med seboj zaporedno povežemo (Loke 1999). Sonde pritrdimo na posebne nosilce v obliki

klinov, ki jih zabijemo približno 30 cm globoko v tla. Napajanje računalnika in električno energijo med sondami zagotovimo z akumulatorjem. Za pridobitev koristnih podatkov je najpomembnejši izbor ustrezne lokacije merjenja: 2D metoda je primerna zlasti za ugotavljanje značilnosti prečnih prereзов čez linijske geomorfne pojave (Loke 1999).

Terenski del merjenja je obsegal postavitve linije nosilcev sond in njihovo pritrdjevanje ter povezovanje merilnih kablov. Želene parametre merjenja, kot sta izbor metode merjenja in določitev razdalje med sondami, sem nastavila na računalniku. Ponavljajoče se merjenje običajno traja okoli 15 minut, meritve se shranjujejo na računalniku. Izmerjene podatke sem s programskim orodjem *EarthImager 2D*, ki ga razvija *Advanced Geoscience*, obdelala in pretvorila v 2D modele, ki prikazujejo značilnosti električne prevodnosti gradiva v merjenih presekih ter posredno globino drobnozrnatega gradiva.

Število sond in razdalja med njimi sta poljubni, vendar mora biti razdalja med vsemi sondami enaka (Loke 1999). Natančnost meritev je odvisna od števila in oddaljenosti sond (Reynolds 1997 v: Herman 2001; EarthImager 2003; Stepišnik in Mihevc 2008). Največja globina (Z_e) merjenja upornosti tal se izračuna kot zmnožek razdalje med sondami (a) in globinskega faktorja (d_a) ali kot zmnožek med dolžino merjenega preseka (L) in globinskim faktorjem (d_L) (globinski faktor je konstanta, odvisna od metode in števila ponovitev meritev, ki jo odčitamo iz preglednice) (Edwards 1977; Loke 1999):

$$Z_e = a \times d_a$$

ali

$$Z_e = L \times d_L$$

Izračunane vrednosti veljajo za idealne razmere, kjer je upornost gradiva v podlagi homogena. Ker se v praksi upornost spreminja, je največja globina merjenja, ki jo posamezne metode dosežejo, običajno manjša (Loke 1999).

Meritve sem izvedla z 20 sondami (5 kablov po 4 sonde), kar zadošča kriterijem za doseg verodostojnih rezultatov (Loke 1999). Razdalje med sondami so bile od 2 do 5 m, s čimer sem dosegla natančnost rezultatov od 1 do 2,5 m ter globino od 10 do 30 m.

Za doseg specifičnih ciljev merjenja električne upornosti tal v posameznih primerih je zelo pomembna izbira najustreznejše metode (Edwards 1977). Posamezne metode imajo svoje prednosti in slabosti glede na doseganje ustrezne globine meritev, vodoravno ali navpično natančnost ter moč signala (Loke 1999; Zhou, Beck in Adams 2002). V raziskavi sem posamično ali v kombinaciji uporabljala tri najpogostejše metode merjenja električne upornosti tal (Loke 1999; Dahlin in Loke 1998; Herman 2001; Zhou, Beck in Adams 2002; Komac 2006): Wenner, Schlumberger in dipol-dipol.

2.5 LABORATORIJSKE ANALIZE DROBNOZRNATEGA GRADIVA

Drobnozrnate sedimente na površju in v jamah, za katere sem s predhodnimi analizami ugotovila, da bi lahko bili odloženi ob paleopoplavah, sem vzorčila za petrološke analize (Tucker 2001) v laboratoriju. Za vzorčenje drobnozrnatih sedimentov v jamah sem pridobila dovoljenje Agencije Republike Slovenije za okolje. Lokacije za odvzem vzorcev sem izbrala glede na prostorsko razpršenost vzorcev v celotnem preučevanem območju in glede na heterogenost sedimentacijskih sekvenc.

Tako sem zagotovila prostorsko razpršen vzorec za ugotavljanje razsežnosti paleopoplav in zadostno količino podatkov znotraj posameznega prereza za razlago spreminjanja sedimentacijskih značilnosti v preteklosti.

V laboratoriju so bile opravljene rentgenska difrakcija, rentgenska fluorescenca in granulometrična analiza sedimentov. Z rentgensko difrakcijo se je določalo mineraloško sestavo sedimentov, z rentgensko fluorescenca geokemično sestavo sedimentov, z granulometrično analizo pa teksturo sedimentov. Na podlagi rezultatov laboratorijskih analiz sem ugotavljala, katere oblike so nastale ob paleopoplavah in iz nadaljnjih raziskav izključila druge oblike.

Analize rentgenske difrakcije in rentgenske fluorescenca ter del granulometričnih analiz so bile izvedene v laboratoriju Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Del granulometričnih analiz je bil izveden v laboratoriju Fakultete za okoljsko geoznanost (*Environmental Geoscience*) Univerze La Trobe v Melbourne v Avstraliji.

2.5.1 RENTGENSKA DIFRAKCIJA

Rentgenska difrakcija (XRD) je metoda za preučevanje mineraloške sestave sedimentov. Z njo smo ugotovili, kateri minerali sestavljajo sediment, na tej podlagi pa izvorno območje sedimenta (Haldorsen s sodelavci 1989; Stanley, Nir in Galili 1998). Analize so bile opravljene z rentgenskim difraktometrom *Phillips*. Pri snemanju so bili uporabljeni naslednji parametri: napetost 40 kV, tok 30 mA, valovna dolžina rentgenske svetlobe CuK α 1,5418 Å, sekundarni grafitni monokromator in proporcionalni števec. Snemanje je bilo izvedeno v kotnem območju 2° do 70° 2 θ , s hitrostjo 0,5° 2 θ /minuto, meja detekcije mineralov je znašala 3–5 %. Rezultati so pridobljeni s kvantitativno analizo mineralov, ki je določena po Rietveldovi metodi (Šmuc 2013).

2.5.2 RENTGENSKA FLUORESCENCA

Rentgenska fluorescenca (XRF) je metoda za preučevanje geokemične sestave sedimentov. Z njo smo ugotovili, kateri kemijski elementi sestavljajo sediment, s čimer smo določili značilnosti izvornega območja gradiva in potek diageneze (Huisman in Kiden, 1998; Roberts s sodelavci 2001). Postopek temelji na različnem prehajanju sevanja skozi gradivo (Hamblin 1962). Razlike v kemijski sestavi sedimenta povzročajo različno stopnjo pridušenosti, kar odseva v različni gostoti žarkov na podlagi. Metodo uporabljajo za ugotavljanje izjemno majhnih količin geokemijskih vključkov v sedimentu (Roberts 1994). Analize so bile opravljene z rentgenskim fluorescenčnim analizatorjem *Niton* (XL3t GOLDD 900He). Rezultati so prikazani kot povprečje elementne sestave celotnega vzorca (Šmuc 2013).

2.5.3 GRANULOMETRIČNA ANALIZA

Granulometrična analiza je metoda za določanje deleža peska, melja in gline v sedimentu. Na podlagi razmerja teh deležev smo opredelili dinamiko sedimentacije analiziranega gradiva (Mather 2011). Ker je velikost zrn odvisna od značilnosti razpoložljivega gradiva v izvornem območju (Pudsey 1992; Mather in Hartley 2005), smo analizo opravili na vzorcih sedimentov, za katere smo že ugotovili izvorno območje.

Gradivo je bilo analizirano z digitalno metodo merjenja velikosti zrn, ki je arbitrarno, saj v splošnem velja, da velikost zrn predstavlja drugi polmer od treh osnovnih (Church 2011).

Digitalne granulometrične analize so bile opravljene z napravo *Microtrac*-FRA9200. Priprava vzorcev je obsegala sušenje, drobljenje, homogenizacijo in kvartiranje, nato pa je bila izvedena sejalna analiza z mokrim sejanjem (Šmuc 2013). Postopek temelji na dveh korakih (Lira in Pina 2011) – prepoznavanje in razločevanje zrn ter razvrstitev zrn v velikostne razrede.

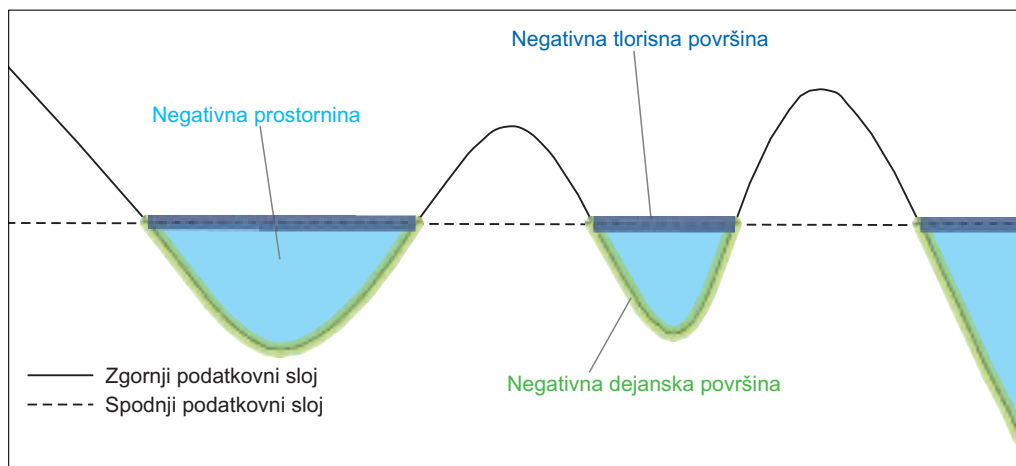
Rezultati so prikazani v obliki preglednic in grafikona. Vzorce semnato razvrstila v velikostne skupine po ameriški teksturni klasifikaciji (Wentworth 1922) in jih glede na ameriški teksturni trikotnik razvrstila v teksturne razrede (Plaster 1992). Da bi ugotovila način transporta in sedimentacijske okoliščine analiziranih sedimentov, sem rezultate granulometrične analize prikazala na granulometričnem diagramu (Pavšič 2006), iz katerega razberemo način transporta sedimentov. Granulometrični diagram (angleško *CM patterns*) je opredelil Passega (1957; 1964). Temelji na vrednosti mediane velikosti delcev in enem percentilu največjih delcev (Vijayakumar, Vasudevan in Pruthiviraj 2011; Xiao, Li in Chen 2013).

2.6 MODELIRANJE PALEOPOPLAV

Hidrometrične lastnosti paleopoplav v Pivški kotlini ter na Cerkniškem in Planinskem polju sem modelirala z geografskimi informacijskimi sistemi. Izdelala sem podrobne digitalne modele območij in digitalne modele poplav na izbranih nadmorskih višinah ter izračunala prostornino in površino, ki bi jo obsegale poplave.

Prostornino vodnega telesa in razlike v prostornini glede na višino možnih paleopoplav sem računal s programskim orodjem *Surfer 9* (Sistem za kartiranje površja, angleško *Surface Mapping System*). Prostornino izračunamo kot razliko med spodnjim in zgornjim slojem rastrskih podatkov (slika 1). Prostornine so računanane za vsako celico rastrskega sloja. Računanje prostornin je tem natančnejše, čim gostejše so točke rastrskega sloja. Program rezultate izpiše v obliki poročila. Prostornine so podane v kubičnih vrednostih glede na enoto vhodnih podatkov. Rezultati prikazujejo pozitivno in negativno prostornino. Pozitivna prostornina je prostornina med zgornjim in spodnjim podatkovnim slojem, ko je zgornji sloj nad spodnjim. Negativna se nanaša na prostornino med slojema, ko je zgornji sloj pod spodnjim. Prostornino jezera izračunamo tako, da za zgornji podatkovni sloj izberemo digitalni model višin izbranega območja, za spodnji sloj pa gladino jezera, ki jo prikazemo kot ravno ploskev na poljubni nadmorski višini. Prostornina jezera je v poročilu prikazana kot negativna prostornina (Surfer ... 2012).

Računanje površin s programskim orodjem *Surfer 9* temelji na opredelitvi spodnjega in zgornjega podatkovnega sloja (slika 1). Za računanje površin veljajo enake omejitve in pravila kot pri računanju prostornin. V poročilu o rezultatih izračuna prostornin so podane vrednosti za izračun tlorisne projekcije površine in dejanske površine (Perko 2001). Pozitivna dejanska površina površja je, kjer je zgornji podatkovni sloj nad spodnjim. Negativna dejanska površina površja pa tam, kjer je zgornji podatkovni sloj pod spodnjim. Površina jezera je podana kot negativna tlorisna površina, površina poplavljenega območja pa kot negativna dejanska površina (Surfer ... 2012).



Slika 1: Prikaz računanja prostornine in površine poplav na podlagi spodnjega in zgornjega sloja rastrskih podatkov (prirejeno po Surfer ... 2012).

2.7 MORFOKRONOLOŠKE ANALIZE

Z morfo-kronološkimi analizami sem časovno opredelila paleopoplave. Analize so bile opravljene na vzorcih sige, ki sem jih vzorčila v izbranih presekih naplavin v jamah. Za vzorčenje sige sem pridobila dovoljenje Agencije Republike Slovenije za okolje. Izbor vzorcev je temeljil na legi sige glede na

plasti drobnaznatih sedimentov za katere sem s petrološkimi analizami dokazala, da so bili odloženi ob paleopoplavah. Prednostno sem obravnavala sigo, ki je sedimente omejevala navzdol in navzgor, da bi dobila časovni razpon, v katerem so bili odloženi vmesni sedimenti.

Morfokronološke analize lahko temeljijo na numeričnih ali relativnih datacijah:

- numerične datacije (Brandova 2011; Wintle 2013), imenovane tudi absolutne (Watchman in Twidale 2002), so tiste s katerimi določimo številčno vrednost starosti v letih – uporabila sem radiometrični metodi ^{14}C in U-Th;
- relativne metode datiranja (Watchman in Twidale 2002; Brandova 2011) temeljijo na časovni razporeditvi dogodkov v preteklosti brez ugotavljanja njihove absolutne starosti, saj ugotavljamo le zaporednost sekvenc (stratigrafsko lego). V raziskavi sem upoštevala zakon o superpoziciji plasti (McGraw-Hill ... 2003), ki temelji na predpostavki, da so spodnje plasti starejše od višjih oziroma da je mlajša vsaka plast gradiva, ki je odložena na spodnjo.

Pri kronološki razlagi sedimentov sem upoštevala rezultate preteklih raziskav, ki so temeljile na radiometričnih metodah ^{14}C (Gospodarič 1971; Zupan 1991) in U-Th (Ford in Gospodarič 1989; Zupan Hajna s sodelavci 2008a), paleomagnetizmu in magnetostratigrafiji (Zupan Hajna sodelavci 2008a; 2008b; Zupan Hajna, Mihevc in Prelovšek 2010) ter metodi tipološkega razvrščanja (Brodar 1950; Šercelj 1965a). Na podlagi rezultatov sem paleopoplave uvrstila v časovni okvir paleookoljskih procesov v kvartarju.

2.7.1 RADIOMETRIČNA ANALIZA ^{14}C

Kozmogeni izotop ogljika ^{14}C , imenovan radioogljik, je najtežji od treh izotopov tega elementa v naravi. Stabilna izotopa ^{12}C in ^{13}C sicer predstavljata 99,9 % oziroma 0,1 % ogljika v naravi. Izotopa ^{14}C je v gradivu le 1×10^{-12} , a je njegova razpolovna doba temelj kronoloških analiz (Hajdas 2008). ^{14}C nastaja v ozračju (Masarik in Beer 1999; Brown 2011), kjer se z oksidacijo pretvarja v molekule CO in CO_2 , pri čemer se pomeša z ostalimi atmosferskimi plini (Fairchild in Baker 2012). Meritve starosti so mogoče, ker se ^{14}C vgrajuje v organske in anorganske spojine ter zaradi znanega izotopskega ravnovesja med vgrajevanjem in razpadanjem ^{14}C v organizme, dokler so živi (Libby, Anderson in Arnold 1949). Ko organizem odmre, se izotop ^{14}C ne vgrajuje več. ^{14}C se z oddajanjem delcev beta pretvarja v dušik. Čas, ki je minil, od kar je bilo ravnovesje prekinjeno, lahko merimo s stopnjo beta razpadanja (konvencionalna metoda) ali štejem preostalih ^{14}C atomov (AMS metoda; angleško *accelerator mass spectrometry*; Higham s sodelavci 2006). Domet metode določa razpolovna doba ($T_{1/2}$) ^{14}C , ki je 5730 ± 40 let (Godwin 1962), in je približno 50.000–55.000 let (Hajdas 2008).

Metodo radioogljikovega datiranja so razvili Libby, Anderson in Arnold (1949). Prvi poskus nje-ne uporabe za merjenje starosti sige je napravil Geyh (1970), kasneje se je njena uporaba izboljševala (Fairchild in Baker 2012). Razpolovna doba ($T_{1/2}$) 5568 let, ki so jo sprva uporabili (Libby, Anderson in Arnold 1949), odstopa od pravih vrednosti za 3 %. Kljub temu je bilo doseženo soglasje, da se z uporabo Libbyjeve razpolovne dobe računajo konvencionalna radioogljikova leta, ki se nato s kalibriranjem (Bronk-Ramsey, van der Plicht in Weninger 2001) pretvorijo v koledarska leta (Hajdas 2008).

Radiometrične analize ^{14}C so bile opravljene v komercialnem laboratoriju *Beta Analytic* v Miamiju v ZDA. Uporabljena je bila konvencionalna radiometrična metoda (Olson, Karlen in Stenberg 1966). V istem laboratoriju so opravili kalibracijo rezultatov, ki temelji na podatkovnih bazah IntCal04 in IntCal09 (Beta Analytic Report 1-3 2011–2012). Teoretsko osnovo računanja so povzeli po Talmi in Vogelu (1993 v: Beta Analytic Report 1-3 2011–2012). Rezultati so prikazani z grafikoni, kjer je na kalibracijski krivulji prikazana konvencionalna radioogljikova starost ter razporeditev verjetne starosti, ki je podana kot $\delta 1$ (68 % verjetnost) in $\delta 2$ (95 % verjetnost) (Beta Analytic Report 1-3 2011–2012).

2.7.2 RADIOMETRIČNA ANALIZA U-TH

Metoda datiranja z U-Th je temelj paleopodnebnih in okoljskih raziskav (Fairchild in Baker 2012). Izotopi ^{234}U , ^{238}U , ^{230}Th imajo različne atomske mase in razpadajo z emisijo alfa delcev (Lauritzen in Mylroie 2000). Najpogostejši metodi za merjenje sta alfa spektrometrija in masna spektrometrija (Hellstrom, Drysdale in Zanchetta 2006). Pred meritvami so nujne kompleksne priprave vzorcev, da se izotopi ločijo od kalcitne matrike (Ivanovich in Harmon 1992).

V sigo se U vgrajuje iz pronicujoče vode skupaj s kalcitom (CaCO_3). Vsebnost v pronicujoči vodi je odvisna od vsebnosti U v matični kamnini. Koncentracija U v sigi je od 0 do 100 $\mu\text{g/g}$ (Ford in Williams 2007). Razmerje med ^{234}U in ^{230}Th v karbonatnih kamninah je v ravnovesju, saj so kamnine običajno stare več milijonov let. Na preučevanem območju prevladujejo kamnine mezozojske starosti (Buser s sodelavci 1967). Ker Th ni topen v naravni vodi, predvidevamo, da v pronicujočo vodo iz kamnine prehaja zgolj ^{238}U , zaradi česar metoda predpostavlja, da je razmerje $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ v pronicujoči vodi enako nič ter razmerje $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ večje od začetnega ravnovesja v kamnini (Scholz in Hoffmann 2008).

Natančnost in izvedljivost metode je odvisna predvsem od dveh dejavnikov (Surić, Juračić in Horvatinčić 2004; Hellstrom 2006; Scholz in Hoffmann 2008; Sanna s sodelavci 2010): v sigi ne sme biti začetnega ^{232}Th in po sedimentaciji mora ostati sistem zaprt.

Do motenj prihaja, ker se v sigo skupaj z organsko snovjo lahko vgrajuje detritičen ^{232}Th , če je siga po odložitvi izpostavljena drugačnim hidrološkim razmeram (poplave), pri čemer se iz sige spira ^xU (Ford in Hill 1999; Borsato s sodelavci 2003).

Radiometrične analize U-Th so bile opravljene v univerzitetnem laboratoriju Univerze v Melbourneu v Melbourneu v Avstraliji. Razlago in kalibracijo rezultatov je opravil J. Hellstrom (Report U-Th 1 2013).

Ker je siga zelo občutljiva na okoljske razmere, se je radiometrična analiza U-Th izkazala kot manj primerna metoda za datiranje sige, ki je bila odložena med poplavnimi sedimenti.

2.8 SINTEZNA METODA

Z razlago morfodinamike paleopoplav, na podlagi sinteze rezultatov petroloških in morfokronoloških analiz, sem ugotovila, kateri procesi so vplivali na paleopoplave. Prostorska in časovna opredelitev paleopoplav je omogočila razlago možnih vzrokov zanje ter oceno verjetnosti, da se v recentnih hidroloških razmerah ponovijo poplave takšnega obsega.

3 NARAVNOGEOGRAFSKE ZNAČILNOSTI POREČJA KRAŠKE LJUBLJANICE

Kraško porečje Ljubljane obsega Pivško kotlino na jugozahodu, Javornike in Snežnik na jugu, Notranjsko podolje in Bloško planoto na vzhodu, na severu pa Hrušico, Hotenjsko podolje ter Logaško polje z okolico do Vrhnike. Površina območja je okoli 1800 km² (slika 2).

Območje pripada zmernemu celinskemu podnebnemu tipu (Ogrin 1998). Povprečna letna temperatura nižjih delov je od 8 do 10 °C, vzpetih delov pa od 6 do 8 °C (Cegnar 1998). Območje prejme letno povprečno od 1600 do 2000 mm padavin (Zupančič 1998).

Naravno rastje na območju je gozd (Zupančič, Seliškar in Žagar 1998), vendar so dna kotlin izkoriščena za obdelovalna zemljišča, poselitev, industrijo in infrastrukturo. Med obdelovalnimi zemljišči prevladujejo travniki in pašniki ter njive. Na vzpetih območjih med kotlinami prevladuje dinarski gozd buke in jelke.

V celotnem porečju prevladujejo kamnine mezozojske starosti, nekaj je mlajših kamnin. Triasne kamnine gradijo Logaško polje ter območja severno in zahodno od njega. Pojavljajo se zahodno od Planinskega polja in severno od Postojnskega krasa kjer gradijo pobočja Planinske gore. So tudi na Unško-Rakovškem polju z okolico ter vzhodno od Begunj v porečju Cerknišnice. Kamnine jurske starosti so severozahodno od Planinske gore na območju Hrušice, na vzhodnem robu Unško-Rakovškega in Cerkniškega polja ter na območju Loškega in Babnega polja z okolico. Pas kamnin kredne starosti poteka od severovzhodnega roba Logaškega polja na severu, do vzhodnega roba Planinskega polja na jugu, kjer se razširi in seže od Kalc na severozahodu do Ivanjega sela na jugovzhodu. Kredne kamnine gradijo tudi Postojnski kras med Pivško kotlino in Planinskim poljem, pogorje Javornikov in Zgornjo Pivško kotlino med Hruševjem, Prestrankom in Koritnicami. Kamnine eocenske starosti so na zahodnem obrobju Pivške kotline in v njenem v dnu. Nižji deli ob vodotokih v Pivški kotlini ter dna kraških polj prekrivajo kvartarne naplavin (Buser s sodelavci 1967; slika 2)).

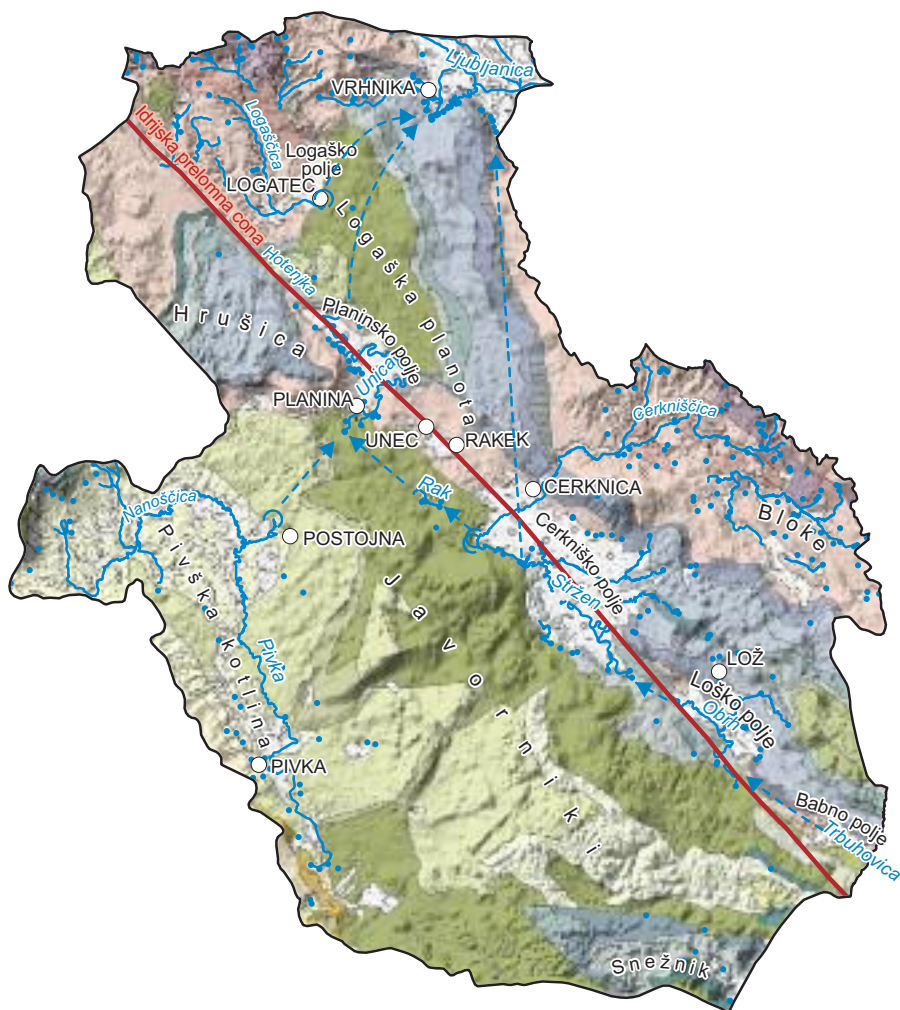
Večji del porečja je brez površinske rečne mreže. Periodično se voda na površju pojavlja na kraških poljih. Izjema je Cerkniščica, ki zbira vode na pretežno dolomitni Vidovski planoti in se površinsko zlija na Cerkniško polje. Rečna mreža je razvita zgolj v Spodnji Pivški kotlini, kjer je Nanoščica s pritoki oblikovala številne erozijske jarke, grape in doline ter vršaje in poplavne ravnice. V Pivški kotlini se stekata Pivka, ki teče od Zagorja na jugu proti severu, in Nanoščica, ki zbira vodo z zahodnega in severnega obrobja kotline ter teče proti jugovzhodu. Sotočje rek je zahodno od Postojne. Reki združeno kot Pivka ponikata v Postojnsko jamo na severovzhodu Pivške kotline.

Na Notranjskem podolju se združujejo vode z jugovzhodne smeri (Trbuhovica z Babnega polja, Obrh z Loškega polja ter vode z Bloške planote, Stržen in Cerkniščica s Cerkniškega polja) in vode iz severozahodne smeri (Hotenjska s Hotenjskega podolja ter vode s Hrušiške planote). Glavno sotočje vod v porečju je na območju Planinskega polja, kjer se združujejo vode Pivškega in Notranjskega kraka kraške Ljubljane. Od Planinskega polja tečejo vode podzemno proti izviru Ljubljane na Ljubljanskem barju (Šerko 1946; Gams 1966; 1970; Gospodarič in Habič 1976; Kogovšek 1999; Petrič in Šebela 2005; Kogovšek s sodelavci 2010).

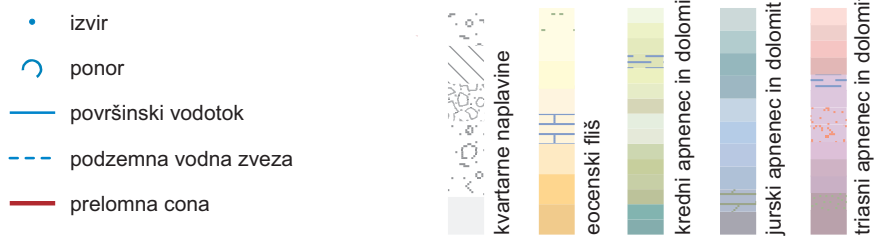
Kraška polja v porečju so v tektonsko pretrtih conah (Čar 1982; Čar in Gospodarič 1984). Ker jih vode delno prečkajo površinsko, so dna uravnana z naplavinami, kamninska podlaga pod njimi pa je precej razčlenjena (Ravnik 1976; Čar 1982; Mihevc 1986). Debelina naplavin niha za več metrov (Breznik 1961; 1998; Mihevc 1986; Šušteršič in Šušteršič 2003).

Za porečje Ljubljane so značilne periodične poplave, ki se pojavljajo enkrat do dvakrat letno (Arhiv ... 2011). Poplave so posledica dviga gladine podzemne vode v krasu (Turk 2008; Turk in Gabrovšek 2009). Vsako leto se ojezerijo kotanje v Zgornji Pivški kotlini in so poplavljeni najnižji deli kotline ob Nanoščici in Pivki, zlasti pred ponorom v Postojnsko jamo. Poplave na Loškem, Cerkniškem,

Slika 2: Geološke in hidrološke značilnosti porečja kraške Ljubljane. ►



Geološke in hidrološke značilnosti porečja kraške Ljubljane



Avtorica vsebine: Mateja Ferk

Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun

Vir: Buser s sodelavci 1967

Podlaga: GURS 2015, ARSO 2015.

© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU



Unško-Rakovškem in Logaškem polju so visoke do nekaj metrov, na najnižjem Planinskem polju pa dosežejo 10 m, pri čemer je poplavljenno celotno dno polja (Gams 1965; 1966; 1979; Gospodarič in Habič 1978; Habič 1985; Breznik 1998; Kovačič in Habič 2005; Arhiv ... 2011).

Med Pivško kotlino in kraškimi polji Notranjskega podolja so obsežni jamski sistemi (Kataster jam IZRK 2014) povezani v kompleksen hidrološki sistem kraške Ljubljanice (Gams 1966; 1970; 2004; Kogovšek 1999; Kogovšek s sodelavci 1999). Najdaljši jamski sistem v porečju je več kot 21 kilometrov dolg Postojnski jamski sistem (Kataster jam IZRK 2014).

Vodoravna oblika in dimenzije jamskih rovov so značilni za kontaktni kras, pri katerem ponorne reke v kras spirajo mnogo alogenovih sedimentov (Renault 1968; Newson 1971; Pasini 1975; 2009; Ford in Ewers 1978; Auler in sod., 2009; Farrant in Smart 2011).

Znotraj porečja kraške Ljubljanice sem za podrobnejše raziskave izbrala ožje območje, ki je hidrološko najpomembnejši del porečja, saj se tam združujejo vode Pivškega in Notranjskega kraka kraške Ljubljanice. Ožje preučevano območje obsega Pivško kotlino, Cerkniško in Planinsko polje ter območje med njimi, kar je okoli 400 km².

Zgornjo Pivško kotlino, Javornike in Logaško planoto severno od Planinskega polja gradijo debeloplastnati mikritni apnenci kredne starosti. Debeloplastnati bituminozni dolomiti triasne starosti so v skalni podlagi dna Cerkniškega, Unško-Rakovškega in Planinskega polja ter gradijo pretežni del Planinske gore. Na obrobju preučevanega območja, severno od Cerkniškega in Unško-Rakovškega polja in v zaledju zahodnega obrobja Planinskega polja, so oolitni apnenci in bituminozni dolomiti jurske starosti. Nekarbonatne kamnine so v flišnem spodnjem delu Pivške kotline (Buser s sodelavci 1967; slika 2)).

S sledenji so dokazali, da del vod iz Pivške kotline odteka proti izvirov v Vipavski dolini (Habič 1989; Kogovšek s sodelavci 1999), vode s Cerkniškega polja pa deloma odteka tudi neposredno v izvire Ljubljanice pri Bistri (Habič 1985). Osrednje sotočje kraške Ljubljanice je na območju Planinskega polja. Na južni strani izvirajo vode iz Pivške kotline, na jugovzhodni rob pritekajo vode iz Notranjskega podolja, na severozahodnega pa iz Hotenjskega podolja. Izviri alogene vode iz Hrušiške planote izvirajo na številnih mestih na zahodnem robu polja. Alogene vode z območja Javornikov se podzemsko združijo s pritoki iz Pivške kotline in Notranjskega podolja. Ponori so ob celotnem vzhodnem in severozahodnem obrobju polja, od koder voda odteka proti izvirov Ljubljanice na Ljubljanskem barju (Gams 2004).

Na ožjem preučevanem območju je registriranih 589 jam (Kataster jam IZRK 2014), od tega je 244 vadoznih brezen, 53 hidrološko aktivnih jam, 292 jam pa je hidrološko neaktivnih, a so genetsko vezane na freatično in epifreatično hidrografske cono. V raziskavi sem se osredotočila na hidrološko neaktivne jamske rove, ki so bili v območju nihanja gladine kraške vode v preteklosti. Z vidika količine in kakovosti ohranjenih rečnih naplavin so najpomembnejši Postojnski jamski sistem v Pivški kotlini, Velika in Mala Karlovica ter Zelške in Tkalca jama v zaledju ponorov Cerkniškega polja, ter Planinska jama, Logarček, Najdena jama in Gradišnica ob Planinskem polju.

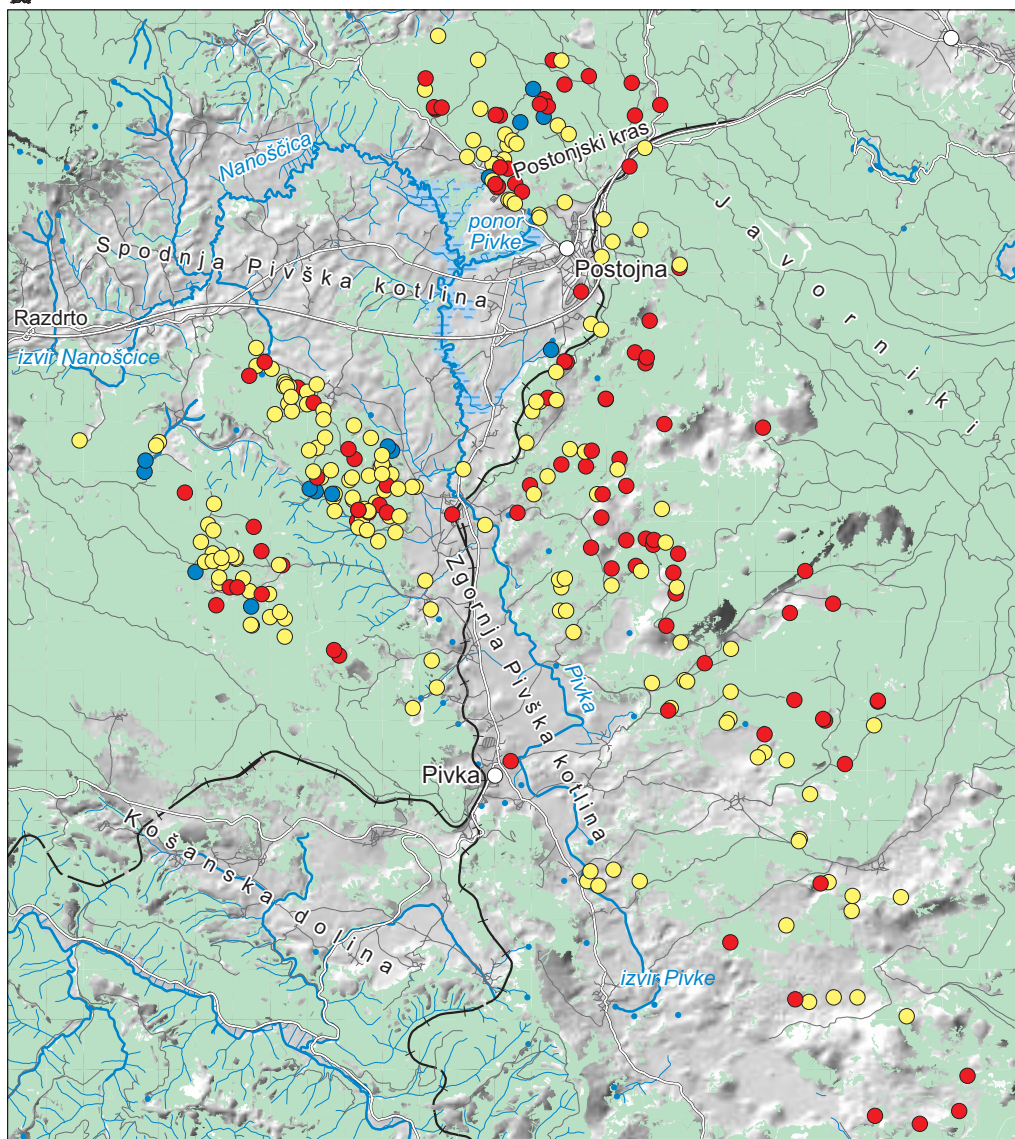
3.1 PIVŠKA KOTLINA

Pivška kotlina je med Nanosom in Hrušico na severu, Javorniki na vzhodu, Snežnikom na jugu ter Košansko dolino in Slavinskim ravnikom na zahodu. Glede na geološke, geomorfološke in hidrološke značilnosti jo delimo na Zgornjo in Spodnjo.

Zgornja Pivška kotlina se začena na jugu pri Koritnicah in sega do Prestranka na severu. V glavnem je oblikovana v rudistnih in mikritnih apnencih zgornjekredne starosti, zahodno od Pivke jo omejuje pas alveolinsko-numolitnih apnencev spodnjeeocenske starosti in srednjeeocenskega fliša, kjer se menjavajo plasti laporovca, glinavca in peščenjaka (Buser s sodelavci 1967; slika 2).

Zgornjo Pivško kotlino zaznamuje kraški geomorfni sistem. Skalno dno je razmeroma ravno na nadmorski višini od 545 do 535 m. Prekriva ga tanka plast drobnozrnatega gradiva. Hidrološko območje

Slika 3: Hidrološke značilnosti Pivške kotline. ►



Hidrološke in speleološke značilnosti Pivške kotline

- izvir
- površinski vodotok
- poplavno območje
- brezno
- vodoravna suha jama
- hidrološko aktivna jama

Avtorica vsebine: Mateja Ferk

Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun

Vir: Kataster jam IZRK 2014

Podlaga: GURS 2015, ARSO 2015.

© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

0 1 2 4 km

deluje kot periodično poplavljenno kraško polje. Ob visokem vodostaju se aktivirajo občasni kraški izviri, v najnižjih kotanjah nastanejo jezera. Najvišji pritoki Pivke izvirajo pod Veliko Milanjo jugovzhodno od Koritnic na nadmorski višini 780 m, vendar voda kmalu ponikne v požiralnike v strugi. Glavni izvir Pivke je v Pivščah pri Zagorju na nadmorski višini 554 m (Kovačič in Habič 2005). Na robovih uravnave izvira več stranskih pritokov Pivke. V preteklosti je bila struga Pivke plitva, nakazovale so jo zgolj posamezne kotanje v naplavini, poplavna voda pa se je razlivala po ravninah. Da bi pospešili odtok, so strugo poglobili (Šerko 1951). Severovzhodno od Selc Pivka zapusti poplavno ravnico, ki se nadaljuje do Prestranka, in teče v do 8 m globoki soteski, vrezani v skalno podlago. Tok Pivke v tem delu je občasen, saj se ob srednjem in nizkem vodostaju vode prestavijo v podzemlje. Stalen tok ima Pivka šele severno od Prestranka (slika 3).

Spodnja Pivška kotlina je med Prestrankom na jugu, Razdrtem na zahodu, Šmihelom, Landolom in Belsko žago na severu ter Postojno na vzhodu. Sestavljajo jo flišne kamnine srednje-eocenske starosti z menjavanjem laporovca, glinavca in peščenjaka. Ponekod so v flišu vložki apnenčeve breče (Buser s sodelavci 1967).

V Spodnji Pivški kotlini prevladuje rečno-akumulacijski geomorfni sistem. Osrednji vodotok, kamor se zlivajo številni stranski pritoki, je Nanoščica. Povirje Nanoščice je pri Razdrtem na nadmorski višini 575 m. Dolina Nanoščice ima blaga pobočja, široko dno in majhen strmec. Strmejša in ožja so doline stranskih pritokov. Ob visokem vodostaju Nanoščica na več mestih poplavi. Zahodno od Postojne se zлива v Pivko, ki priteka iz smeri Prestranka. V najnižjem delu Spodnje Pivške kotline je periodično poplavljen poplavna ravnica na nadmorski višini 515 m. Poplave običajno sežejo do nadmorske višine 516 m, pojavijo se večkrat letno in trajajo nekaj dni ali tednov (Arhiv hidroloških podatkov 2011). Najvišje izmerjene poplave so segale do nadmorske višine 520 m (Drole 2013). Glavni ponor vode v Pivški kotlini je nižji vhod v Postojnsko jamo na nadmorski višini 511 m (slika 3).

Na območju Pivške kotline je registriranih 302 jam (Kataster jam IZRK 2014; slika 3), od tega sta 102 vadozni brezni, 14 je hidrološko aktivnih jam in 186 hidrološko neaktivnih jam, ki so nastale ali bile preoblikovane pod gladino kraške vode. Največja gostota jam je na Orehovškem krasu in ob ponornem robu kotline med Postojno in Zagonom. Prevladujejo hidrološko neaktivne jame z vodoravnimi rovi. Povečini so ohranjeni ali dostopni kratki odseki nekdanjih vodnih jam, ki so izpostavljeni zmrzalnemu in biokemičnemu preperevanju, zaradi česar so alohtoni in avtohtoni sedimenti, ki bi kazali na pretekle hidrološke razmere, redki ali težko dostopni.

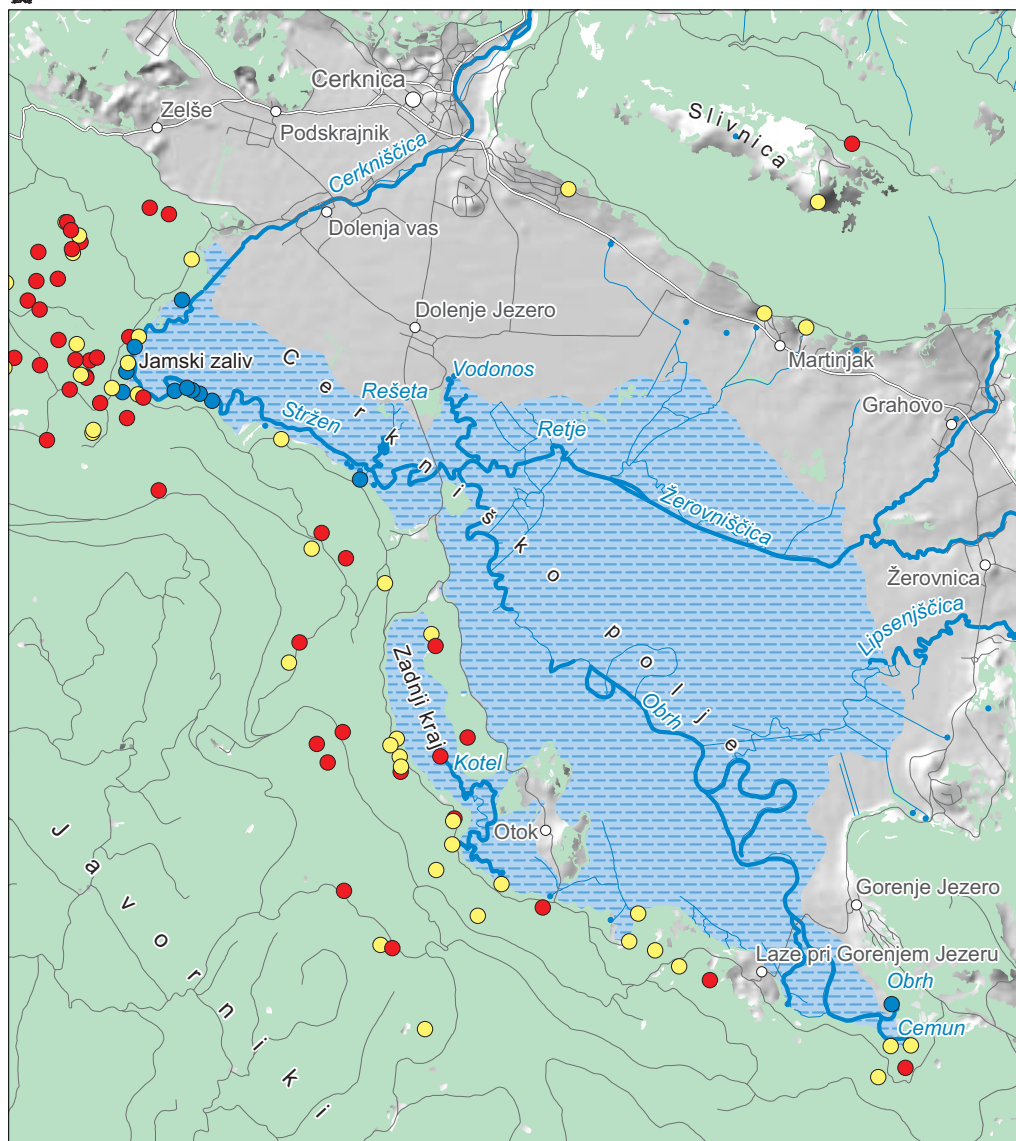
V Pivški kotlini je največ arheoloških najdišč paleolitske kulture v Sloveniji (Turk 1999). Sledi so odkrili predvsem v vhodnih delih vodoravnih jam. Med obsežnimi arheološkimi izkopavanji so iz jam sistematično odstranili večino klastičnih sedimentov, ki so se odlagali v preteklih hidroloških in podnebnih razmerah. Ti sedimenti bi bili pomemben pokazatelj paleoekoloških razmer. Delna rekonstrukcija okoljskih procesov v preteklosti je mogoča zgolj s podrobno analizo poročil arheoloških izkopavanj in z relativno primerjavo stratigrafije ohranjenih sedimentov. Edine jame, v katerih alohtoni sedimenti niso bili v celoti odstranjeni, pripadajo Postojnskemu jamskemu sistemu: Postojnska jama, Otoška jama, Črna jama, Magdalena jama in Pivka jama.

3.2 CERKNIŠKO POLJE

Cerkniško polje je med Javorniki na jugu in zahodu, Unško-Rakovškim poljem na severozahodu, Laškim ravnikom na severu, Slivnico in Bloško planoto na vzhodu ter Loškimi poljem na jugovzhodu (slika 2).

Zahodno obrobje polja gradijo debeloplastnati mikritni apnenci spodnjekredne starosti in na robu polja prehajajo v apnenice in dolomite zgornjejurske starosti, ki gradijo zahodni del polja pod glinastimi in šotnimi jezerskimi sedimenti kvartarne starosti. Na vzhodnem in severnem obrobju polja se

Slika 4: Hidrološke značilnosti Cerkniškega polja. ►



Hidrološke in speleološke značilnosti Cerkniskega polja

- izvir
- površinski vodotok
- ▨ poplavno območje
- brezno
- vodoravna suha jama
- hidrološko aktivna jama

Avtorica vsebine: Mateja Ferk

Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun

Vir: Kataster jam IZRK 2014

Podlaga: GURS 2015, ARSO 2015.

© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

0 0,5 1 2 km

menjavajo proge debeloplastnatih dolomitov zgornjetriasne starosti ter mikritnih in oolitnih apnencev in bituminoznih dolomitov srednjejurske starosti, ki se nadaljujejo v dnu polja pod kvartarnimi naplavinami (Buser s sodelavci 1967; slika 2). Polje je oblikovano ob idrijski prelomni coni (Vrabec 1994). Višina razpokanega skalnega dna, ki je na višini 550 m, se spreminja za ± 5 m. Dno prekriva okoli meter debele plast naplavin, na severovzhodu pa še 2 do 6 m debele naplavine Cerkniškega vršaja (Pleničar 1953).

Na nadmorski višini 555 m na južni strani polja izvira Stržen v izviri Veliki in Mali Obrh, ki zbira vode iz Loškega polja. Ob vzhodnem robu polja so izviri vod iz Bloške planote: Lipsenjščica izvira na nadmorski višini do 565 m, Žerovniščica na nadmorski višini 570 m, Grahovščica in Martinjščica pa na nadmorski višini 560 m. Edini površinski pritok na polje je Cerkniščica, ki priteka z Vidovske planote. Na Cerkniško polje priteka na severovzhodu na nadmorski višini 565 m. Številni izviri avtogene vode, ki se pretaka skozi Javornike, so ob vsem zahodnem robu polja. Nižji deli polja so periodično poplavljeni. Poplave običajno sežejo do nadmorske višine 552 m in trajajo do osem mesecev (Gospodarič in Habič 1978). Najdlje se zadržijo v Zadnjem kraju, kjer včasih voda vse leto ne presahne. Najvišje izmerjene poplave so segale do nadmorske višine 553 m (Habič 1985). Ob najnižjem vodostaju se voda s polja v celoti umakne. Največje ponorne jame so v Jamskem zalivu, sicer voda ponika v požiralnikih na vsem dnu in obrobju polja (slika 4).

Na območju Cerkniškega polja je registriranih 127 jam (Kataster jam IZRK 2014; slika 4), od tega je 58 vadoznih brezen, 17 hidrološko aktivnih jam in 52 hidrološko neaktivnih jam, ki so genetsko vezane na oblikovanje in preoblikovanje pod gladino kraške vode. Največja gostota jam je v ponornem zaledju Jamskega zaliva in severozahodno od polja v smeri Rakovega Škocjana. Prevladujejo vadozna brezna in hidrološko neaktivne jame z vodoravnimi rovi. Ker so povečini ohranjeni ali dostopni le kratki odseki nekdanjih vodnih jam, so jame izpostavljene zmrzalnemu in biokemičnemu preprejevanju, zaradi česar so redko dostopni alohtoni in avtohtoni sedimenti, ki bi kazali na pretekle hidrološke razmere. Jame v okolici Cerkniškega polja so v veliki meri sprane, brez večjih količin alohtonih naplavin in z malo avtohtonimi sedimenti. Zato povečini niso primerne za preučevanje paleoekoloških razmer.

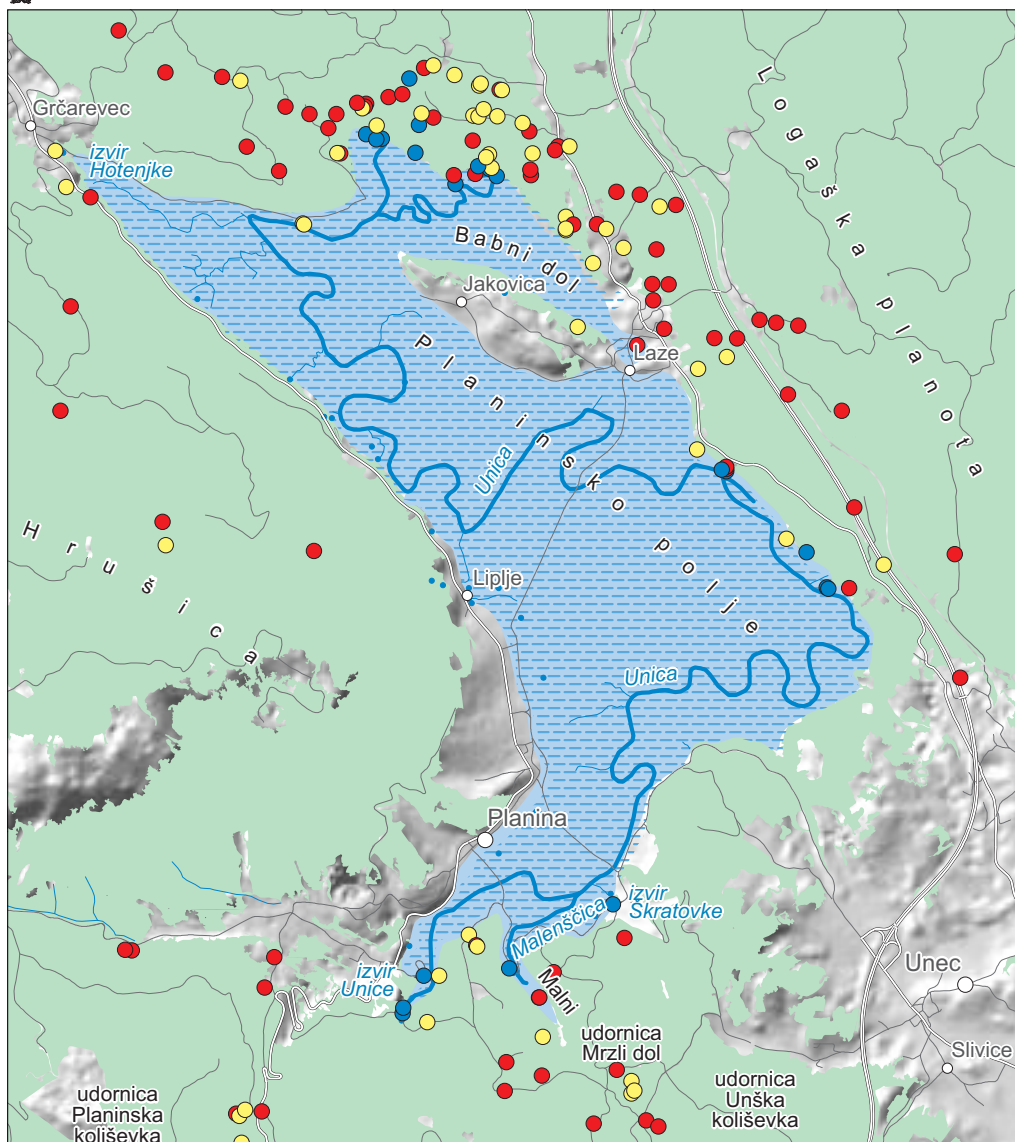
3.3 PLANINSKO POLJE

Planinsko polje leži med Hrušico na zahodu, Laškim ravnikom na severu in vzhodu, Unško-Rakovškim poljem na jugovzhodu in vnožjem Javornikov na jugu (slika 2).

Od zahoda proti jugovzhodu poteka pas debeloplastnatih dolomitov zgornjetriasne starosti, ki gradijo večino dna polja. Skrajni južni rob in vzhodno obrobje gradijo debeloplastnati mikritni apnenci z nekaj bituminoznega dolomita spodnjekredne starosti. Na vzhodni in severozahodni strani polja je nekaj mikritnih in oolitnih apnencev, apnenčeve breče in bituminoznega dolomita srednjejurske starosti, na severu rudistnih in mikritnih apnencev zgornjekredne starosti. V severnem zaledju polja je krpa rdečkastih in zelenkastih laporovcev in lapornatih apnencev zgornjekredne starosti in značilne kamninske plasti eocenskega fliša (Buser s sodelavci 1967; slika 2). Polje leži ob Idrijski prelomni coni (Vrabec 1994). Dno polja je na višini 445–450 m, prekriva ga do 6 m debela plast naplavin (Breznik 1998).

Na jugozahodu so izvir Unice, ki priteče iz Planinske jame na nadmorski višini med 454 in 458 m, Malenščice, ki izvira v več izviri v zatrepni dolini Malni, na nadmorski višini okoli 448 m, in Škratovke, ki izvira pod gradom Hasberg v občasni izviri na nadmorski višini med 450 in 455 m. V te izvire tečejo vode iz Pivške kotline, Notranjskega podolja in avtogene voda iz Javornikov. V občasne izvire na severozahodu teče voda iz Hotenjskega podolja, ob vnožju zahodnega roba polja v številnih občnih izviri izvira avtigena voda iz Hruške planote. Celotno dno polja je periodično poplavljen. Poplave običajno dosežejo nadmorsko višino 450 m in trajajo do tri mesece na leto (Breznik 1998; Arhiv hidroloških podatkov 2011). Najvišje izmerjene poplave so segale do nadmorske višine 458 m (Habe 1979). Ob najnižjem vodostaju se voda s polja v celoti umakne in je povprečno 3 m pod dnom polja. Največje

Slika 5: Hidrološke značilnosti Planinskega polja. ►



Hidrološke in speleološke značilnosti Planinskega polja

- izvir
- površinski vodotok
- poplavno območje
- brezno
- vodoravna suha jama
- hidrološko aktivna jama

Avtorica vsebine: Mateja Ferk

Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun

Vir: Kataster jam IZRK 2014

Podlaga: GURS 2015, ARSO 2015.

© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

0 0,5 1 2 km

ponorne jame so v severnem ponornem zaledju polja, a nimajo za človeka prehodnih rogov, ki bi jih povezovali s poljem. Sicer voda ponika v požiralnike ob vzhodnem robu in na dnu polja (slika 5).

Na območju Planinskega polja je registriranih 160 jam (Kataster jam IZRK 2014; slika 5), od tega je 84 vadoznih brezen, 22 hidrološko aktivnih jam in 54 hidrološko neaktivnih jam, ki so genetsko vezane na oblikovanje in preoblikovanje pod gladino kraške vode. Največja gostota jam je v severnem ponornem zaledju polja. Prevladujejo vadozna brezna in hidrološko neaktivne jame z vodoravnimi rovi, ki so pogosto zapolnjene z alohtonimi in avtohtonimi naplavinami. Dostopni so le kratki odseki nekdanjih vodnih jam, zaradi česar so sedimenti, ki bi kazali na pretekle hidrološke razmere, težko dostopni.

4 PREGLED LITERATURE IN TEORETSKA IZHODIŠČA

4.1 KLASIČNI KRAS – SVETOVNI POMEN POREČJA LJUBLJANICE ZA RAZVOJ KRASOSLOVJA

Porečji Ljubljane in Reke (vključno s planoto Kras) pripadata skrajnemu severozahodnemu delu Dinarskega krasa, kjer ima opisovanje površinskih in podzemnih kraških oblik že več tisočletno tradicijo (Kranjc 2010; Simoniti 2010). Prvi strokovni opisi in razlage kraških pojavov in procesov na svetu so se začeli v 17. stoletju prav v porečju kraške Ljubljane. Takrat je Kircher (1678) v delu *Mundus Subterraneus* na primeru Cerkniškega jezera razložil delovanje kraške hidrologije. Valvasorjeva (1689) Slava Vojvodine Kranjske je pomembno prispevala k prepoznavnosti Dinarskega krasa (Kranjc 2010). V naslednjih stoletjih so na Dinarski kras in v porečje Ljubljane prihajali številni priznani znanstveniki kot so Nagel, Gruber, Hacquet, Schmidl, Penck, Cvijić, Davis in Martel ter preučevali geomorfološki in hidrološki razvoj krasa (Kranjc 2010). K tolikšni pozornosti so prispevale tudi geopolitične razmere širšega ozemlja med 16. in 19. stoletjem (Kranjc 1994): čez Kranjsko je od Vrhnike prek Postojne in planote Kras potekal najnižji varen prehod med Srednjo Evropo oziroma Podonavjem ter Sredozemljem, Trst je imel od leta 1719 status svobodnega pristanišča. Povezavo so na zahodu oteževale Alpe, na vzhodu pa Otomanski imperij (Kranjc 1994). Planota Kras, ki je bila takrat skoraj povsem brez drevesnega rastišča, je s svojo kamnito podobo na popotnike naredila tolikšen vtis, da je postala sinonim za kraška območja (Kranjc 1994; Zorn, Kumer in Ferk 2015). Hohenwart (1830) je bil prvi, ki je v uvodu vodnika po Postojnski jami zapisal, da kras ni zgolj planota Kras, ampak, da je to tip pokrajine. Tako je izraz kras (nemško *Karst* in angleško *karst*) prešel v mednarodno literaturo, iz česar je izšlo poimenovanje znanstvene discipline, krasoslovje (angleško *karstology*) (Kranjc 2011; Ferk in Zorn 2015). V 19. stoletju se je začelo znanstveno preučevanje krasa (Kranjc 2010; Ferk in Zorn 2015). Zlasti geografi in geologi so bistveno prispevali k dokončni uveljavitvi strokovnega izraza kras in njegovih izpeljank v geomorfološki terminologiji (Morlot 1848; Schmidl 1854; Lorenz 1858; Urbas 1874; 1877; Cvijić 1895).

V 20. stoletju so pomembni prispevki k teoretskim osnovam krasoslovja prihajali tudi iz drugih kraških območij po svetu (Ford in Williams 2007), pomen Dinarskega krasa za znanstveno disciplino pa se še zmeraj kaže v osrednjem mednarodnem srečanju krasoslovcev s celotnega sveta v Postojni (leta 2015 je potekala že 23. mednarodna krasoslovna šola »klasičen kras«) (Zupan Hajna, Mihevc in Gostinčar 2015). Hkrati je od leta 2002 v Postojni trajni sedež mednarodne speleološke zveze UIS (francosko *Union Internationale de Speleologie*), ki je bila leta 1965 v Postojni tudi ustanovljena (What is the UIS 2012). S Slovenskega dela Dinarskega krasa prihaja tudi najpomembnejša ugotovitev zadnjih nekaj desetletij v krasoslovju, ki je povsem spremenila teoretske predpostavke razumevanja razvoja krasa. V začetku devetdesetih let 20. stoltja je Mihevc s sodelavci iz Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU (Mihevc 1996; Mihevc in Zupan Hajna 1996; Mihevc, Slabe in Šebela 1998) predstavil *brezstropno jamo*, s čimer je bila dokončno ovržena teorija o cikličnem razvoju krasa oziroma teorija o predkraški fazi (Davis 1899; Cvijić 1918; Penck 1924; King 1963) ter postavljen temelj za povsem drugačno dojetje procesov na krasu (Ferk in Zorn 2015).

Zaradi zgodovinskega pomena uporabljamo za planoto Kras tudi izraz **matični Kras**. Ozemlje slovenskega Dinarskega krasa med Vrhniko in Trstom, vključno s porečjem kraške Ljubljane, pa imenujemo **klasični kras**, saj so raziskave krasa in kraških oblik tega ozemlja privedle do razcveta in razmaha krasoslovja in speleologije kot znanosti. Moderno krasoslovje obravnava kraške oblike tega ozemlja kot tipične ali izhodiščne (klasične) oblike, s katerimi primerjamo vse ostale kraške oblike z drugih delov sveta (Kranjc 1994; Gams 2004; Ford in Williams 2007; Ferk in Zorn 2015; Lipar in Ferk 2015).

4.2 PRETEKLE RAZLAGE RAZVOJA POREČJA

V porečju Ljubljane so bile opravljene številne raziskave, in sicer:

- morfološke (Šerko 1949; Pleničar 1953; Melik 1955; Breznik 1961; Gams 1965; 1966; Ravnik 1976; Čar in Gospodarič 1984; Šušteršič in Šušteršič 2003; Šušteršič, Šušteršič in Stepišnik 2003; Ferk 2009, 2011; Ferk in Stepišnik 2011; Stepišnik s sodelavci 2012),

- hidrološke (Šerko 1946; 1951; Jenko 1965; Gams 1966; 1970; Gospodarič 1970a; Gospodarič in Habič 1978; Gospodarič, Kogovšek in Luzar 1983; Habič 1985; 1989; Habič in Gospodarič 1987; Kogovšek 1999; Kogovšek s sodelavci 1999; Kogovšek in Petrič 2004; Petrič in Šebela 2005),
- speleološke (Gams 1965; 1966; Gospodarič in Habič 1966; Gospodarič 1968; 1969a; 1969b; 1969c; 1970a; 1970b; 1970c; 1976) in
- arheološke (Brodar 1950; 1952; 1956; 1960; 1966; 1969; 1970; 1995; 1996; Osole 1959; 1963; 1966; 1974; 1975a; 1975b).

Prve razlage nastanka in razvoja porečja Ljubljane so bile objavljene v prvi polovici 20. stoletja (Rus 1925; Melik 1928). Čeprav so med Prezidom in Hotedrščico že prepoznali idrijski prelom (Rus 1925; Melik 1928), pa znižanega reliefa niso povezali z njim. Predvidevali so površinsko rečno mrežo v tako imenovani predkraški fazi, ko naj bi tekel površinski vodotok po Notranjskem podolju od Prezida do Cerkniškega in Planinskega polja (Krebs 1924 v: Melik 1928). Tam naj bi se mu pridružila površinska Hotenjska iz Hotenjskega podolja (Kossmat 1916 v: Melik 1928). Od Planinskega polja naj bi Ljubljana površinsko odtekala proti Logaškemu polju, kjer naj bi se ji pridružila Cerkniščica (Rus 1925; Melik 1928). Vode iz Pivške kotline naj bi prvotno odtekale površinsko v Vipavsko dolino (Kossmat 1916 v: Melik 1928) ali porečje Reke (Krebs 1924 v: Melik 1928). Na prehodu v pleistocen naj bi se površinski tokovi prestavili v podzemlje in usmerili proti severu (Melik 1928).

Prvi naravnogeografski opis porečja Ljubljane, ki je temeljil na podrobnejšem terenskem preučevanju, je objavil Šerko (1951). Analiziral je geološke, morfološke, hidrološke in speleološke značilnosti posameznih delov porečja, pri čemer je ugotavljal pomanjkljivosti v poznavanju podzemnih zvez med njimi. Posebno pozornost je namenil ugotavljanju prepustnih in neprepustnih delov kraških polj, saj je bila raziskava opravljena za potrebe načrtovanja hidrotehniških posegov za vodne akumulacije. Njegove ugotovitve so pomembno prispevale k razumevanju hidrološkega razvoja porečja. Za Zgornjo Pivško kotlino navaja, da so bile kotanje pri Zagorju in pod Parjem ter med Petelinjim in Prestrankom do nedavnega občasno ojezerjene, a so jih regulirali z izkopom umetne struge Pivke. Opazil je, da Pivka od Prestranka naprej in Nanoščica s svojimi pritoki ne tečeta po matični podlagi, ampak po drobnozrnatih naplavinah, v katere sta ponovno vrezali svoji več metrov globoki strugi. Ugotovil je, da je nastanek kraških polj Notranjskega podolja nedvomno povezan s tektoniko. Izmeril je, da dna kraških polj prekriva nekaj metrov debela ilovnata naplavina, ki jo ponekod ob robovih polj ali ob izvirih prekinja prod ali grušč. Z barvanji je uspel delno zamejiti hidrološko zaledje Loškega polja ter potrditi povezave z izviri na Cerkniškem polju. Potrjena je bila povezava med ponori na Cerkniškem polju in v Rakovem Škocjanu z izviri na Planinskem polju ter ponori na Planinskem polju z izviri Ljubljane pri Vrhniki.

Obširno razpravo o razvoju kraških polj Slovenije v pleistocenu, ki obsega porečje Ljubljane, je objavil Melik (1955). Posebno skrbno je predstavil morfološke značilnosti Pivške kotline, ki ji pripisuje hidrološko funkcijo kraškega polja. Razlago razvoja površja je prilagodil rezultatom arheoloških izkopavanj Brodarja (1952), ki je na podlagi jamskih sedimentov sklepal, da je bila Pivška kotlina v pleistocenu večkrat ojezerjena. Na sotočju Pivke in Nanoščice je Melik (1955) zasledil plast rdeče ilovice, ki jo je povezoval z ojezeritvijo vsaj do nadmorske višine 541 m. Melikovi najpomembnejši sklepi, ki se nanašajo na kraška polja Notranjskega podolja, temeljijo na predhodnih analizah sedimentov v dneh polj (Pleničar 1953). Melik (1955) navaja, da so v pleistocenu sedimenti zapolnili požiralnike, ponore in jamske rove v dnu kraških polj, ki naj bi bila zato ojezerjena. Dna kraških polj brez površinskih dotokov naj bi zapolnjevali drobnozrnati sedimenti. Na Loškem polju je izpostavil več metrov debele plasti rdeče ilovice v ponomem severozahodnem delu polja, na Planinskem polju pa več metrov debelo ilovnato naplavino, ki naj bi predstavljala dno pleistocenskega jezera. Na Cerkniškem polju naj bi Cerkniščica odložila nekaj več grobozrnatega gradiva. Nižje temperature naj bi bistveno zmanjšale zmrzavanje in prekinile razvoj kraških polj, njihova oblika naj bi se pod naplavinami ohranjala. Od konca zadnje poledenitve do danes naj bi vodotoki odstranjevali to gradivo.

Kasnejše morfokronološke raziskave, ki so že temeljile na numeričnih datacijah, so bile usmerjene predvsem v preučevanje najstarejših hidro-geomorfniških faz razvoja podzemnih jam (Gospodarič 1976; 1981;

Zupan 1991; Zupan Hajna s sodelavci 2008a; 2008b; Zupan Hajna, Mihevc in Prelovšek 2010). Z njimi so poskušali dokazati, da so jame in sedimenti v njih starejši, kot so predvidevali prej. Zato so največ pozornosti posvečali stratigrafsko najnižjim oziroma najstarejšim sedimentom. V stratigrafsko najvišjih legah, ki so pokazatelj najmlajših geomorfnih razvojnih faz, sicer omenjajo drobnnozrnate sedimente, ki so predmet mojega preučevanja, vendar jih niso podrobneje preučili.

Šušteršič, Šušteršič in Stepišnik (2003) so na podlagi hipoteze o pleistocenski pretočitvi Cerkniške črte pred približno 50.000 leti (Melik 1928; Gospodarič in Habič 1978; Šušteršič in Šušteršič 2003) dopolnili Gospodaričevo (1976) razlago sedimentacijskih obdobij v Planinski jami. Med drugim omenjajo, da bi se poplavna ilovica v jami lahko v nekem obdobju po višku zadnje poledenitve (angleško *last glacial maximum*, LGM), odlagala do bistveno višje nadmorske višine, kot jo dosežejo današnje poplave. Žal avtorji niso navedli podrobnih podatkov o teh domnevno poplavnih sedimentih. Te sedimente so prvič podrobneje preučili Stepišnik s sodelavci (2012). Ugotovili so, da se je poplavna ilovica v jamah in na površju odložila do nadmorske višine 495 m. Na podlagi datacije sige v Planinski jami so ugotovili, da se je poplavna ilovica do te višine odlagala še v holocenu.

4.2.1 ČASOVNE OPREDELITVE RAZVOJA POREČJA

Po starejših razlagah morfogeneretskega razvoja porečja kraške Ljubljanske naj bi bili Pivška kotlina in kraška polja Notranjskega podolja v posameznih obdobjih pleistocena trajno ojezerjeni (Melik 1951; 1955; Brodar 1952; 1960; 1966; 1967; 1969; Šercelj 1974; Gospodarič in Habič 1978). Te razlage so temeljile na predpostavkah klimatske geomorfologije in so izhajale iz štirifaznega modela alpske poledenitve po Pencku in Brücknerju (1909), s klasično tridelno členitvijo würma (Milanković 1941), kar je bilo v tistem času splošno uveljavljeno (Woldstedt 1962; Gross 1964; slika 6). V starejših delih so obdobja trajnih ojezeritev uvrščali v hladna obdobja (Melik 1951; 1955; Brodar 1952), ko naj bi nižje temperature bistveno zmanjšale zakrsevanje in prekinile razvoj kraških polj. V poznejših delih so trajne ojezeritve kraških polj uvrščali v toplejša interglacialna in interstadialna obdobja (Brodar 1960; 1966; 1967; 1969; 1970; 1995; 1996; Šercelj 1963; 1974; Gospodarič 1967; Gospodarič in Habič 1978). Čeprav se je znanje o razvoju krasa (Mihevc 1996; Mihevc in Zupan Hajna 1996; Mihevc, Slabe in Šebela 1998) in poteku podnebnih sprememb v pleistocenu in holocenu (Turk in Verbič 1993; Šibrava 2010) od takrat zelo spremenilo, še niso bile opravljene reinterpretacije preteklih dognanj ob novih izhodiščih. Starejše časovno opredeljevanje reliefnih oblik je temeljilo tudi na paleontoloških (Rakovec 1954a; 1954b; 1967; 1975) in palinoloških najdbah v sedimentih (Šercelj 1961; 1963; 1965a; 1965b; 1966; 1967; 1970), ki so jih razlagali zlasti pod vplivom teorij iz nemškega govornega območja (Firbas 1923; Freund 1956a; 1956b). Nikoli ni bila opravljena nova razlaga teh najdb na podlagi numeričnih datacij, čeprav so se teoretske predpostavke o pleistocenski favni in flori medtem večkrat spremenile in dopolnile (Pohar 1990; 1994). Podobno so intenzivnost geomorfnih procesov v preteklosti razlagali na podlagi predpostavke, da je grušč rezultat krioturbacije v hladnih obdobjih (Troll 1944; Woldstedt 1954; Frenzel 1967). Ker so drobnnozrnati sedimenti pogosto odloženi med posameznimi plastmi grušča, so sklepali, da gre pri drobnnozrnatih sedimentih za interglacialne ali interstadialne prekinitve (Osole 1959; 1967; Brodar 1960; 1969; 1970). Za časovno razlago stratigrafije sedimentov v Pivški kotlini so bile uporabljene tudi paleolitske kulturne plasti (Brodar 1960; 1966; 1967; 1969; 1970; 1995; 1996; Osole 1959; 1967), ki so jih odkrili med sedimenti, saj omogočajo relativno časovno uvrstitev posameznih najdb v ustrezna arheološka obdobja (Turk 1999; 2007). Na podlagi novejših raziskav in numeričnih datacij je bila kronološka razlaga razvoja paleolitskih kulturnih stopenj za srednjo in južno Evropo (Highman s sodelavci 2006) že spremenjena in dopolnjena (Turk in Verbič 1993). Toda nikoli niso bile opravljene numerične datacije paleolitskih plasti v Pivški kotlini, ki bi omogočile absolutno kronološko razlago oziroma reinterpretacijo, z izjemo Ovčje jame (Osole 1963) in Županovega spodmola (Osole 1974).

4.2.2 PALEOOKOLJSKE REKONSTRUKCIJE

Paleopodnebnne razmere v Sloveniji so rekonstruirali na podlagi palinoloških analiz (Firbas 1923; Šercelj 1955; 1961; 1963; 1965a; 1965b; 1966; 1970; 1974), ki so jih opravili tudi na sedimentih v porečju Ljubljane, še zlasti na Ljubljanskem barju, delno pa še na Cerkljskem polju.

Razvoj postglacialnega rastja na območju Slovenije je prvi predstavil Firbas (1923), ki je palinološko analiziral prereze šote z Ljubljanskega barja. Pri analizah in razlagah holocenskega rastja se je osredotočil zgolj na šoto, saj je pod njo ležečo jezersko kredo uvrščal med pleistocenske sedimente. Slovensko ozemlje je predstavil kot *refugium* srednjeevropskega rastja, ki se je umikalo pred poledenitvijo, in od koder se je po koncu hladnih obdobij širilo nazaj proti severu.

Melik (1947) je jezersko kredo Ljubljanskega barja uvrščal k holocenskim sedimentom, enako polžarico. Da jezerska kreda sodi v holocen, je bil prepričan tudi Rakovec (1955), ki je upadanje gladine jezera na Ljubljanskem barju ocenjeval za relativno mlad holocenski dogodek.

Obsežnejšega vzorčenja kvartarnih sedimentov in palinoloških analiz se je lotil Šercelj (1959; 1961; 1963; 1965a; 1965b; 1966; 1967; 1969; 1970). Šerceljeva (1963) analiza vrtnice med Črno vasjo in Igom kaže, da je jezerska kreda pod šoto holocenske starosti, saj je v njej holocensko rastje.

Po obsegu würmskega rastja v zahodni in severni Evropi sklepa Šercelj (1970), da je imel Zalivski tok zelo malo vpliva na podnebje srednje Evrope. Nanj naj bi bolj vplival hladen severni tok, ki je pritekal iz Arktičnega oceana vzdolž obal zahodne Evrope in odpiral Zalivski tok (Frenzel 1969 v: Šercelj 1970). V nasprotju od severne in srednje Evrope naj bi Slovenija nikoli ne bila povsem brez rastja. Kljub temu je bilo za refugije termofilnega listnatega rastja pri nas v glacialih prehladno.

Palinološke raziskave na Ljubljanskem barju so pokazale, da je bilo Barje v pleistocenu občasno poplavljen ali zamočvirjeno ter se je prehodno pojavilo plitvo jezero. Šele ob koncu pleistocena naj bi nastalo obsežno jezero, v katerem se je odlagala jezerska kreda. V mostiščarski dobi, pred okoli 5000 leti, naj bi jezero naglo upadlo in Barje je prerasla šota (Velušček 2010).

4.3 PRETEKLE RAZISKAVE POPLAV

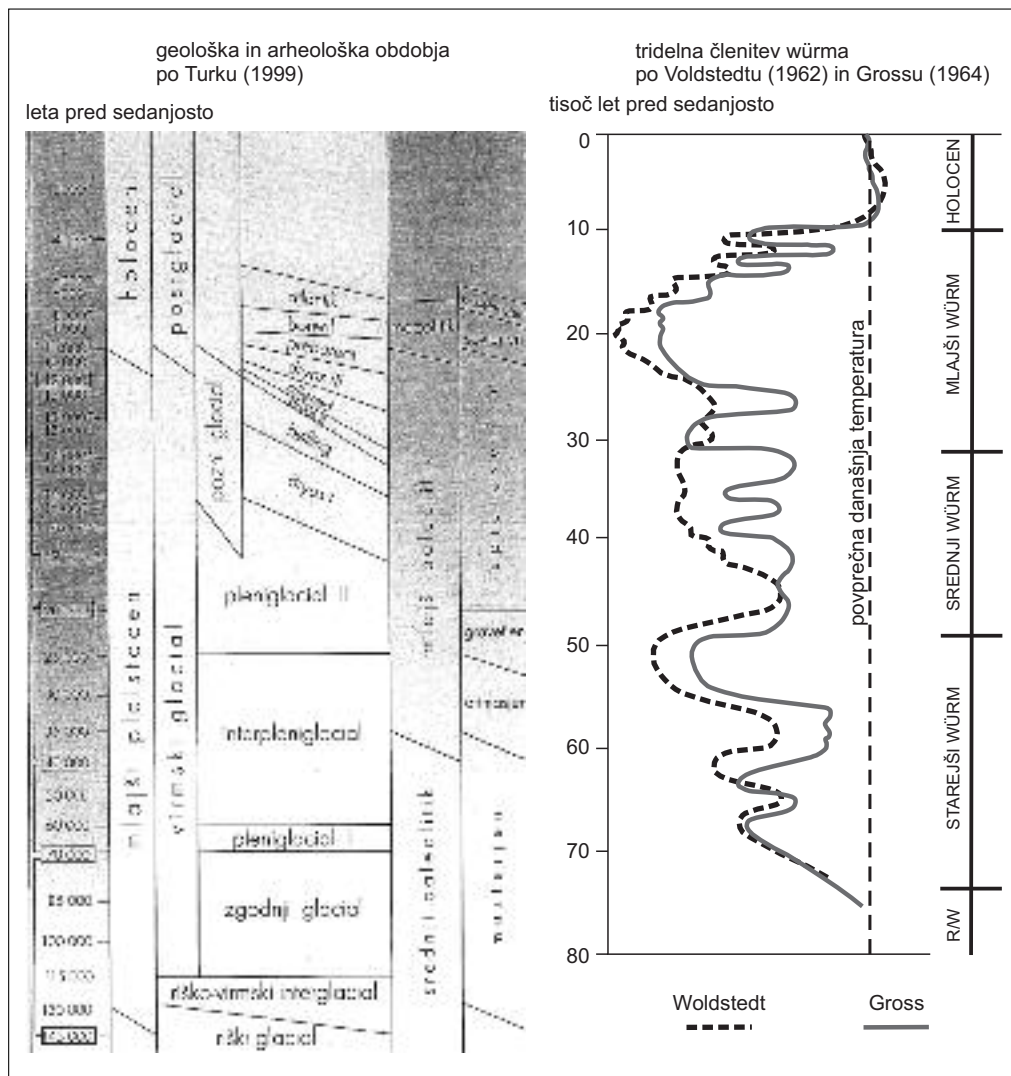
Vsaj od 18. stoletja naprej, verjetno pa že mnogo prej, si je prebivalstvo prizadevalo za zmanjšanje obsega in trajanja poplav na kraških poljih s spreminjanjem reliefnih in hidroloških razmer. Da bi pridobili kmetijska zemljišča, so v porečju Ljubljane opravljali hidrološke študije in izvajali tehnične posege pod vodstvom številnih inženirjev in izobražencev: Schaffenrath, Schmidl, Vicentinij, Kraus, Putick (Kranjc 1987; Bidovec 2007). Že v obdobju med prvo in drugo svetovno vojno, zlasti po drugi svetovni vojni, so se pojavile zamisli o trajnih ojezeritvah za ribolov in turizem (Habič 1974). Od petdesetih let 20. stoletja dalje je bilo v okvirih Vodnogospodarskih osnov porečja Ljubljane izvedenih več študij za projekt izgradnje akumulacij za hidroelektrarne (Jenko 1965). Načrti sicer niso uspeli, a je bilo ob projektih opravljenih mnogo geoloških (Breznik 1961; Ravnik 1976; Čar in Gospodarič 1984), geomorfoloških (Gams 1965; Gospodarič in Habič 1978), hidroloških (Šerko 1951; Gams 1966; 1970; Gospodarič in Habič 1976) in speleoloških (Gospodarič in Habič 1966; Gospodarič 1969a; 1969b; 1969c; 1970b; 1970c; 1976) raziskav porečja, zaradi česar ga uvrščamo med najbolj preučena kraška območja na svetu.

4.3.1 PIVŠKA KOTLINA

Z razvojem porečja Pivke se je ukvarjal Melik (1951), ki je objavil geografski opis Pivške kotline. Predvideval je, da se je zakrasevanje med poledenitvami ustavilo, kar je povzročilo zamašitev jamskih rovov v Postojnskih vratih in nastanek jezera v kotlini. Zaradi zvišanja erozijske baze naj bi se odtok začasno usmeril v porečje Reke. Vodotoki naj bi tako oblikovali proti jugu usmerjene doline, ki so v recentnih razmerah inverzne doline stranskih pritokov Pivke in Nanošče.

Napredek v poznavanju vodnih razmer v preteklosti so omogočile arheološke raziskave paleolitika v Pivški kotlini v drugi polovici 20. stoletja. Med izkopavanjem, zlasti v jamah, so našli na številne plasti klastičnih sedimentov.

Raziskovanje paleolitika na območju Slovenije (slika 6) se je začelo z izkopavanji v Betalovem spodmolu (Brodar 1950). Brodar omenja, da naj bi Anelli med obema svetovnima vojnima pod plastmi neolitika in eneolitika že odkril sledi mlajšega paleolitika. Z nadaljnjim izkopavanjem v Betalovem spodmolu po drugi svetovni vojni je Brodar (1950; 1960) do globine 9 m odkril sledi petih paleolitskih kulturnih slojev, pri čemer najgloblja pripada pred würmskemu obdobju. Najvišjo paleolitsko kulturno plast je uvrstil v tretji würmski stadial, kar naj bi bilo pred okoli 30.000 do 25.000 leti (Woldstedt 1962; Gross 1964;



Slika 6: Arheološke in geološke dobe po Turku (1999) in tridelna členitev würma po Woldstedtu (1962) in Grossu (1964).

slika 6). Ker so v tem sloju tudi plasti rečnih naplavin (Brodar 1975), bi to pomenilo, da se je v tem obdobju gladina poplavne vode dvignila vsaj do nadmorske višine 535 m.

V drugi polovici 20. stoletja so sledila številna izkopavanja v Postojnskem jamskem sistemu (Brodar 1966; 1969), Betalovem spodmolu (Brodar 1975; Leben 1975; Osole 1975a) in v okolici Risovca (Brodar 1970; 1995; 1996), Parski golobini (Brodar 1952; 1954; Osole 1959; 1975b), jamah v okolici Prestranka (Osole 1959; 1963; 1966; 1974) ter Županovem spodmolu (Osole 1971; Brodar 1990). Primerjave stratigrafij izkopov s celotnega obrobja Pivške kotline (Brodar 1950; 1952; 1956; 1970; 1995; 1996; Osole 1966; 1975a) so pokazale nekatere skupne značilnosti prereзов: na vrhu je temna humusna plast, pomešana z gruščem, pod njo so plasti različno debelega grušča z vmesno plastjo izrazito rdeče ilovice, na dnu je sterilna rumeno-zelena flišna ilovica nad prepereto matično kamnino.

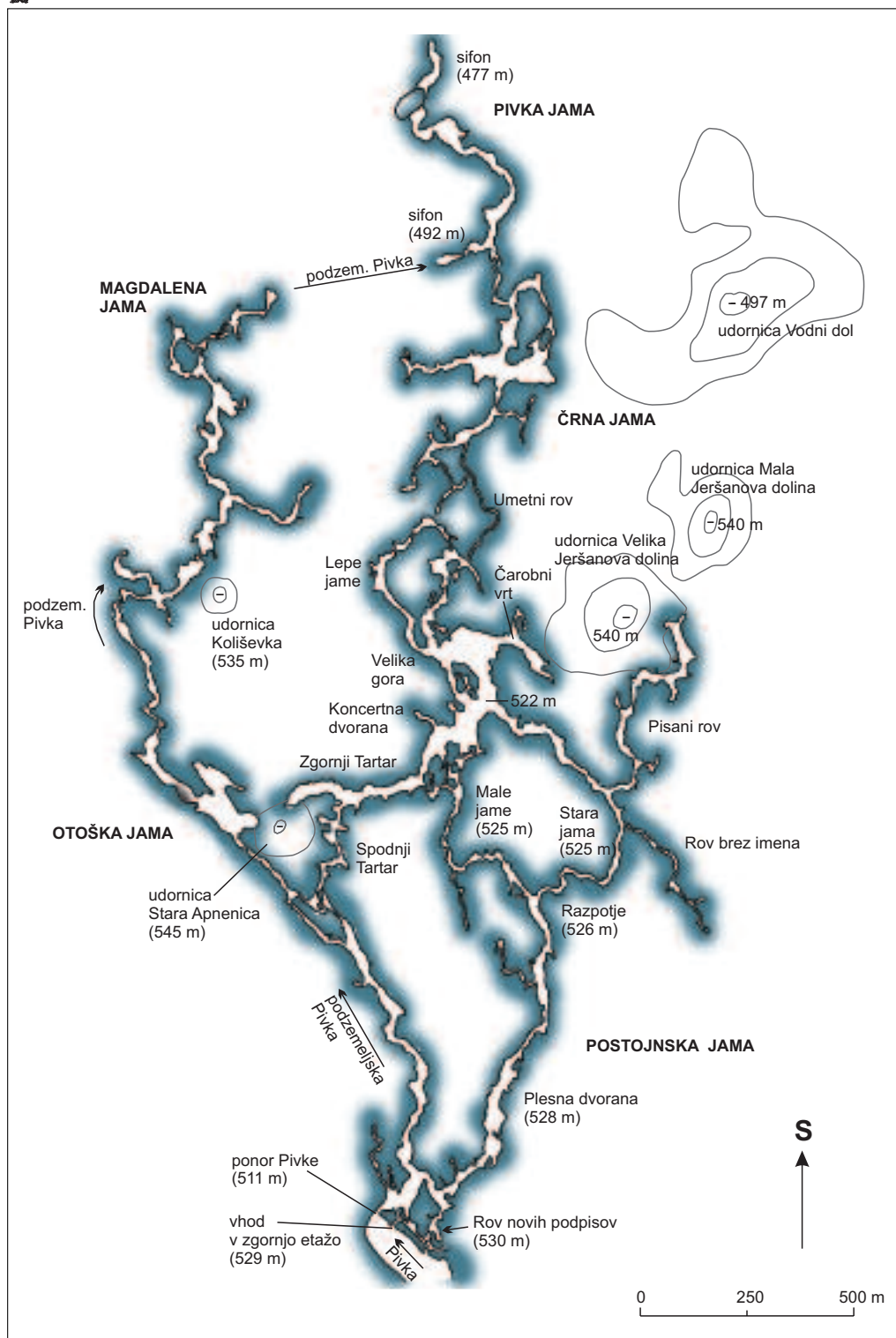
S stratigrafijo sedimentov se je ukvarjal Brodar (1952), ki je opazil številne podobnosti med jamami in sklepal o njihovi speleogenezi. Najbolj izrazito odtočna raven iz Pivške kotline v preteklosti je ugotovil na nadmorski višini 530 do 540 m, kjer so glavni rovi vodoravnih jam: zgornja etaža Postojnske jame, Otoška jama, Hauptmanov kevdrc, Ciganska luknja, Spodmol v Risovcu in Betalov spodmol. Po njegovih ugotovitvah sega primarni fliš v Pivški kotlini v obliki hrbtov ali grebenov nad sekundarne flišne nanose do nadmorske višine 551–554 m. Glede na ugotovljene sedimente v jamah in na površju v Pivški kotlini je ugotovil pet značilnih razvojnih faz: erozija jam, akumulacija flišnih sedimentov, erozija flišnih sedimentov in akumulacija ilovice. Za recentno fazo naj bi bila značilna ponovna erozija sedimentov iz kotline in jam.

Že v začetku pleistocena naj bi se izoblikovalo dno kotline in okoliške jame do približno enake nadmorske višine kot danes. Zaradi podnebnih sprememb ali drugih dogodkov, med katerimi omenja le nastajanje udornic z nenadnim udorom, naj bi Pivško kotlino zalilo obsežno jezero v katerem naj bi se odložile velike količine sekundarnih flišnih sedimentov. Po naslednji erozijski fazi naj bi se v več obdobjih odložile flišne naplavine do zelo visokih leg, kar naj bi bila glede na rezultate arheoloških izkopavanj podlaga za poselitev človeka v srednjem in mlajšem paleolitiku od 145.000 do 10.000 let pred sedanostjo. S postopnim erodiranjem naplavin naj bi nastale terase na več ravneh. Najvišje in najbolj izrazite so bile na nadmorskih višinah 520 in 530 m, med njimi pa več manj izrazitih. V zgornjih delih naj bi terase prekrivale rdeče ilovice. Iz njegovih raziskav je razvidno, da je oblikovanje teras uvrstil v časovno obdobje poznega würma in postglaciala ter v holocen. To pomeni, da je predvideval, da so se vodotoki v istem obdobju zarezali v naplavine in poglobili doline z nadmorske višine okoli 530 m do višine od 520 do 510 m.

Najbolj obsežno in detajlno raziskavo sedimentov v Pivški kotlini in Postojnskem jamskem sistemu (slika 7) je opravil Gospodarič (1976), ki se je ukvarjal s speleogenezo jam Postojnskega krasa. Opazil je, da so si alohtone naplavine v celotnem območju stratigrafsko in petrografske zelo podobne. Ločil je več razvojnih stopenj Postojnskega jamskega sistema, ki odsevajo razvoj Pivške kotline. Ohranjene sedimente je kronološko razvrstil na: (1) prod pisanega roženca, (2) starejšo laminirano ilovico rumenkaste barve z limonitnimi tvorbami, (3) beli roženec s primešano rdečo prstjo, (4) starejšo sigo, (5) mlajšo laminirano ilovico, (6) prhko rdečo ilovico in ponekod še nekaj grušča, (7) mlajšo sigo, (8) poplavno ilovico, (9) najmlajšo sigo in (10) najmlajšo poplavno ilovico.

Menjavanje obdobja odlaganja naplavin in sige je razlagal kot posledico nihanja gladine kraške vode, kar naj bi bilo posledica sprememb v pretočnosti krasa zaradi nastajanja udornic. Postojnski jamski sistem naj bi bil poglobljen do sedanje višine v obdobju odlaganja poplavne ilovice (8) in najmlajše sige (9). Navaja, da naj bi se v nekaterih obdobjih poplavna voda občasno še dvignila v višje suhe rove Postojnske jame in nad sigo najmlajše generacije odlagala (10) najmlajšo poplavno ilovico. Ker takšne ilovice ni našel v Otoški jami, je domneval, da je takrat najvišja poplavna voda otekala proti Črni in Planinski jami vzhodneje, skozi Lepe jame in Ruski rov ter nadaljevala pot po Pisanem rovu in njegovemu nadaljevanju, ki je danes zaradi jamskih podorov nedostopno (Gospodarič 1963; 1964; 1968; 1969c; 1976; Gospodarič in Habič 1966; slika 7).

Slika 7: Tloris Postojnskega jamskega sistema (prirejeno po Gospodariču 1976). ►



Ker so raziskave stratigrafskih značilnosti v Pivški kotlini pokazale določeno ujemanje sedimentacijskega zaporedja, je Melik (1955) povezal določene tipe sedimentov z različnimi podnebnimi razmerami v preteklosti, za katere je menil, da so poglavitni vzrok sprememb okoljskih procesov. Spreminjanje višine poplav v Pivški kotlini, ki jih je predpostavil Brodar (1952), je povezal s poledenitvami v Alpah. Ojezeritve naj bi ustrezale glacialom, umik vode pa interglacialom. Razlago je gradil na štirifaznem modelu pleistocenske poledenitve Alp, ki sta ga razvila Penck in Brückner (1909), v naše razmere pa prestavil predvsem Šifer (1959; 1969).

Prve znanstvene analize podnebnih razmer v času odlaganja sedimentov so temeljile na paleontološkem določanju favne in flore. V ospredju so bile metode določanja živalskih vrst na podlagi kostnih ostankov in rastlinskih vrst na podlagi rastlinskih ostankov, zlasti oglja v posameznih sedimentacijskih plasteh (Rakovec 1954a; 1954b; 1967; 1975). Kasneje se je metoda izpopolnjevala zlasti s palinološkimi analizami (Šercelj 1961; 1963; 1965a; 1965b; 1966; 1967; 1970).

V začetku druge polovice 20. stoletja je Osole (1959; 1967) v preučevanje pleistocenskih jamskih sedimentov poskušal vpeljati bolj objektivno metodo za razlago podnebnih razmer. Z metodo kvantitativne granulometrične analize jamskih sedimentov je razlagal stratigrafske značilnosti Parske golobine in Zakajenega spodmola. Kljub temu poskusu je temeljna teoretska predpostavka metode še zmeraj predvidevala, da v hladnejših podnebnih razmerah mehansko preperevanje prevladuje nad kemijskim ter se posledično tvori grušč, v toplejših obdobjih pa prevladuje kemijsko preperevanje brez razpadanja jamskih sten in odlaganja grušča. Rezultati te metode so bili skladni s predhodnimi analizami Brodarja (1952), ki so temeljile zgolj na morfografskih analizah sedimentov.

Neposredno razlago podnebnih razmer v preteklosti glede na stratigrafijo sedimentnih plasti v arheoloških izkopih je vpeljal Brodar (1960), ki je na podlagi takratnih teorij o periglacialnih razmerah (Troll 1944; Woldstedt 1954) opazoval krioturbatne pojave. Obstoje krioturbatnih oblik v prerezih je razlagal kot zanesljiv pokazatelj za poledenitveno fazo in tako preoblikovane plasti uvrščal v glaciale oziroma stadiale. V mlajših delih S. Brodarja (1960; 1970) in M. Brodarja (1969; 1995; 1996) se pri razlagi podnebnih razmer na podlagi značilnosti sedimentov spremeni predpostavka, da so sedimentacijska okolja ob trajnih ojezeritvah vezana na hladna obdobja, čeprav to ni izrecno napisano, saj predvidevata, da so se sige in ilovnati sedimenti odlagali v toplih obdobjih oziroma interglacialih in interstadialih, grušč pa v hladnem glacialnem podnebnju.

Za kronološko razlago razvoja Pivške kotline in okoliških jam so bile ključne kulturne plasti v prerezih, ki so omogočile posredno časovno uvrstitev okoljskih procesov. Arheologi so na podlagi najdb, ki so jih z arheološko tipizacijo uvrstili v različne kulturne stopnje, relativno kronološko opredelili posamezne plasti sedimentov (Osole 1963; 1966; Brodar 1967; 1970). Toda tudi relativna kronološka razlaga sterilnih plasti je še naprej temeljila na paleontoloških najdbah (Rakovec 1954b; 1967; Šercelj 1967; Osole 1975a) in primerjanju stratigrafskih značilnosti med različnimi prerezi (Brodar 1952; 1969; 1996). Nikoli niso bile opravljene numerične datacije paleolitskih plasti v Pivški kotlini, ki bi omogočile absolutno kronološko razlago, z izjemo Ovčje jame (Osole 1963) in Županovega spodmola (Osole 1974). Nekateri raziskovalci so že takrat nakazali na slabosti relativne kronološke razlage ter opozorili, da bi resnična starost sedimentov lahko bila mlajša od stratigrafsko ugotovljene starosti (Freund 1956a; 1956b; Gospodarič in Habič 1966). Stratigrafijo sedimentov, ki pripadajo določenim kulturnim plastem, sem zato primerjala z absolutno kronologijo kulturnih plasti po najnovejši arheološki tipizaciji (Turk in Verbič 1993; Turk 1999; 2007; slika 6).

V Postojnskem jamskem sistemu so bile izvedene številne raziskave. V Otoški jami je Brodar (1951) našel rečne naplavine do nadmorske višine okoli 540 m. V njih je bilo malo človeških najdb in živalskih kosti, zato je pripadnost kulturi zgolj ocenil. Najdbe je uvrstil v srednji paleolitik oziroma v prvo polovico würma, kar bi pomenilo, da so se naplavine do nadmorske višine 540 m odlagale v času pred okoli 35.000 leti.

V vhodnih delih Postojnske jame prevladujejo vodoravne plasti drobnozrnatih naplavin do nadmorske višine 530 m. Na podlagi kulturne pripadnosti najdb je Brodar (1952; 1966; 1969) najvišje odložene

rdeče ilovice, ki se ponekod mešajo z gruščem ali so prekrite s sigo, uvrstil v obdobje mlajšega paleolitika, kar bi pomenilo, da naj bi se odlagale pred 40.000 do 10.000 leti.

Podrobnejši analizi sedimentov s kronološko razlago sta bili opravljeni v Ovčji jami pri Prestranku (Osole 1963) in Betalovem spodmolu (Osole 1975a). Osole (1963) je v Ovčji jami, kjer je bila kasneje opravljena prva numerična datacija arheoloških najdb v Sloveniji, ločil sedem plasti:

- na dnu je sterilna zelenkasta flišna ilovica, ki naj bi bila naplavljena v toplem in vlažnem obdobju; relativna kronološka opredelitev zelenkastih flišnih sedimentov, ki so jih v podobnih stratigrafskih razmerah arheologi odkrili v več jamah na obrobju Pivške kotline (Brodar 1952; 1969; 1970; Osole 1975b), temelji na najdbi kostnih ostankov povodnega konja (*Hippopotamus pentlandi*), ki jih je Rakovec (1954b) uvrstil v mindelsko-riški interglacial, ko naj bi bila Pivška kotlina trajno ojezerjena, to je v času pred 420.000 do 370.000 leti;
- ilovica intenzivne rdeče barve, med katero so veliki kosi polomljene sige v sekundarni legi, naj bi se odlagala v toplem obdobju;
- debel grušč s primesjo temne, domnevno eolske ilovice, naj bi se odlagal v hladnem obdobju;
- v srednje debelem grušču s primesjo domnevno eolske sivorjave ilovice je našel kulturno plast, ki jo je uvrstil v mlajši würm; radioogljikova datacija oglja iz kurišča je pokazala starost 19.540 let pred sedanjostjo (Osole 1974);
- v drobnem grušču s primesjo domnevno eolske sivorjave ilovice je ugotovil kulturno plast, ki jo je uvrstil v tardigravetjen, kronološko pa naj bi pripadal višku tretjega würmskega stadiala pred okoli 25.000 do 14.000 leti;
- plast rjavkastega drobnejšega grušča naj bi bila iz prehoda glaciala v holocen;
- zgornjo plast debelega grušča s humusom je uvrstil v holocen.

Osoletova (1975a) kronološka razlaga sedimentov Betalovega spodmola temelji na rezultatih arheoloških izkopavanj Brodarja (1956; 1975), ki jih je povzel in sistematično predstavil. Ločil je šest plasti, ki se nadalje delijo na bolj podrobne razdelke:

- najnižja izkopana plast so sterilne rumenkastozelene peščene flišne naplavine, ki jih uvršča v obdobje mindelsko-riškega interglaciala;
- plast debelega grušča z odlomljenimi kosi sige ter večjimi skalami je pomešana s sivordečkasto ilovico; kulturno plast je uvrstil v tajacien-pramusterjen in časovno obdobje riškega glaciala;
- v plasti rdeče ilovice s kosi debelega grušča je določil kulturno plast levallois-musterjenske kulture, ki je časovno uvrščena v riško-würmski interglacial;
- plast srednje debelega grušča z rumenkasto do rdečkasto ilovnatostjo, v kateri so v spodnjem delu določili kulturno plast musterjena, kulturno plast zgornjega dela pa je uvrstil v starejši orinjasjen oziroma končni musterjen;
- v dnu plasti je debel grušč, ki mu je primešana rdeča ilovica; kulturno plast pripisuje poznemu orinjasjenu; na vrhu je debel grušč s temnosivo do rjavkasto ilovico, v katerem so določili kulturno plast epigravetjena;
- spodnji del plasti je droben grušč z mezolitsko kulturno plastjo, na vrhu je površinski humus; celotna plast je kronološko uvršča v holocen.

Sinteza kronoloških razlag stratigrafije sedimentov v Pivški kotlini na podlagi arheološke tipizacije, je pokazala, da se je glavnina rdeče ilovice odlagala v obdobju pred približno 100.000 leti. Kasneje je prišlo do sedimentacije rumenkaste ilovice, ki se je končala pred okoli 40.000 leti. V obdobju pred 40.000 do 25.000 leti se je ponovila sedimentacija rdeče ilovice. Nad tem sledijo plasti avtohtonih gruščev z nekaj rjavosive ilovice, ki naj bi bila po Osoletu (1974; 1975a; 1975b) prinesena z vetrom v obdobju viška zadnje poledenitve pred okoli 20.000 leti.

Da je bilo odlaganje rdečega ilovnatga gradiva zadnja dolgotrajnejša sedimentacijska faza alohtonih sedimentov v ponornih jamah Pivške kotline, potrjujejo arheološke raziskave v Postojnski jami (Brodar 1951; 1969), kjer so nad rdečimi ilovicami zgolj avtohtoni grušči in siga. Kulturno plast nad rdečo ilovico so v primeru zasutega rova v Biospeleološki postaji (Rov novih podpisov), ki je na nadmorski

višini 530 m, uvrstili v gravetjen (Brodar 1969), kar bi ustrezalo obdobju pred okoli 25.000 leti. Raziskave v slepi dolini Risovec (Brodar 1970; 1995; 1996) so potrdile lego rdečih ilovic nad vsemi ostalimi sedimenti. V Risovcu je rdeča ilovica odložena do nadmorske višine okoli 535 m. Arheološke najdbe iz plasti rdeče ilovice v površinski paleolitski postaji Podrisovec je Brodar (1995) prav tako uvrstil v gravetjen.

Prve numerične datacije sige v Sloveniji so opravili v Postojnski jami. V začetku 20. stoletja je Perko (1910) na primerih prevrnjenih kapnikov določal njihovo absolutno starost z merjenjem letnega prirastka sige. Kasneje je Gams (1968) s podobnim preračunavanjem ugotavljal starost kapnikov v Postojnskem jamskem sistemu, kronološke raziskave je razširil na numerično datiranje kostnih ostankov s fluor-klor-apatitovo metodo, ki je bila takrat pri nas prvič uporabljena.

Začetki numeričnih datacij z radioogljikovo ^{14}C metodo segajo v sedemdeseta leta 20. stoletja, ko je Gospodarič (1971) objavil rezultate analiz starosti dvanajstih vzorcev sige iz hidrološko neaktivnih višjih rovov Postojnske jame. Ugotovil je tri generacije sige in jih primerjal s podnebnimi krivuljami Grossa (1964) in Cooka (1973). Najstarejša naj bi bila iz toplejšega obdobja pred okoli 40.000 leti, srednja iz obdobja pred okoli 20.000 leti in naj bi se odlagala ob višku poledenitve, najmlajša naj bi bila holocenska. Ker je nad sigo povsod zasledil sledi poplav oziroma ilovico, je sklepal, da so se v preteklosti menjavala obdobja z različno dinamiko procesov.

Prvo in do sedaj najboljše razlago morfokronološkega razvoja Pivške kotline in jam Postojnskega krasa na podlagi numeričnih datacij je podal Gospodarič (1976). V njej je povzel in združil rezultate vseh predhodnih numeričnih (Franke in Geyh 1971; Gospodarič 1971) in relativnih (Brodar 1952; 1966; Rakovec 1954b; 1975; Melik 1955; Gospodarič 1963; 1964; 1968; 1969c; Gospodarič in Habič 1966; Šercelj 1966; 1970; Radinja 1972; Gospodarič in Pavlovec 1974) kronoloških analiz, ki so bile opravljene na tem območju, ter analiziral še dodatnih osem vzorcev sige iz Postojnske jame.

Ker je gradivo za datacije izbiral glede na stratigrafski položaj med določenimi sedimentacijskimi fazami, ki jih je razpoznal, je z rezultati lahko naredil absolutno kronološko razlago določenih razvojnih stopenj Postojnskega jamskega sistema in posledično morfogenetskih procesov Pivške kotline.

Rezultati so pokazali, da je siga, ki je skupaj s prhko rdečo ilovico odložena nad mlajšo laminirano ilovico, staro okoli 40.000 let. V obdobju pred sedimentacijo naslednje generacije sige pred okoli 13.000 leti so bile v Postojnskem krasu odložene velike količine poplavne ilovice do nadmorske višine 540 m, kar kaže na izjemno višino poplav v Pivški kotlini v obdobju pred 40.000 do 13.000 leti. V kasnejših delih Gospodarič (1981) posebej izpostavlja obdobje prekinitve rasti sige med 35.000 in 17.000 let pred sedanostjo, ko naj bi bili rovi Postojnskega jamskega sistema sprva poplavljeni in zapolnjeni z alohtonimi ilovnatimi sedimenti, kasneje naj bi izrazita ohladitev podnebja zavirala rast sige.

Po sedimentaciji najmlajše sige se je kraška voda že toliko znižala, da se je v višjih hidrološko neaktivnih rovih v holocenu v glavnem odlagala le siga. Ob občasnih izjemnih poplavnih dogodkih naj bi se gladina podzemne vode tudi v holocenu dvignila višje kot danes (Gospodarič 1976; 1981), a o tem ne navaja podrobnejših podatkov.

Naslednja numerična datacijska metoda, ki so jo uporabili v Sloveniji za datiranje sige, je bila radio metrična metoda ESR oziroma elektronska spinska resonanca (angleško *electronic spin resonance*), ki uporablja naravno radiacijo kalcita (Ikeya 1977). Analizirali so kapnike Pisanega rova Postojnske jame (Gospodarič 1981) in ugotovili starost kapnikov med 530.000 in 125.000 let. Na podlagi novih in starejših datacij kapnikov iz Pisanega rova so prišli do sklepa, da lahko v tem rovu razlikujemo vsaj tri generacije sige, med katerimi je prihajalo do motenj sedimentacije zaradi spremenljivosti podnebnih razmer ter poplavljenosti rova v pleistocenu (Ikeya, Miki in Gospodarič 1983). Prekinitve dokazujejo z različno obarvanimi plastmi kapnikov, v katerih je med plastmi sige ponekod ilovnato gradivo, ki naj bi izviralo iz poplavne vode.

Da bi določil natančnejšo starost starejše sige v Postojnski jami, ki je s ^{14}C metodo niso mogli časovno določiti, saj je domet metode takrat bil približno 40.000 let, so bile opravljene analize sige z metodo U-Th v Pisanem rovu (Zupan 1991) in na Kalvariji (Mihevc 2002). V pisanem rovu so datirali tri kapni-

ke. Vzorčen je bil stalaktit, pri katerem so med plastmi sige zasledili plasti poplavne ilovice. Starosti jedra niso uspeli določiti, starost drugega sloja je bila okoli 270.000 (+ 130.000/–80.800 let), starost tretjega sloja pa 76.000 let (+ 25.000/–22.000 let). Daticije plasti 4 do 6 niso uspeli zaradi prenizke vsebnosti urana. Domnevali so, da prekinitve rasti sige s poplavno ilovico med temi plastmi pripadajo würmskim stadialom. V podorni dvorani Pisanega rova so analizirali še dva kapnika, v katerih so plasti sige prekinjene s poplavno ilovico. Daticije niso bile uspešne, a so po analogiji plasti v primerjavi s predhodno analiziranim stalaktitom iz drugega dela istega jamskega rova sklepali na podobno starost (Zupan 1991). Daticije kažejo, da so bile poplave v Postojnski jami vsaj do nadmorske višine 540 m v obdobju pred okoli 270.000 do 76.000 leti, ter v več mlajših obdobjih.

Z daticijami sige v podorni dvorani Kalvarija je Mihevc (2002) določil tri izrazita obdobja rasti sige z vmesnimi obdobji rušenja stropa in odlaganja drugih sedimentov. Siga je rasla med približno 150.000 in 70.000 leti pred sedanjostjo, v času okoli 45.000 do 35.000 leti pred sedanjostjo in od okoli 12.000 leti pred sedanjostjo do danes. To pomeni, da so v obdobjih med 70.000 do 45.000 in med 35.000 do 12.000 leti pred sedanjostjo prevladovali drugi procesi. Ugotavljal je povezanost podornih procesov v jami s hladnejšim podnebjem in odlaganje sige s toplimi obdobji.

Višja intenzivnost podornih procesov naj bi bila posledica sprememb kemijskih lastnosti pronicejoče vode, ki naj bi bila v hladnih obdobjih bolj agresivna, pri čemer je korodirala razpoke in povzročala razpad jamskega stropa. V toplih obdobjih naj bi voda v jami odlagala sigo in z njo mašila razpoke na stropu.

Z metodo paleomagnetizma so bili v Postojnskem jamskem sistemu analizirani trije prerezi: dva v Otoški jami in eden v Postojnski jami. V vseh primerih so izmerili normalno oziroma severno usmerjene magnetocene in sklepali, da so sedimenti mlajši od 0,78 milijona let (Šebela in Sasowsky 1999).

V zadnjem času so v Pivški kotlini z numeričnimi daticijami analizirali starejše sedimente v Postojnski jami z metodo paleomagnetizma in posameznimi radiometričnimi daticijami sige z U-Th metodo (Zupan Hajna s sodelavci 2008a; 2008b; Zupan Hajna, Mihevc in Prelovšek 2010). Analizirali so devet prerezov: tri v Spodnjem Tartarju, dva v Umetnem rovu in po enega v Malih jamah, Pisanem rovu, Starih jamah in Biospeleološki postaji. Raziskave so bile prednostno usmerjene v najstarejše sedimente, saj so želeli določiti najmanjšo možno starost razvoja jam. Večina analiz je pokazala normalno usmerjene magnetocene, kar pomeni, da se je gradivo odlagalo po zadnjem obratu pred 0,78 milijona let. Za podrobnejšo časovno opredelitev sedimentacijskih procesov v prerezih so vzorčili sigo za analize z metodo U-Th. Uspešni sta bili dve daticiji, s katerima so eno izmed podornih faz v Spodnjem Tartarju omejili na obdobje med 143.000 in 108.000 let pred sedanjostjo, ostale analize pa niso bile uspešne zaradi previsoke vsebnosti organskega Th. Paleomagnetizem ni najprimernejša metoda za datiranje teh sedimentov, saj so večinoma premladi. Prav tako je metoda U-Th uporabna le v omejenem obsegu, saj so zelo redki primerni vzorci sige. Siga je namreč odprt sistem in zelo občutljiva na hidrološke razmere (Ford in Hill 1999; Borsato s sodelavci 2003).

4.3.2 CERKNIŠKO POLJE

Prvi rezultati preučevanja geoloških značilnosti Cerkniškega polja so bili objavljeni že v 18. (Hacquet 1778) in 19. stoletju (Lipold 1857), nove raziskave pa so videnje poglobljale in dopolnjevale (Putick 1902; Šerko 1951). Morfologijo polja in obrobja so sprva razlagali z udornim nastankom (Putick 1888; Martel 1894; Knebel 1906). Sčasoma so udorni teoriji dodali še erozijsko (Kraus 1894; Cvijić 1895). Povsem erozijski nastanek polja je z razvojno shemo predstavil Kossmat (1897), ki je ugotovil, da so prelomi starejši od polja, zaradi česar je menil, da niso pomembni za njegov nastanek. Erozijski nastanek so kasneje prevzeli še drugi (Rus 1925; Hočevar 1940; Pleničar 1953; Melik 1955; Jenko 1959).

V okviru raziskav za trajno ojezeritev polja, ki jih je naročila takratna Uprava za vodno gospodarstvo, so naredili številne vrtnice, ki so nudile priložnost za podroben študij skalne podlage polja. Litološke

in tektonske razmere je obravnaval Pleničar (1953) in jih združil v kratko razlago nastanka in razvoja Cerkniškega polja. Njegovo delo je pomemben napredek k poznavanju litologije in tektonike polja. Ob polju in v njegovem dnu je ugotovil več prelomov oziroma zdrobljenih in milonitnih con, a je razlago geneze polja navezal na opažanja Kossmata (1916a; 1916b) in uravnano dno polja razlagal kot razširjeno nekdanjo rečno strugo. Te ugotovitve, s kasnejšimi dopolnitvami (Pleničar in Kerčmar 1959 v: Gospodarič in Habič 1978; Buser 1965), so bile temelj za izdelavo geološkega zemljevida v merilu 1 : 100.000, list Postojna (Buser s sodelavci 1967).

Nesprieto gradivo v dnu Cerkniškega polja je Pleničar (1953) razlagal kot kvartarne naplavine. Iz stratografskih značilnosti naplavin je sklepal, da so nižje ležeče plasti rezultat rečne akumulacije, višje glinaste plasti pa so jezerski sedimenti, ki so se odlagali iz stalnega jezera. Svojo razlago je Pleničar delno navezal na ugotovitve Melika (1951) v Pivški kotlini, vendar je izpostavil, da je ob podnebnih dejavnikih na trajno ojezeritev v hladnih obdobjih pleistocena vplivala tudi tektonika. Na celotnem obrobju polja je našel rjavo glino v mnogo višjih nadmorskih višinah, kot jih dosežejo najvišje znane recentne poplave ter sklepal, da so morale v preteklosti poplave ali stalno jezero segati bistveno višje od današnjih.

Prvi, ki je podvomil v erozijsko teorijo nastanka Cerkniškega polja in drugih kraških polj Notranjskega podolja je bil Kuščer (1963 v: Gospodarič in Habič 1978). Njegova razlaga nastanka kraških polj je temeljila na korozijskem zniževanju območij, pri čemer pa ni jasno, kaj naj bi bil vzrok za različno hitrost korozije med kraškimi polji in okolico.

S korozijskim nastankom oziroma z bočno korozijo je oblikovanje Cerkniškega polja razlagal Gams (1965). Prvotno naj bi obstajala površinska rečna mreža. Zaradi poglobljanja Ljubljanskega barja naj bi se površinsko tekoče vode postopno prestavljale v podzemlje. Menil je, da je prišlo na stiku apnenec in dolomitov do pospešene korozije, zaradi česar se je površje na takšnih območjih zniževalo hitreje. Polje naj bi nastalo v kvartarju, ko so se vodotoki dokončno prestavili v podzemlje. Na intenziteto procesov, ki preoblikujejo polje, naj bi od takrat vplivale zgolj še podnebne razmere.

Novejše geološke raziskave so bile usmerjene predvsem v preučevanje tektonskega razvoja območja (Mlakar 1967; Gospodarič in Habič 1978; Placer 1981; Premru 1982; Čar in Gospodarič 1984; Vrabec 1994), na podlagi česar so ugotavljali vzročno-posledično součinkovanje geoloških dejavnikov z geomorfološkimi, hidrološkimi in speleološkimi.

S hidrološkimi značilnostmi kraških polj, zlasti presihanjem Cerkniškega jezera, so se ukvarjali od Valvasorjevih časov (Valvasor 1689; Steinberg 1761; Hacquet 1778). Pri zgodnejših raziskavah so se osredotočili na možnosti odprave poplav (Gruber 1781; Putick 1888; Martel 1894; Hočevár 1940; Šerko 1946), kasneje pa na možnosti trajne ojezeritve (Jenko 1959; Breznik 1961; Habič 1974). Podroben pregled poteka raziskav za trajno ojezeritev ter rezultate detajlnih študij podzemnih pretokov (Gams 1966; 1970; Gospodarič 1970a; 1970b) in funkcije jam (Gospodarič 1969b; 1970c) sta objavila Gospodarič in Habič (1978).

Novejše hidrološke raziskave so bile usmerjene predvsem v preučevanje nihanja kraške vode (Habič 1985; Kovačič 2010), na podlagi česar so ugotavljali soodvisnost med količino in razporeditvijo padavin ter smerjo in hitrostjo pretakanja vode v kraškem podzemlju.

Istočasno z geološkimi, geomorfološkimi in hidrološkimi raziskavami so se začeli raziskovalni obiski jam (Valvasor 1689; Steinberg 1761; Schmidl 1854; Kebe 1860; Putick 1888; Martel 1894; Löhnberg 1934; Hočevár 1940). Raziskovali so vhodne dele ponornih jam in začetne dele višje ležečih vodoravnih jam na obrobju polja. Pri razlagi hidrološke funkcije jam so se naslonili na Katzerjevo (1909) razlago kraške hidrologije, ki je jame razlagal kot nekakšne cevi v kraškem podzemlju, po katerih se pretaka voda med kraškimi polji. Drugačno razlago pretakanja vode v kraškem podzemlju je predstavil Grund (1903), ki je menil, da je gladina vode v podzemlju enotna, a jo lahko opazujemo zgolj v človeku prehodnih jamah.

Bolj detajlne speleološke raziskave so se začele v drugi polovici 20. stoletja, ko je s časoma napredovala tehnika, ki je omogočila čedalje globlje prodiranje v podzemlje. Ponorne jame ob severozahodnem robu Cerkniškega polja je preučeval Gams (1966). Opazil je razlike v nihanju gladine kraške vode ob robu polja in globlje v jamah, kar je pojasnjeval z različno pretočnostjo vode skozi apnenec in dolomit.

Zaradi tega naj bi se za prelomom ob litološkem stiku voda v apnencu dvignila bolj kot v dolomitnem nadaljevanju. Po reliefni izoblikovanosti in pretočnih značilnostih jam je sklepal, da je bila večina ponornih jam oblikovana v dveh etažah z višinsko razliko od 10 do 20 m. S teoretsko razlago pretočnih značilnosti krasa, se je približal Cviiju (1918), ki je zastopal kombinirano teorijo pretakanja kraške vode. V višjih etažah naj bi se voda v podzemlju pretakala po razmeroma uravnanih kanalih z minimalnim strmcem, kar se ujema s Katzerjevo (1909) teorijo pretakanja. V nižjih etažah, ki so hidrološko aktivne v recentnih razmerah, naj bi se voda raztekala v številne špranje, gladina vode v krasu pa naj bi bila relativno enakomerna, kar se ujema z Grundovo (1903) teorijo pretakanja.

Napredek v razumevanju speleogenetskih procesov je opazen v delih Gospodariča (1969b; 1970b; 1970c). Ob preučevanju ponornih jam v Jamskem zalivu na Cerkniškem polju (Gospodarič 1970b) je v več jamah zasledil dvoetažni značaj. V hidrološko aktivnih jamah je ločil: nižje rove, ki so pogosto hidrološko aktivni, so sprani, v njih pa prevladujejo primarne jamske oblike, in višje rove, ki jih doseže le najvišja poplavna voda in kjer se iz suspenzije odlaga poplavna ilovica.

Enake procese oblikovanja jamskih rogov in zasipavanja s poplavnimi sedimenti je predvideval in opazoval v višjih, recentno neaktivnih jamskih rovih. V preteklosti je predvideval odtok vode s polja na višji nadmorski višini, in sicer na 560 m. Sklepal je, da prestavljanje vode v nižje etaže še zmeraj poteka. S tem je bistveno presegel dotedanje razumevanje recentnega stanja kot nekaj končnega in absolutnega.

Z detajlnimi raziskavami Male in Velike Karlovice je Gospodarič (1970c) prišel do pomembnih sklepov o speleogenezi ponornega dela polja. Procese je razvrstil v šest faz: (1) prva je faza nastanka rogov na nadmorski višini 548 m in nižje; (2) sledilo je odlaganje starejše sige; (3) V naslednji fazi je prišlo do erodiranja rogov in sige ter naknadnega zasipavanja z grušč in ilovico do nadmorske višine 550 m, medtem se je hkrati odlagala siga; (4) sledilo je odlaganje mlajše sige nad obsežnimi zasipi; (5) v naslednji fazi je potekala erozija do nadmorske višine 548 m; (6) v zadnji, recentni fazi, se odlaga siga, v suhih rovih prihaja do podiranja, v občasno poplavljenih rovih do odlaganja ilovice, v nižjih hidrološko aktivnih rovih pa do erozije starejšega zasipa in poglobljanja jamskih rogov.

Menil je, da je zasipavanje podzemlja z alohtonimi naplavinami do nadmorske višine okoli 550 m najpomembnejši speleogenetski pojav tega območja, saj ga je zasledil skoraj na celotnem preučevanem območju. Pomembno je njegovo opažanje, da se je lahko med najobsežnejšim zasipavanjem jam (3) hkrati odlagala siga. Sklepal je, da so bili takrat dejavni podobni procesi kot danes. Menil je, da podori in udornice nastajajo postopoma in dolgotrajno, zato je podvomil, da bi podori lahko povzročili višje poplave in zasipavanje rogov (Gospodarič 1970c).

Mineraloško je analiziral sigo v Veliki Karloviči, da bi odkril morebitne razlike med starejšo in mlajšo sigo. Dokazal je, da starejša siga vsebuje minerale, ki kažejo, da je bila med rastjo večkrat zalita s poplavno vodo, medtem ko naj bi mlajša siga nastajala v okolju brez poplavne vode. Podobne razvojne faze kot v ponornih jamah Cerkniškega polja je ugotovil tudi v Zelških jamah (Gospodarič 1970c).

Najobširnejšo raziskavo Cerkniškega polja, v kateri med drugim obravnavata njegove geološke, geomorfološke, hidrološke in speleološke značilnosti, sta objavila Gospodarič in Habič (1978). Kritično sta pretresla dotedanje literaturo o polju in v kombinaciji z lastnimi raziskavami stratigrafije sedimentov na polju in okoliških jamah, oblikovala razlago nastanka in razvoja polja. Nastanek polja sta razlagala kot posledico tektonskega gubanja, narivanja ter vodoravnih in navpičnih premikov ob idrijski prelomni coni. Ob tem naj bi kamnine razpadle na več območij, ki jih imenujeta »paketi«. Prepustnost paketov v dnu Cerkniškega polja naj ne bi omogočala podzemnega pretakanja vode, ki ga zato prečka površinsko, z izjemo ozkega paketa triasnega dolomita med Cerknico in Dolenjim Jezerom, kjer sta ponora Rešeto in Vodonos. Voda od tam odteka podzemsko neposredno proti severu. Pretočitev Cerkniščice, ki jo razlagata po Meliku (1928), naj bi pomembno vplivala na zakrasevanje polja, saj naj bi z naplavinami mašila ponore in zaježevala podzemeljski odtok, ščitila skalno podlago pred erozijo in poglobljanjem ter povzročala pospešeno korozijo ob robovih ter bočno širjenje polja (Gospodarič in Habič 1978).

Sklepala sta, da je polje današnje oblike dobilo v kvartarju, ko so se v dnu odložile velike količine naplavin. Na podlagi stratigrafije sedimentov sta sklepala na sedimentacijske procese, ki sta jih razvrstila

v osem razvojnih faz: (1) začetna faza je nastanek skalnega dna na nadmorskih višinah med 545 in 542 m; (2) v naslednji fazi naj bi se poglobilo dno na zahodni strani polja do nadmorske višine 536 m; (3) zakrasevanje naj bi se prekinilo s sedimentacijo rumeno-rjave starejše laminirane ilovice, ki je zapolnila ponore in bila odložena na polju in jamah do nadmorske višine 548 m; (4) kasneje so v zasipu nastajale limonitne skorje in limonitne cevke, preden je bil zasip v veliki meri erodiran. V to razvojno fazo sta uvrstila najstarejšo sigo v jamah; (5) kasneje so starejše sedimente in sigo prekrili prodnati in peščeni sedimenti, ki navzgor prehajajo v sivo jezersko glino; sedimentacija naj bi potekala v jezeru, katerega gladina je nihala za več metrov; v globljih delih jam naj bi odlaganje alohtonih sedimentov potekalo sočasno z odlaganjem sige; (6) v naslednji fazi je sprva prišlo do erozije jezerskih glin, nato pa je zahodni del polja prekril vršaj Cerkniščice in zajezil del ponorov. Na površju in v jamah so se odlagale rjavosive ilovice, vmes pa gruščnato gradivo; (7) v predzadnji fazi naj bi potekalo pretežno vrezovanje strug, spiranje naplavin in oblikovanje grezov s površinskimi tokovi in občasnimi poplavam; (8) danes je za območje značilno intenzivno nihanje vodne gladine, pri čemer se gradivo spirja s polja, v podzemlju pa vodotoki erodirajo starejše naplavine in poglobljajo struge v skalno podlago.

Paleopodnebnе rekonstrukcije za območje Cerkniškega polja so sprva temeljile na palinoloških analizah Šercelja (1963; 1969; 1970; 1973; 1974). Pelodne analize so pokazale zelo pestro in prepletajočo se sedimentacijo, kjer je bilo za pelodne analize primernih le nekaj plasti, vendar v nobenem primeru ni bilo mogoče sestaviti enotnega prereza. Izkazalo se je, da so peščene plasti siromašne s pelodom (Šercelj 1963), zasledili pa so ga v sivi glini s primesjo peska in karbonatnega grušča v prerezu pri Rešetju (Šercelj 1970). Glede na vrstno zastopanost peloda naj bi plast pripadala enemu od prvih würmskih interstadialov. Pri razlagi podnebja se je Šercelj opiral na razlage Frenzla (1967) in predvideval, da je podnebje vse od prvih würmskih ohladitvenih sunkov naprej postajalo čedalje bolj celinsko. Čeprav naj bi se letna količina padavin nekoliko znižala, se vlažnost tal ni zmanjšala, ampak celo povečala. To naj bi bila posledica znižane evapotranspiracije in izhlapevanja. Ker revno rastje ni več črpalo toliko vode iz zemlje in je oddajalo v zrak, naj bi se kroženje zmanjšalo in upočasnilo, pri čemer je prišlo do zastajanja vode na kopnem.

V vrtni pri Gorenjem jezeru je Šercelj (1973) po pelodu v sedimentu spodnjega dela prereza, ki ga je uvrstil v obdobje pred okoli 12.000 leti, sklepal, da je takrat okolico Cerkniškega polja poraščal subarktični gozd ali tajga, kar je izrazito ledenodobno rastje. Sčasoma je iglasti gozd izpodrinil mešani hrastov gozd, kar je razlagal kot prehod v holocen, mešani gozd pa sta izpodrinili leska in bukev. V zgornjega pol metra sedimentov je zasledil močno razširitev jelke, ko naj bi se razrasli smrekovo jelovi gozdovi, kakršni so še danes na Javornikih. V stratigrafiji sedimentov je opazil, da se je razmeroma tanka plast gradiva odlagala dolgo časa, zaradi česar je opozoril, da lahko že majhni presledki v sedimentaciji pomenijo izostanek sedimentacije v daljšem časovnem obdobju, kar je zelo pomembno pri kronološki razlagi. Med drugim je v analiziranem prerezu ugotovil, da je že takoj po prehodu iz pleistocena v holocen človek začel močno posegati v rastlinsko podobo pokrajine. Zmanjšal se je delež gozda v korist travnatih zemljišč.

Šercelj (1974) je analiziral sedimente iz geoloških vrtin (Pleničar 1953) na Cerkniškem polju. Ugotovil je, da je najbolj razširjen sediment rjava glina, za katero je domneval, da je pedogenetsko predelan ostanek sedimentov, ki se odlagajo ob vsakoletnih poplavih. Večinoma sega do površja, a ne vsebuje peloda, zaradi česar plasti ni uspel kronološko razložiti.

Uspešnejše so bile pelodne analize sive lapornate gline (Pleničar 1953) ali jezerske krede (Šercelj 1974), ki so jo odkrili v osrednjem delu polja in zavzema celotni prerez, od skalnega dna do površja, pri čemer je zgornji meter sedimentov pedogenetsko predelan in prepreden s koreninami, ob katerih nastajajo limonitne konkrecije. Peloda v sedimentih je bilo malo, v glini so zasledili le nekaj peloda jelke in bukve, na podlagi česar so sediment kronološko uvrstili v holocen.

Na večjo starost sedimentov je Šercelj (1974) sklepal v prerezu jezerske krede v grezu v strugi Stržena. Pelodni diagram je homogen, vseskozi prevladujeta hladnodobna bor in breza, vendar se pojavlja še mešani hrastov gozd, kar kaže, da takratno podnebje ni bilo zelo hladno. Sklepal je, da so bili sedi-

menti odloženi na polovici würma, po brörupskem interstadialu pred okoli 50.000 leti. Na podobne podnebne razmere in starost je sklepal pri plasti jezerske krede, ki sta jo odkrila Gospodarič in Habič (1978) v vršaju Cerkniščice. Sklepal je, da je vršaj Cerkniščice starejši od würmskega jezera, ki naj bi nastalo pred okoli 50.000 leti, in naj bi obsegalo zgolj del polja vzhodno od huma Goričica, ter naj bi se umaknilo še pred naslednjim interstadialom, paudorf, pred okoli 30.000 leti.

Sinteza palinoloških raziskav kaže, da je bilo Cerkniško polje trajno ojezerjeno pred 50.000 do 30.000 leti in v nekem obdobju zgodnjega holocena.

Kronološko razlago stratigrafije sedimentov na podlagi prve numerične datacije sedimentov iz leta 1971 sta predstavila Gospodarič in Habič (1978). Analizirala sta več prereзов v okolici Rešeta in ločila osem značilnih plasti: (1) nad skalno matično podlago je plast rumene ilovice in peska z limonitnimi konkrecijami, (2) temnosiva karbonatna glina s peskom in gruščem, (3) rjava in vijoličasta ilovica, (4) siva ilovica s šoto, (5) rdeče in rjave ilovice, (6) pesek in grušč, (7) rjave in sive ilovice s peskom ter (8) temnorjave in sive ilovice z lečami organskega gradiva in jezerskih polžkov.

V zgornjem delu druge plasti, kjer je nekoliko več peska in grušča, sta našla storž smreke, ki so ga datirali s ^{14}C radiometrično metodo in določili starost okoli 55.000 let pred sedanostjo. Sklepala sta, da pripadajo sedimenti najnižje plasti k starejšemu zasipu, spodnji ilovnati del druge plasti pa naj bi se odlagal v toplodobnem jezeru brörupskega ali amersfoortskega interstadiala, zgornji del z datiranim storžem pa v hladnem sunku ob koncu starejšega würma. Plasti od 3 do 5 naj bi pripadale interstadialnim ojezeritvam, gruščnata plast 6 pa tretjemu würmskemu stadialu, pred približno 20.000 do 14.500 leti. Najvišje plasti naj bi bile holocenske starosti.

Sinteza morfokronoloških raziskav Cerkniškega polja kaže, da naj bi bilo polje trajno ojezerjeno pred okoli 55.000 leti ter v toplih obdobjih mlajšega würma. Razlaga ojezeritev na Cerkniškem polju kot toplodobnega pojava sovпада z novejšimi razlagami ojezeritev v Pivški kotlini (Brodar 1960; 1966; 1969; 1970; 1995; 1996; Gospodarič 1976) in na Ljubljanskem barju (Šercelj 1963; 1970; Velušček 2010).

Nekaj numeričnih datacij sige je bilo opravljenih v nadaljevanju ponornega sistema Cerkniškega polja, in sicer v Zelških jamah. Gospodarič (1977 v: Zupan 1991; Gospodarič 1981) je vzorčil več stalagmitov v Južnem rovu. Datacije z radiometrično ^{14}C metodo so pokazale, da je vsa vzorčena siga mlajša od 9000 let. Sklepal je, da je bil pred tem ves Južni rov, ki je na nadmorski višini 525 m in približno 5 m nad najvišjo recentno višino kraške vode, stalno hidrološko aktiven, zaradi česar se siga ni mogla odlagati.

Nazadnje so se z razvojem Cerkniškega polja ukvarjali Šušteršič in sodelavci (Šušteršič, Šušteršič in Stepšnik 2003; Šušteršič in Šušteršič 2003), ki so se pri razlagi opirli na Šerceljeve (1974) podatke o relativni kronologiji ter Gospodaričeve (1978) numerične datacije kvartarnih sedimentov. Povzeli so, da se je pretočitev Cerkniščice na Cerkniško polje zgodila pred okoli 50.000 leti. Sklepali so, da je šlo za relativno nenaden, katastrofalen dogodek, ob katerem naj bi se reaktiviral star jamski sistem, ki je bil predhodno zapolnjen s sedimenti. Dogodek so uvrstili v toplejše obdobje, ko je Cerkniščica prenašala malo gradiva, zaradi česar je voda imela večjo erozivno moč in se zarežala v zapolnjen jarek brezstropne jame. Pred pretočitvijo naj bi na Cerkniško polje pritekala zgolj kraška voda, kar so dokazovali z odsotnostjo značilnih karnijskih oolitnih boksitnih prodnikov, ki izvirajo iz povirja Cerkniščice, v starejših ali višje odloženih naplavinah v okolici Cerkniškega polja.

Kasnejše raziskave morfogeneze Rakovega Škocjana (Ferk 2011) so pokazale, da vsebujejo karnijske oolitne boksitne prodnike tudi najstarejši ohranjeni sedimenti v ohranjenih delih nekdanih vodnih jam, ki so do 50 m nad današnjim dnom Cerkniškega polja.

4.3.3 PLANINSKO POLJE

Prve litološke študije na širšem območju Planinskega polja je objavil Kossmat (1897), ki je podrobneje razčlenil kamnine mezozojske starosti. Ob pripravah projekta za trajno ojezeritev polja so v petdesetih letih 20. stoletja izvedli obsežno geološko kartiranje območja za izdelavo geološke karte ter več kot

250 vrtin na polju (Breznik 1961). Razlago geoloških razmer v tolmaču za geološki zemljevid je predstavil Pleničar (1970).

Poznavanje geološke podlage polja je z meritvami geoelektrične upornosti dopolnil in nadgradil Ravnik (1976). Ugotovil je, da je skalno dno polja zakraselo z značilnimi površinskimi kraškimi oblikami: vrtače, vhodi v brezna, ponori in požiralniki. Oblike zapolnjujejo naplavine, ki so na polju debele povprečno 4 m.

Čar (1982) je objavil pregled litološko-stratigrafskih enot in tektonskih razmer, dopolnjen z novimi spoznanji. Planinsko polje je v celoti uvrstil v idrijsko prelomno cono. Opazil je, da posamezne prelome znotraj te cone spremljajo različno pretrte cone, ki jih je ločil na: zdrobljeno, porušeno in razpoklinsko cono.

S kartiranjem ponornega roba polja je ugotovil, da so požiralniki genetsko vezani na prelomne cone in plastovitost kamnine. Večinoma so ob pretrtih conah, kjer niso dostopni za človeka, ker je kamnina zaradi slabih mehanskih lastnosti preveč porušena.

Podrobno tektonsko-litološko kartiranje južnega zaledja Planinskega polja sta objavila Čar in Gospodarič (1984), ki sta na območju definirali štiri generacije deformacij: najprej so nastale deformacije v smeri severovzhod–jugozahod, nato deformacije v smeri severozahod–jugovzhod, sledile so ponovno deformacije v smeri severovzhod–jugozahod in nazadnje ponovno deformacije ob idrijski prelomni coni v smeri severozahod–jugovzhod, ki sekajo vse starejše in so še zmeraj aktivne.

Poleg smeri deformacij sta Čar in Gospodarič (1984) določila stopnjo pretrtosti po Čaru (1982). Ukvarjala sta se z genetskimi povezavami med tektonskimi strukturami in potekom jamskih rovov, zlasti Planinske jame. Ugotovila sta, da so mlajši vodni rovi usmerjeni ob prelomnih conah severovzhod–jugozahod, sifoni in udornice pa ob prelomih v dinarski smeri.

Z morfogenezo Planinskega polja in njegovega zaledja se je ukvarjal Gams (1965). Sklepal je, da je flišni jez ob jugozahodnem robu Pivške kotline težje premostljiv za podzemne vode kot dolomit ob idrijski prelomni coni, ki so ga predrle ob Planinskem polju, zaradi česar naj bi se na tem območju zbirale vse vode porečja in ga najbolj poglobile.

Poglobljanje kraških polj naj bi bilo najintenzivnejše v hladnem podnebju, kar je dokazoval z merjenjem korozije na podlagi trdote vode na Unici ob mrzlih zimskih dneh. Na podlagi oblike zatrepnih dolin ob polju in domnevne dvoetažnosti Planinske jame je sklepal na spreminjanje smeri in višine pretakanja vode v preteklosti. Dvojni značaj je zasledil v reliefu obrobja polja, kjer je opazil pregib na nadmorski višini od 460 do 470 m, ki naj bi bil najbolj opazen v okolici grada Haasberg. Pregib naj bi bil izrazita ločnica med višjimi pobočji, kjer matično podlago prekriva dolomitni grušč, ter nižjimi deli, kjer matično podlago prekriva tanka plast drobnornatega gradiva. Kljub obsežnim študijam se ni ukvarjal z razlago morfogenetskega pomena teh oblik.

Poplave na Planinskem polju so preučevali že sredi 19. stoletja z namenom njihovega razumevanja in pridobivanja trajnih obdelovalnih zemljišč (Putick 1888; Martel 1894). S tem namenom so raziskovali podzemlje in hidrologijo tega dela Notranjske vse do konca druge svetovne vojne. Nasprotno so se že v začetku 20. stoletja pojavile prve pobude za trajno ojezeritev Planinskega polja. Z možnostmi trajne ojezeritve se je podrobneje ukvarjal Breznik (1961). Zaradi namenov izgradnje akumulacije je Gams (1965; 1966) raziskoval vodne jame in njihovo hidrologijo med Cerkljanskim in Planinskim poljem ter Pivško kotlino. Zaradi naraščajoče zavesti o posebnih naravnih vrednotah so v šestdesetih letih 20. stoletja uveljavili prve odloke o zavarovanju kraških polj, s čimer so postopno opustili načrte o trajnih ojezeritvah ali akumulacijah na poljih (Breznik 1998; Kranjc 2002).

O vodi v podzemlju in jamah porečja kraške Ljubljane je poročal Gospodarič (1969a; 1969b), ki je menil, da so današnje hidrološke razmere v jamah rezultat razvoja podzemlja v pleistocenu in takratnih hidroloških razmer na kraških poljih. Mnogo hidroloških raziskav je bilo usmerjenih v preučevanje vodne bilance polja (Jenko 1959; Savnik 1960; Gams 1970; 1979; Ravnik 1976; Habe 1979), da bi določili pretočne zmogljivosti izvirov in ponorov. Čeprav se njihove ocene pretočnih zmogljivosti Planinskega polja razlikujejo, so avtorji prepričani, da so poplave posledica večjega dotoka vode skozi izvire, kot je odtočna zmogljivost požiralnikov, zaradi česar naj bi prišlo do zastajanja vode na polju.

Z opazovanjem hidroloških razmer v ponornem zaledju polja se je ukvarjal Šušteršič (1982). Opažil je, da se med poljem in Najdeno jamo ohranja višina vodostaja ter da je višina poplav v Najdeni jami odvisna od višine vode v Gradišnici. Tega pojava ni povezal z višino kraške vode, saj si je pretok skozi kras predstavljal po Katzerjevi (1909) teoriji ločenih cevi. Zato je majhen pretok vode skozi jamo in njeno višino razlagal z nekakšnim mrtvim kotom ponornega sistema, ki naj bi ga od polja ločila učinkovita pregrada, ki jo imenuje »filter«. Zakaj se na polju ter v jami gladini vode sinhrono dvigata in spuščata, čeprav naj bi bili ločeni s pregrado, ni pojasnil. Sklenil je, da na višino vode v Gradišnici, in posledično na višino vode v Najdeni jami najverjetneje vplivajo podori na območju Logaških udornic, medtem ko naj bi bilo polje kljub sinhronemu nihanju vode ločeno s pregrado.

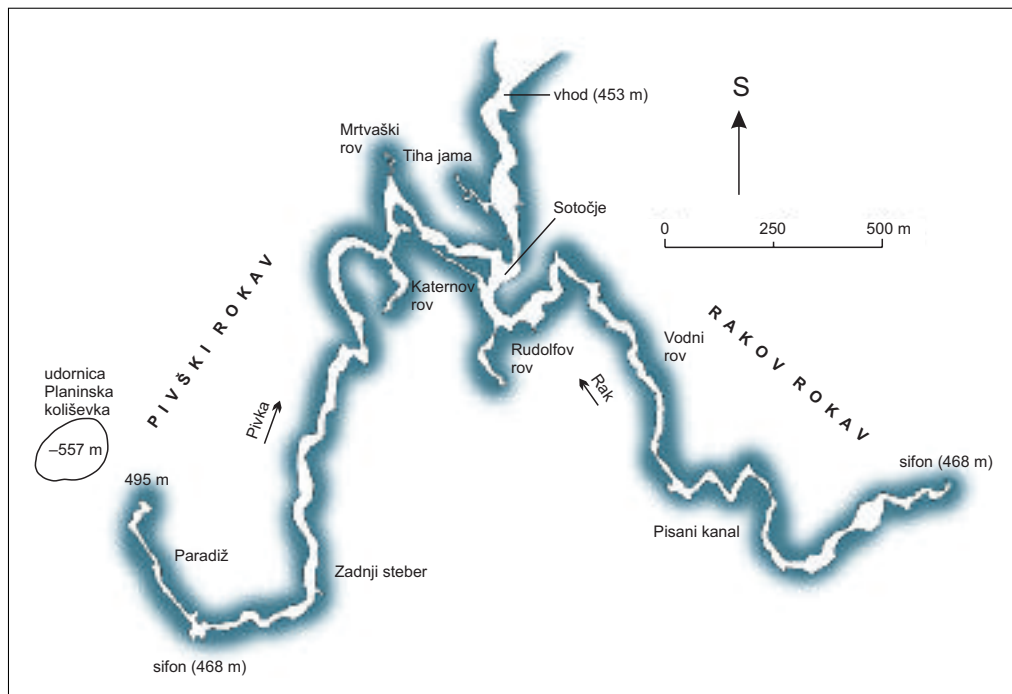
Prvi, ki je vzroke poplav prepoznal v omejeni prepustnosti krasa med Logaškim poljem in izviri Ljubljane, je bil Habič (1985). Primerjal je nihanje kraške vode na Planinskem polju ter v vodnih jamah v zaledju ponorov. Opazil je, da ob visokih vodostajih voda v podzemlju različno niha, pri čemer se vzpostavi enakomeren strmec vse do Gradišnice v bližini Logaškega polja. Podoben strmec je ugotovil še med končnim sifonom v Pivki jami in pritočnim sifonom v Pivškem rokavu Planinske jame ter med končnim sifonom v Tkalca jami in pritočnim sifonom v Rakovem rokavu Planinske jame, na podlagi česar je sklepal o splošnih značilnostih hidravličnega gradienta v podzemlju. Območja, kjer se gradient poveča, je razlagal kot manj prepustne cone. Menil je, da na nihanje talne vode v krasu najbolj vpliva geološka sestava s prepustnostjo kamnin, sekundarno poroznostjo in neotektoniko, v manjšem obsegu je dopuščal možnost kratkotrajnih in lokalnih vpliv podorov in alohtonih naplavin ponornic na zastajanje kraških voda.

Habičeve (1985) ugotovitve o zaježitvi Planinskega polja z visoko kraško vodo v ponornem zaledju potrjujejo novejša raziskava Turka (2008) ter Turka in Gabrovška (2009), ki sta podrobno spremljala nihanje in temperaturo vode ob ponorih na Planinskem polju ter vodnih jamah v zaledju. Sklepata, da so poplave na Planinskem polju posledica visoke gladine podzemne vode v okoliškem kraškem masivu, ki se gorvodno razširi iz podzemlja na polje.

Ekstremne poplave v preteklosti, ki so se po obsegu in višini bistveno razlikovale od poplav v recentnih hidroloških razmerah, so preučevali Stepišnik s sodelavci (2012), ki so podrobno preučili izvorni del obrobja polja in tamkajšnje jame. Rezultati so pokazali, da se je kraška voda na območju Planinskega polja lahko dvignila za okoli 40 m višje, kot ob najbolj ekstremnih današnjih poplavah.

Najobsežnejšo in najbolj natančno raziskavo sedimentov med Pivško kotlino in Planinskim poljem je objavil Gospodarič (1976), ki se je ukvarjal s speleogenezo Postojnskega jamskega sistema in Planinske jame (slika 8). Dokazal je, da so si določene alohtone naplavine v celotnem območju stratigrafsko in petrografske zelo podobne. Razlikoval je več razvojnih stopenj Planinske jame, ki se ujemajo z razvojem Pivške kotline in jam Postojnskega krasa: (1) prod pisanega roženca; (2) starejša laminirana ilovica; (3) prod belega roženca; (4) odlaganje starejše sige; (5) na sigo se je odložil apnenčev prod; ker je voda nanosila grušč in prod izpod udornice Planinska koliševka v Planinski in Rakov rokav (Gospodarič in Pavlovec 1974), je domneval, da je voda občasno tekla precej hitro (približno 3 m/s); ob koncu te faze naj bi se v podzemlju nabralo že toliko podornega grušča izpod udornice, da so se pretočne poti začele predstavljati; (6) prhka rdeča ilovica, nad katero je ponekod grušč; (7) odlaganje mlajše sige; (8) odlaganje mlajše laminirane ilovice, za katero je značilno menjavanje peščenih in ilovnatih plasti; (9) temno rjava poplavna ilovica brez peščene frakcije; z granulometričnimi analizami je dokazal, da se je odlagala iz stoječe vode ob zelo visokih poplavah, ki so segle vsaj do nadmorske višine 490 m; sicer se je v tem obdobju, ko je voda še imela erozivno in transportno moč, odstranjevalo starejše gradivo v nižjih delih Pivškega in Rakovega rokava; (10) voda se je povsem umaknila iz vseh jamskih rogov in v njih se je odložila najmlajša siga; (11) ko so nižji rovi postali ponovno hidrološko aktivni, se je začela erozija starejših sedimentov in poglobljanje skalnega dna v njih; v višjih, hidrološko neaktivnih rovih, naj bi se siga odlagala do danes; (12) v zadnjem obdobju, ki traja še danes, je zasledil sledi občasnih izjemno visokih poplav, ki so zalile jamske rove vsaj do nadmorske višine 470 m.

Gospodarič (1976) je z vzorčenjem sige, ki je bila odložena med različnimi klastičnimi sedimenti, podrobneje kronološko razložil stratigrafijo sedimentov v Planinski jami. Naredil je trinajst analiz s ^{14}C



Slika 8: Tloris Planinske jame (prirejeno po Gospodariču (1976)).

metodo in dve z U-Th metodo. Ugotovil je tri generacije sige: (1) starejšo sigo, ki je stara več kot 80.000, je opredelil kot predwürmsko ali starowürmsko, (2) mlajšo sigo, ki je stara med 50.000 in 30.000 leti, je opredelil kot srednjewürmsko, (3) najmlajšo, ki je stara do 10.000 let, je imenoval holocenska sigo.

Najstarejša sigo je odložena nad prodom pisanega roženca, starejšo laminirano ilovico in prodom belega roženca. Nad njo odložena apnenčev prod izpod udornice Planinska koliševka in rdeča ilovica sta prekrita z mlajšo sigo, kar pomeni, da sta bila odložena v obdobju pred 80.000 do 50.000 leti (Gospodarič 1985). Mlajša laminirana ilovica naj bi se odlagala pred okoli 30.000 leti, rjava poplavna ilovica pa do vključno holocena. Nad in med najmlajšo sigo je ponekod odložena najmlajša poplavna ilovica, odlaganje obeh pa je uvrstil v holocen.

Kljub podrobnim podatkom o stratigrafiji sedimentov in delni umestitvi na absolutno časovno lestvico Gospodariču ni uspelo določiti vzrokov večkratnih visokih poplav na pritočni strani Planinskega polja. Predvideval je, da bi jih lahko povzročili zatrpani rovi in sifoni ali da so posledica podnebnih sprememb.

Da bi pridobil več podatkov o nekdanjem pretočnem režimu Planinskega polja in morebitnih vzrokih za spremembe, je (Gospodarič 1982a; 1982b) nadaljeval s podrobnimi stratigrafskimi raziskavami sedimentov v jamah ponornega zaledja polja. V Najdeni jami (Gospodarič 1982b) je rove razdelil na: vodne, kjer po njih ponornice predstavljajo ilovnato gradivo, občasno aktivne, v katerih prekriva skalno dno rjava, mastna laminirana ilovica z ooidi limonita in kremenovimi zrni do nadmorske višine 440 m ter suhe rove, kjer so v primarni legi ohranjene laminirane peščene ilovice z vmesnimi plastmi sige in podornih blokov, ki odražajo paleoekološke akumulacijske razmere.

Stratigrafsko zaporedje sedimentov v ponornem delu polja je na podlagi primerjav s Planinsko jamo relativno kronološko opredelil: (1) skalno dno prekrivajo laminirana ilovica, pesek in prod iz riškega glaciala; (2) Interglacialna sigo; (3) starejši zasip iz prve polovice würma; (4) interstadialna sigo; (5) mlajši zasip iz druge polovice würma; (6) poplavna ilovica do nadmorske višine od 470 do 480 m iz mlajše-

ga würma; (7) siga in podorne skale holocenske starosti z vmesno poplavno ilovico do višine od 450 do 460 m; (8) recentna poplavna ilovica do nadmorske višine 440 m.

Ob primerjavi absolutnih nadmorskih višin poplavnih ilovic v Planinski jami, Logarčku in Najdeni jami je Gospodarič (1982b) ugotovil, da se nadmorska višina stratigrafsko sorodnih ilovic ujema: najvišja poplavna ilovica, ki prekriva vse ostale sedimente, je v Planinski jami odložena do nadmorske višine skoraj 490 m, v Logarčku do 480 m in v Najdeni jami do 470 m; postglacialna poplavna ilovica, ki naj bi se odlagala ob ekstremnih hidroloških razmerah, pa seže v Planinski jami do nadmorske višine okoli 470 m, v Logarčku do 460 m in Najdeni jami do 450 m.

Opazil je, da je bistveno več naplavin v ponornem sistemu Pivške kotline in Cerkniškega polja, ki ju napajajo tudi alogene ponornice, kot na Planinskem polju, kjer kraške vode ne prenašajo veliko gradiva, ter da so mlajše pleistocenske naplavine na splošno mnogo debelejše kot starejše. To je razlagal s poglabljanjem Ljubljanskega barja za okoli 0,5 m/1000 let (Šerclj 1966), ki naj bi pomembno vplivalo na razvoj kraških polj in obrobni jamskih sistemov v hidološkem zaledju.

Gospodaričevo (1976) kronološko razlago stratigrafije v Planinski jami so povzeli Šušteršič, Šušteršič in Stepišnik (2003) in jo združili s svojimi razlagami o pretočitvi Cerkniščice na Cerkniško polje (Šušteršič in Šušteršič 2003). Planinsko jamo naj bi oblikovale zgolj vode iz Pivške kotline oziroma Pivka, katere iztok na Planinsko polje se je menjaval med današnjim iztokom in zatrepno dolino Malni. Po prvem würmskem stadialu, pred 70.000 do 50.000 leti, ko naj bi prišlo do pretočitve Cerkniščice, naj bi se glavni odtok vode iz Cerkniškega polja usmeril proti Rakovemu rokavu Planinske jame. Dodatna količina vode naj bi v Planinski jami odrinila Pivko proti vzhodu, pri čemer naj bi odstranila sedimente v iztočnem rovu, ki naj bi bil zatrpan pred drugim würmskim stadialom, to je v času do pred okoli 25.000 leti. Ob tem naj bi se vzpostavil recentni hidrološki sistem.

Razvoj Planinske jame so Šušteršič, Šušteršič in Stepišnik (2003) razložili na podlagi raziskav Gospodariča (1976). Določili so trinajst faz, pri čemer so v zadnji dve, ki naj bi trajali od pred 20.000 leti do holocena, uvrstili odlaganje poplavne ilovice nad vsemi ostalimi sedimenti do nadmorske višine vsaj 490 m. To bi pomenilo, da se je gladina kraške vode dvignila za okoli 40 m višje od najvišjih današnjih poplav. Žal niso navedli lokacij, kjer so odložene poplavne ilovice, prav tako niso bile opravljene petrološke ali datacijske analize. Zaradi pomanjkanja natančnejših podatkov Šušteršič, Šušteršič in Stepišnik (2003) ne sklepajo o okoliščinah tovrstnih poplav in tako le predpostavljajo, da so morale biti poplave posledica izjemnega enkratnega dogodka. Tovrstne sedimente v enaki stratigrafski legi omenja že Gospodarič (1967), a jih tudi on podrobneje ne obravnava.

Prve numerične datacije z uporabo metode paleomagnetizma na območju Planinskega polja sta objavila Šebela in Sasowsky (1999). Analizirala sta prerez starejše laminirane ilovice (Gospodarič 1976) na nadmorski višini od 460 do 464 m v Rudolfovem rovu Planinske jame. Sedimenti celotnega preseka imajo normalno oziroma severno polarizacijo, zato sta sklenila, da se je sediment odlagal po zadnjem obratu pred 0,73 milijona let.

Zadnje numerične datacije s paleomagnetno metodo so objavili Zupan Hajna s sodelavci (2008a; 2008b) ter Zupan Hajna, Mihevc in Prelovšek (2010). Vzorčili so isti prerez v Rudolfovem rovu, kot so ga obravnavali Gospodarič (1976) ter Šebela in Sasowsky (1999), le da so izbrali drugo mesto. Rezultati so potrdili, da imajo sedimenti celotnega prereza normalno polarizacijo, zaradi česar so ga prav tako uvrstili v recentno Brunhes obdobje. Posledično velja, da so tudi višje odloženi, mlajši sedimenti iz tega obdobja. Če rezultate primerjamo z numeričnimi datacijami Gospodariča (1976), lahko sklenemo, da se je starejša laminirana ilovica odlagala pred 730.000 do 80.000 leti.

Zadnje morfokronološke analize na območju Planinskega polja so objavili Stepišnik s sodelavci (2012). Preučevali so drobnozrnate sedimente v izvirnem zaledju Planinskega polja in ugotovili, da je poplavna ilovica v jamah in na površju odložena do nadmorske višine 495 m. Z datacijo sige iz stranskega rova Tiha jama v Planinski jami so ugotovili, da se je poplavna ilovica odlagala do nadmorske višine 495 m pred okoli 5700 leti. Zadnje tako visoke poplave so bile torej še v holocenu, kar so nakazali že Gospodarič (1976) ter Šušteršič, Šušteršič in Stepišnik (2003).

5 PALEOPOPLAVE V POREČJU LJUBLJANICE

V porečju Ljubljane sem morfografsko analizirala oblike na površju in jamah. Najprej sem morfološko opredelila reliefne oblike na površju, ki bi lahko nastale ob paleopoplavah (Kochel in Baker 1982). V nižjih delih Spodnje Pivške kotline je ob Pivki in Nanoščici poplavna ravnica na nadmorski višini 515 m. Tam se v današnjih hidroloških razmerah ob poplavih iz suspenzije odlaga drobnnozrnato gradivo. Nad recentno poplavno ravnico so ostanki uravnave, ki predstavljajo višjo rečno teraso. Sledi drobnnozrnatih naplavin s horizontalno stratigrafijo, ki je značilna za poplavne sedimente (Nanson in Croke 1992; Aslan 2003; Nanson in Gibling 2003; Marriott 2006; Anderson in Anderson 2010; Warburton 2011), sem na višji nadmorski višini, kot jo doseže najvišja gladina kraške vode v recentnih hidroloških razmerah, prepoznala tudi v pobočjih Cerkniškega in Planinskega polja ter v več udornicah med polji. Predpostavila sem, da so tovrstne oblike sledi višjih poplav v preteklosti oziroma sledi paleopoplav (Kochel in Baker 1982; Baker 1987; House s sodelavci 2001 v: Baker 2003) in jih geomorfološko kartirala.

Sledi paleopoplav v jamah sem opredelila z analizo morfoloških značilnosti jam. Ta je obsegala analizo primarnih jamskih oblik in morebitnih poplavnih sedimentov, ki so večinoma laminirani (Nanson in Croke 1992; Aslan 2003; Bridge 2003; Nanson in Gibling 2003; Potter 2003; Bloesch 2004; Harden 2006; Marriott 2006; Ford in Williams 2007; Anderson in Anderson 2010). V jamskih rovih sem analizirala oblike na stenah, stropu in tleh, ki nastajajo ob stiku z agresivno poplavno vodo ali na stiku naplavin z živo skalo ali avtohtonimi sedimenti (Farrant in Smart 2011). V jamskih rovih, ki v današnjih razmerah niso več hidrološko aktivni, sem analizirala vzorce drobnnozrnatega gradiva.

Morfometrična analiza je obsegala podrobno kvantitativno analizo vseh reliefnih oblik, ki so nastale ob paleopoplavi ali so povezane z njimi. Z meritvami na terenu in z uporabo geografskih informacijskih sistemov sem pridobila podatke o njihovih geometričnih lastnostih, z meritvami električne upornosti tal pa podatke o globini gradiva. Z meritvami sem določila prostorsko razsežnost in višino paleopoplav. Pokazalo se je, da sta se obseg in višina poplav v preteklosti spreminjala.

Vzorci sedimentov, ki sem jih opredelila kot rezultat paleopoplav, so bili petrološko analizirani v laboratoriju. Izvor sedimentov je bil določen z analizo mineralov z metodo rentgenske difrakcije. Značilnosti sedimentacijskega okolja in potek diagenese vzorčenega gradiva so bile analizirane z analizo kemijskih elementov z metodo rentgenske fluorescenca. Za ugotavljanje dinamike vodnega toka, iz katerega so se odlagali sedimenti, je bila uporabljena granulometrična analiza, s katero so bili določeni deleži peščene, meljaste in glinaste frakcije. Na podlagi razmerja deležev med posameznimi frakcijami sem ugotovila, kateri sedimenti so bili odloženi iz stoječe vode oziroma v poplavnih dogodkih.

Drobnnozrnato gradivo sem vzorčila na uravninah, v udornicah in jamah. Izbrala sem 38 primernih lokacij za vzorčenje. Od tega sem zvrstila 14 vrtn in 5 v naplavine na površju in 5 v naplavine v dneh udornic. V jamah sem analizirala gradivo iz 19 prereзов, kjer je bil razkrit poplavni sediment. Na izbranih lokacijah je bilo za petrološke analize odvzetih 67 vzorcev drobnnozrnatega gradiva. Z rentgensko difrakcijo je bilo analiziranih 65 vzorcev, z rentgensko fluorescenco pa 49 vzorcev. Analize granulometrije so bile opravljene na 46 vzorcih.

S temi podatki sem s pomočjo modeliranja v GIS-ih opredelila obseg in višino paleopoplav ter pridobila podatke o izbranih hidrometričnih značilnostih. Z modeliranjem obsega in višin paleopoplav sem izračunala prostornine in površine vodnih teles, ki bi bila oblikovana v Pivški kotlini ter Cerkniškem in Planinskem polju. Izračuni hidrometričnih lastnosti paleopoplav so omogočili nadaljnjo primerjavo z recentnimi poplavnimi dogodki.

Za morfokronološko analizo paleopoplav sem uporabila metodi ^{14}C in U-Th za datiranje sige v jamah, ki prekriva poplavne sedimente ali pa je prekrita z njimi. Določitev časovnega obdobja paleopoplav je omogočila razlago okoljskih razmer, v katerih so se poplave pojavljale.

Vzorke sige za datacije sem izbirala glede na stratigrafsko lego v primerjavi s preučevanimi drobnozrnatimi sedimenti in glede na ohranjenost sige. Kronološko sem analizirala devet prerezov, v katerih sem zajela 14 vzorcev sige za datacijske analize: dvanajst za analize s ^{14}C in dve za U-Th. Vse datacije so bile opravljene na vzorcih sige iz Postojnske jame.

Na podlagi razlage dinamike pojavljanja paleopoplav in rezultatov morfokronološke analize sem določila možne vzroke za poplave v takšnem obsegu.

5.1 PIVŠKA KOTLINA

5.1.1 SLEDI PALEOPOPLAV NA POVRŠJU

V Pivški kotlini so geomorfološke sledi paleopoplav na površju v Spodnji Pivški kotlini, kjer je na flišni matični podlagi razvit rečni geomorfni sistem. Vodotoki erodirajo podlago in transportirajo gradivo, v nižjih delih pa ga akumulirajo. V Zgornji Pivški kotlini, ki jo gradijo karbonatne kamnine, vodotoki korodirajo skalno podlago in gradivo transportirajo zlasti v raztopini, zato so količine klastičnega gradiva zanemarljive.

V dnu Spodnje Pivške kotline je obsežna poplavna ravnica na nadmorski višini 515 m, v katero sta Pivka in Nanoščica poglobili svoji strugi za 1 do 4 m. Ob vsakoletnih poplavah se reki razlijeta po ravnici, kjer se iz suspenzije odlagajo drobnozrnati sedimenti. Nad recentno poplavno ravnico so uravnave, ki se v obliki rečnih teras dvigajo nad hidrološko aktivnim dnem in jih ne dosežejo niti najvišje znane recentne poplave. So na nadmorskih višinah 533 do 535 m (slika 9). Predpostavila sem, da so uravnave ostanek razkosane poplavne ravnice, ki je nastala ob paleopoplavah, zato sem jih podrobno morfografsko in morfometrično analizirala.

Ostanki uravnave na nadmorski višini 533 do 535 m so ohranjeni pri Grobišču, Stari vasi, med Postojno in postojnskim letališčem, na območju stare opekarne jugovzhodno od Hrašč, pri Malem otoku, Zagonu, Velikem otoku in v južnem delu slepe doline Risnik. Skupna površina ohranjenih delov uravnave na tej višini je 2,146 km².

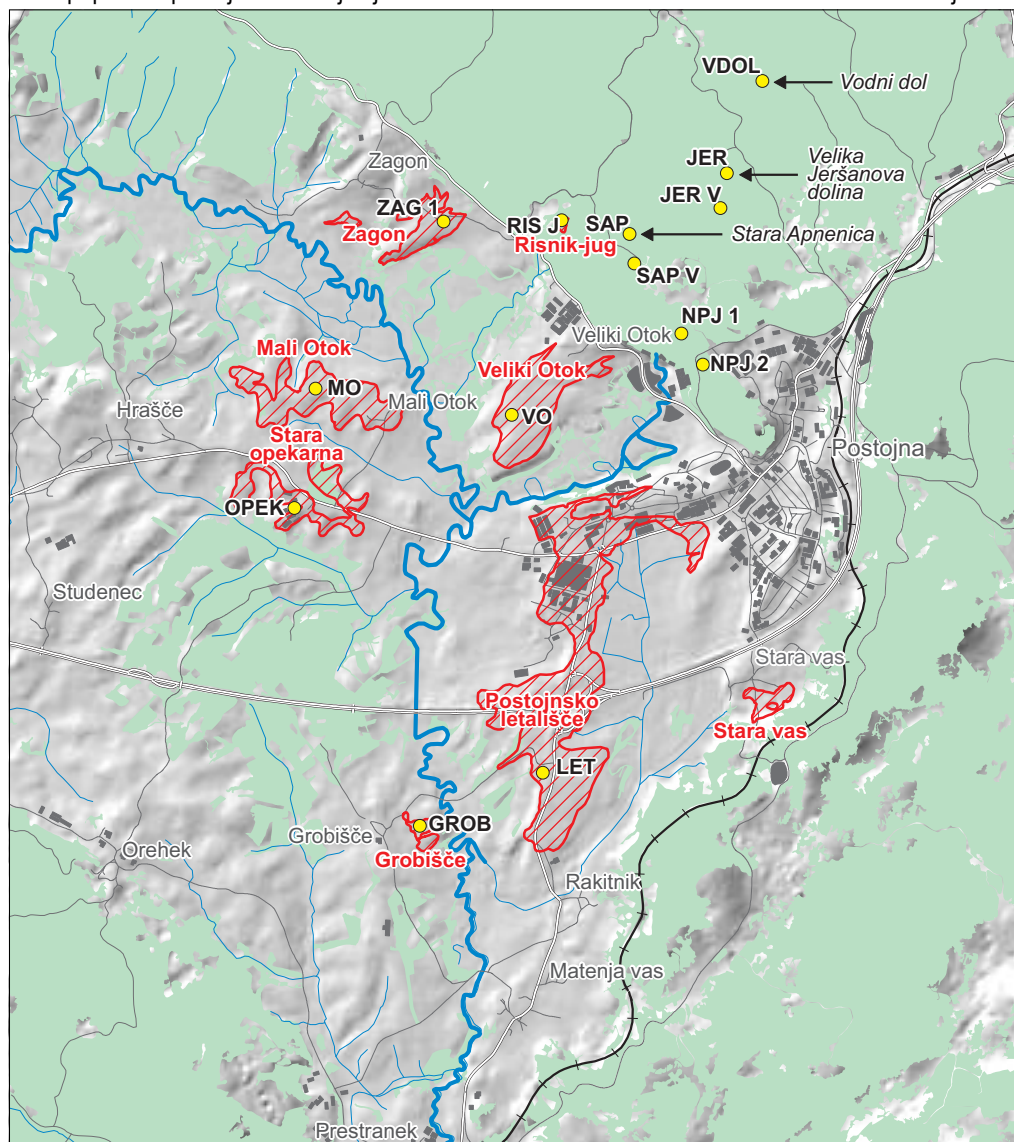
Preglednica 1: Metrične lastnosti hidrološko neaktivnih uravnav v Pivški kotlini.

uravnave	nadmorska višina (m)	površina (km ²)
Grobišče	533	0,03
Stara vas	533–535	0,05
Postojnsko letališče	533	1,13
Stara opekarna	534	0,20
Mali Otok	533	0,31
Zagon	533–535	0,13
Veliki Otok	533	0,29
Risnik – jug	532	0,01

5.1.1.1 Grobišče

Terasa pri Grobišču je ohranjena v pobočju med naseljem Grobišče na grebenu in strugo Pivke v dnu doline (slika 9). Površina terase je 0,031 km². Vzporedno s pobočjem se razteza v dolžini okoli 300 m, široka je okoli 165 m (slika 10). Izmerjena nadmorska višina je 533 m.

Slika 9: Prostorska razporeditev hidrološko neaktivnih uravnav v Pivški kotlini. ► str. 52



Nadmorske višine teras v Pivški kotlini

 terasa na nadmorski višini 533–535 m

 območje vzorčenja

 udornica

Avtorica vsebine: Mateja Ferk

Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun

Podlaga: GURS 2015, ARSO 2015.

© Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

0 0,5 1 2 km



Slika 10: Terasa pri Grobišču na nadmorski višini 533 m.

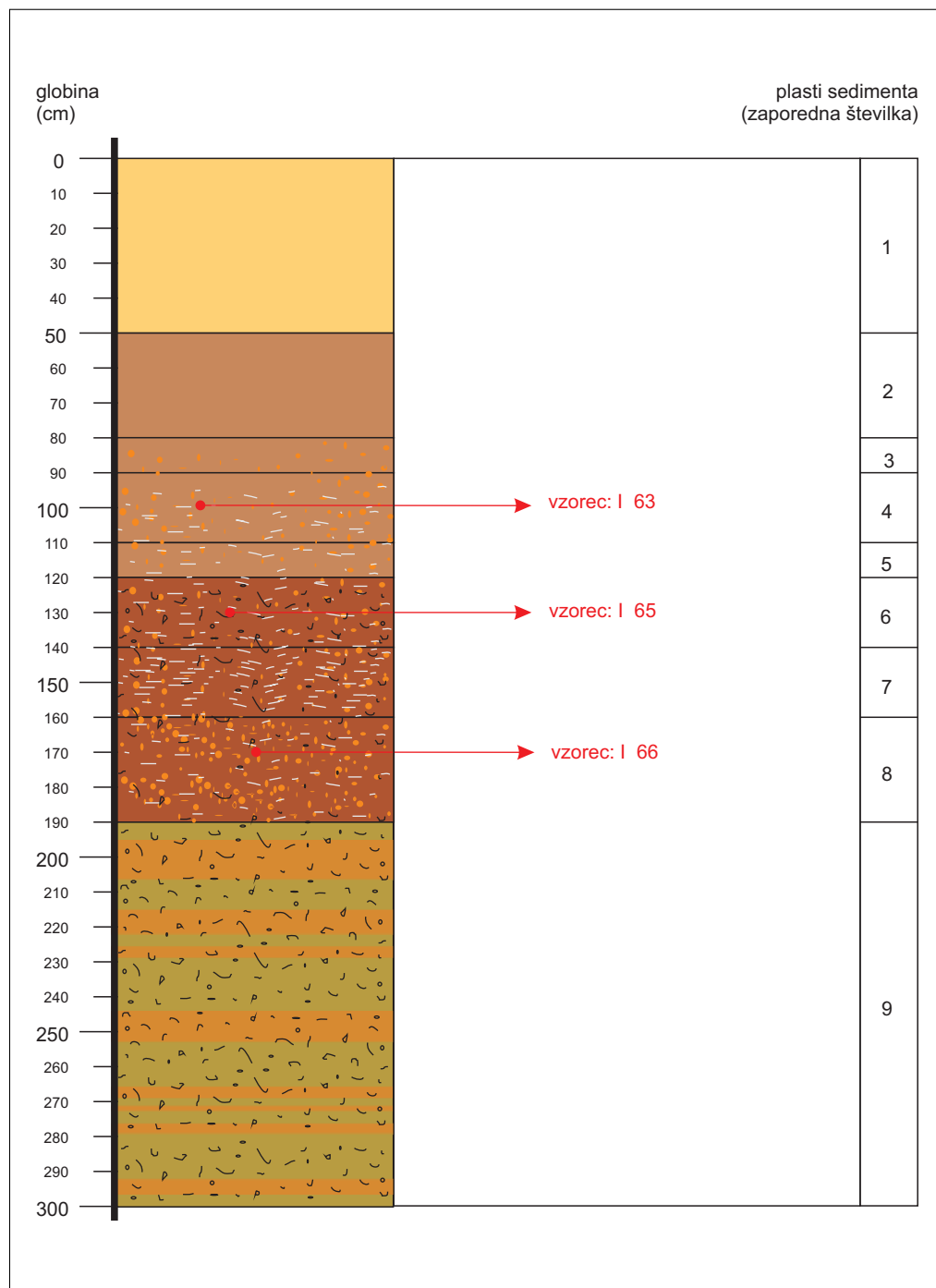
V severnem delu terase pri Grobišču sem z ročnim vrtalnikom zvrtala 3 m globoko vrtino (oznaka GROB na sliki 9). Skalne podlage nisem dosegla. V navpičnem prerezu vrtine sem po barvi in na otip ločila devet plasti sedimentov (slika 11):

- (1) globina 0 do 50 cm: prhka, svetlo rjava, drobna prst, antropogeno premešana zaradi kmetijske obdelave;
- (2) globina 50 do 80 cm: rjava ilovica;
- (3) globina 80 do 90 cm: rjava meljasta ilovica;
- (4) globina 90 do 110 cm: rjava ilovica z oranžnimi pegami in sivimi progami;
- (5) globina 110 do 120 cm: rjava, rahlo peščena ilovica z oranžnimi pegami in sivimi progami;
- (6) Globina 120 do 140 cm: temno rjava peščena ilovica s tršimi skupki premera do 2 mm. Pojavljajo se oranžne pege in sive proge ter mnogo delcev črnega organskega gradiva;
- (7) globina 140 do 160 cm: temno rjava peščena ilovica v kateri prevladujejo sive proge, oranžne pege in črno organsko gradivo so še prisotni;
- (8) globina 160 do 190 cm: temno rjava meljasta ilovica v kateri prevladujejo oranžne pege, sive proge in delci črnega organskega gradiva so redki;
- (9) globina 190 do 300 cm: menjavanje slojev rahlo peščene oranžne ilovice in drobne zelenkastorjave ilovice.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz treh plasti (slika 11): (4) vzorec I 63 iz globine 100 cm, (6) vzorec I 65 iz globine 130 cm in (8) vzorec I 66 iz globine 170 cm.

Omenjeni vzorci (I 63, I 65 in I 66) so bili analizirani tudi z rentgensko difrakcijo. Sediment v vzorcu I 63 vsebuje: 55 % kremenca, 17 % muskovita/illita, 11 % klorita in Na-Ca-plagioklazov ter 6 % K-Na-glinencev. Sediment v vzorcu I 65 vsebuje: 65 % kremenca, 14 % muskovita/illita, 11 % Na-Ca-plagioklazov in 10 % klorita. Sediment v vzorcu I 66 vsebuje: 59 % kremenca, 18 % muskovita/illita, 12 % Na-Ca-plagioklazov in 11 % klorita.

Vzorec I 66 je bil analiziran z rentgensko fluorescenco. Sediment vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O in MgO .



Slika 11: Prerez gradiva v ročni vrtini na terasi pri Grobišču.

Granulometrično je bil analiziran vzorec I 63 iz četrte plasti, ki vsebuje 64,25 % melja, 20,3 % peska in 15,45 % gline (preglednica 2). Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.

Preglednica 2: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 63.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,70	20,30
1–0,5		grobi pesek	0,98	
0,5–0,25		srednje velik pesek	2,61	
0,25–0,125		droben pesek	6,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	10,01	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	12,89	64,25
0,031–0,016		grobi melj	16,55	
0,016–0,008		droben melj	18,41	
0,008–0,004		zelo droben melj	16,40	
<0,004	glina	glina	15,45	15,45

5.1.1.2 Stara vas

Terasa pri Stari vasi je južno od naselja Stara vas in sega do vznožja vzpetine Žerible (slika 9). Površina terase je 0,05 km². V smeri vzhod–zahod meri okoli 300 m, široka pa je od 100 do 200 m. Izmerjena nadmorska višina terase je 535 m na vzhodu in 533 m na zahodu (slika 12).



Slika 12: Terasa pri Stari vasi na nadmorski višini 533 do 535 m.

5.1.1.3 Postojnsko letališče

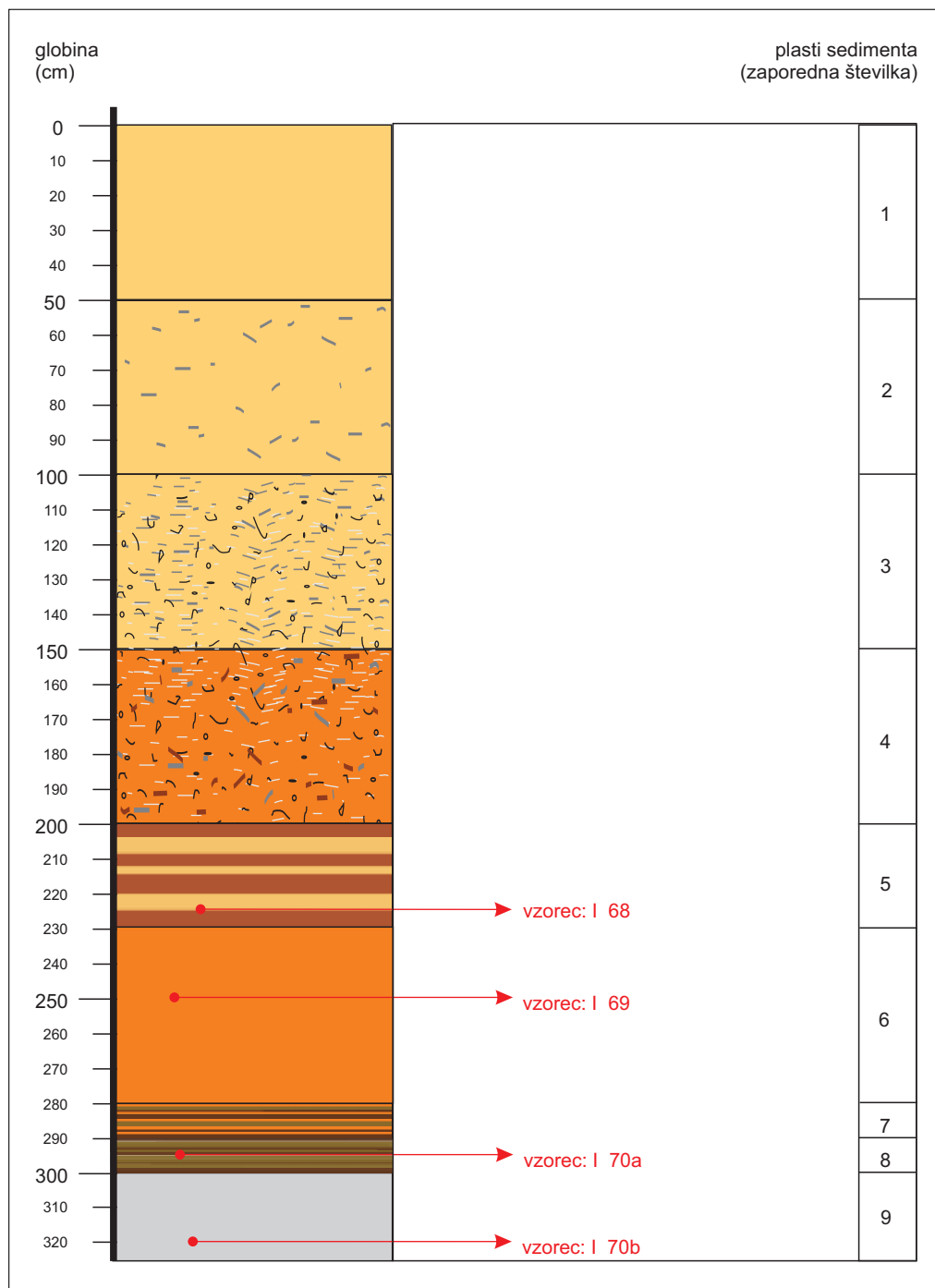
Terasa pri postojnskem letališču je južno od Postojne (slika 9). Terasa je v večjem delu pozidana. Na severu je postojnska industrijska cona med Kazari in Zalogom, prečkata jo glavni regionalni cesti iz Postojne v Koper in iz Postojne v Ilirsko Bistrico ter primorska avtocesta. Na južnem delu terase je postojnsko letališče (slika 13). Na vzhodu in jugu se je vanjo zarezal desni pritok Pivke Stržen, v katerega se steka voda, ki izvira v Logu pri Postojni in voda, ki izvira pod Staro vasjo. Na zahodu in severu je Pivka poglobila svojo rečno strugo od 10 do 15 m pod raven terase. Površina terase pri postojnskem letališču je 1,13 km². Razteza se okoli 1400 m v smeri sever–jug ter je v povprečju okoli 450 m široka. Izmerjena nadmorska višina je 533 m.

Kljub obsežnosti terase pri postojnskem letališču, je zaradi antropogenih vplivov malo lokacij primer-
nih za vrtnine. Izbrala sem zahodni rob južnega dela terase zahodno od regionalne ceste proti Ilirski Bistrici in južno od njenega odcepa proti Grobišču. Z ročnim vrtnikom sem zvrstila 3,2 m globoko vrtno (ozna-
ka LET na sliki 9). Skalne podlage nisem dosegla. V prerezu sem ločila devet plasti sedimentov (slika 14):

- (1) globina 0 do 50 cm: svetlo rjava prst, antropogeno premešana zaradi kmetijske obdelave;
- (2) globina 50 do 100 cm: svetlo rjava rahlo peščena ilovica z nekaj sivimi progami;
- (3) globina 100 do 150 cm: svetlo rjava rahlo peščena ilovica z drobci črnega organskega gradiva in nekaj sivimi progami;
- (4) globina 150 do 200 cm: oranžna peščena ilovica z nekaj sivimi progami;
- (5) globina 200 do 230 cm: svetlo do temno rjava laminirana ilovica;
- (6) globina 230 do 280 cm: oranžna meljasta ilovica;
- (7) globina 280 do 290 cm: oranžna in rjavozelena laminirana meljasto glinena ilovica;
- (8) globina 290 do 300 cm: rjavozelena laminirana meljasto glinena ilovica;
- (9) globina 300 do 320 cm: svetlo siva meljasto glinena ilovica.



Slika 13: Terasa pri postojnskem letališču na nadmorski višini 533 m.



Slika 14: Prerez gradiva v ročni vrtini na terasi pri postojnskem letališču.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz štirih plasti (slika 14): (5) vzorec I 68 iz globine 225 cm, (6) vzorec I 69 iz globine 250 cm, (8) vzorec I 70a iz globine 295 cm, (9) vzorec I 70b iz globine 320 cm.

Z rentgensko difrakcijo so bili analizirani vzorci I 68, I 69, I 70a in I 70b. Sediment v vzorcu I 68 vsebuje: 55 % kremenca, 22 % muskovita/illita, 15 % klorita in 8 % Na-Ca-plagioklazov. Sediment v vzorcu I 69 vsebuje: 53 % kremenca, 18 % muskovita/illita, 12 % klorita, 9 % Na-Ca-plagioklazov in 8 % goetit/lepidokrokita. Sediment v vzorcu I 70a vsebuje: 58 % kremenca, 25 % muskovita/illita in 17 % klorita. Sediment v vzorcu I 70b vsebuje: 64 % kalcita, 18 % kremenca in muskovita/illita.

Z rentgensko fluorescenco so bili analizirani vzorci I 68, I 69, I 70a in I 70b. Sediment v vzorcih I 68, I 69 in I 70a vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O in MgO . Sediment v vzorcu I 70b vsebuje predvsem SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O in MgO .

Granulometrično so bili analizirani vzorci I 69, I 70a in I 70b. Sediment v vzorcu I 69 vsebuje (preglednica 3): 66,73 % melja, 16,8 % gline in 16,47 % peska. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico. Sediment v vzorcu I 70a vsebuje (preglednica 4): 59,05 % melja, 34,18 % peska in 6,77 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto glineno ilovico. Sedi-

Preglednica 3: Deleži frakcij drobnazrnatega gradiva v vzorcu I 69.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	16,80
1–0,5		grobi pesek	0,77	
0,5–0,25		srednje velik pesek	4,00	
0,25–0,125		droben pesek	3,31	
0,125–0,062		zelo droben pesek	8,72	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	17,24	66,73
0,031–0,016		grobi melj	19,73	
0,016–0,008		droben melj	16,84	
0,008–0,004		zelo droben melj	12,92	
< 0,004	glina	glina	16,47	16,47

Preglednica 4: Deleži frakcij drobnazrnatega gradiva v vzorcu I 70a.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	6,77
1–0,5		grobi pesek	1,15	
0,5–0,25		srednje velik pesek	1,68	
0,25–0,125		droben pesek	1,33	
0,125–0,062		zelo droben pesek	2,61	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	6,45	59,05
0,031–0,016		grobi melj	11,84	
0,016–0,008		droben melj	18,33	
0,008–0,004		zelo droben melj	22,43	
< 0,004	glina	glina	34,18	34,18

Preglednica 5: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 70b.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	2,14
1–0,5		grobi pesek	0,56	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,87	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	0,71	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	5,57	63,83
0,031–0,016		grobi melj	12,39	
0,016–0,008		droben melj	20,21	
0,008–0,004		zelo droben melj	25,66	
<0,004	glina	glina	34,03	34,03

ment v vzorcu I 70b vsebuje (preglednica 5): 63,83 % melja, 34,03 % peska in 2,14 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku sediment uvrščamo v meljasto glineno ilovico.

5.1.1.4 Stara opekarna

Terasa pri stari opekarni je jugovzhodno od naselja Hrašče in južno od naselja Mali Otok (slika 9). V srednjem delu se nad teraso dviguje do 5 m višji flišni greben, po katerem je speljana regionalna cesta



Slika 15: Zahodni del terase pri stari opekarni.

Postojna–Koper. Severno od grebena je uravnava v veliki meri izkoriščena za drevesnico Gozdnega gospodarstva Postojna. Na južni strani, kjer je več gospodarskih in stanovanjskih objektov, je pred stoletjem stala opekarna (Melik 1955), v kateri so predelovali glino, ki so jo kopali v več kopih v ježi na južni strani terase. Skupaj obsega terasa 0,20 km². Terasa je široka od 130 do 1000 m. Na skrajnem zahodnem delu uravnave sem izmerila nadmorsko višino 535 m (slika 15), ostali deli so na nadmorski višini 534 m.

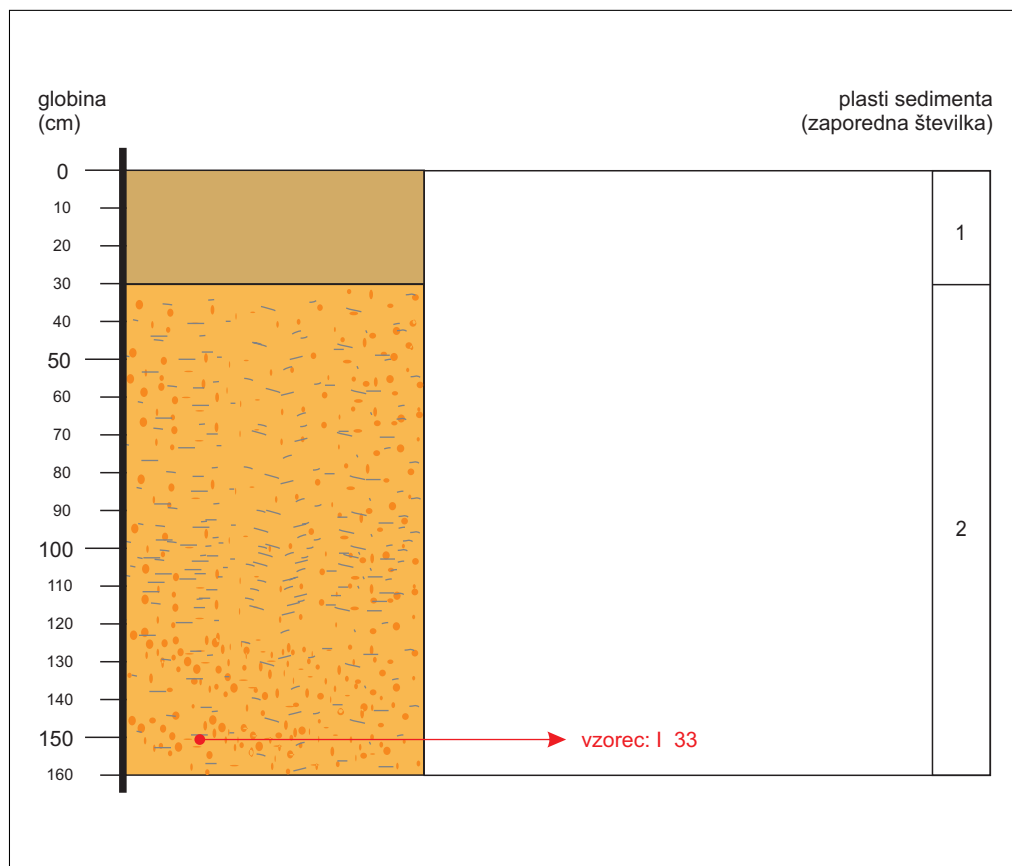
Za podrobnejšo analizo in vzorčenje gradiva sem izkoristila do 4 m globok usek pri stari opekarni, kjer se od glavne regionalne ceste Postojna–Koper loči pot proti območju, kjer so bili v preteklosti objekti stare opekarnice (danes so tam novejša zgradbe zasebnega podjetja). V useku sem razkrila 1,5 m globok prerez (oznaka OPEK na sliki 9). V prerezu sem ločila dve plasti (slika 16):

- (1) globina od 0 do 30 cm: antropogeno, premešano gradivo;
- (2) globina od 30 do 150 cm: svetlo rjava meljasta ilovica z oranžnimi pegami in sivimi lisami.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz spodnje plasti (slika 16): (2) vzorec I 33 iz globine 150 cm.

Vzorec I 33 je bil analiziran z metodo rentgenske difrakcije. Sediment vsebuje: 37 % kremena, 30 % muskovita/illita, 17 % klorita, 9 % kaolinita in 7 % Na-Ca-plagioklazov.

Z rentgensko fluorescenco je bil analiziran vzorec I 33. Sediment vsebuje predvsem SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O in MgO.



Slika 16: Navpični prerez gradiva v terasi pri stari opekarni.

Vzorec I 33 je bil granulometrično analiziran. Sediment vsebuje (preglednica 6): 29,67 % peska, 60,95 % melja in 9,38 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.

Preglednica 6: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 33.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	29,67
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	29,67	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	19,74	60,95
0,031–0,016		grobi melj	17,25	
0,016–0,008		droben melj	14,79	
0,008–0,004		zelo droben melj	9,17	
<0,004	glina	glina	9,38	9,38

5.1.1.5 Mali Otok

Naselje Mali Otok je na vzhodnem robu terase pri Malem Otoku, ki se razteza proti zahodu (slika 9). Na zahodu se je v teraso zarezal potok Mrzlek, ki je desni pritok Nanoščice, in s svojo dolino omejuje ostanek terase pri Malem Otoku na severni in vzhodni strani (slika 17). Na južni strani jo od terase pri stari opekarni loči dolina Ovčarske Mlake (slika 18), od koder odteka občasni potok proti sotočju Nanoščice in Pivke. Površina ostanka terase pri Malem Otoku je 0,31 km². V smeri vzhod–zahod se razteza okoli 1100 m, široka je povprečno okoli 200 m. Izmerjena nadmorska višina terase je 533 m.

V osrednjem delu terase pri Malem Otoku sem z ročnim vrtnikom zvrtila 3 m globoko vrtino (oznaka MO na sliki 9), a nisem dosegla skalne flišne podlage. V prerezu sem ločila pet plasti sedimentov (slika 19):

- (1) globina 0 do 50 cm: svetlo rjava, drobna prhka prst, ki je antropogeno premešana;
- (2) globina 50 do 130 cm: rjava ilovica z oranžnimi pegami in sivimi lisami;
- (3) globina 130 do 200 cm: siva ilovica, mastna na otip, z oranžnimi pegami;
- (4) globina 200 do 290 cm: oranžkasta meljasta ilovica s sivimi laminami;
- (5) globina 290 do 300 cm: oranžkasto-sivkasta do zelenkasta meljasta ilovica.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz dveh plasti (slika 19): (4) vzorec I 71 iz globine 205 cm, (5) vzorec I 72 iz globine 295 cm.

Z rentgensko difrakcijo sta bila analizirana vzorca I 71 in I 72. Sediment v vzorcu I 71 vsebuje: 77 % kremena, 12 % muskovita/illita in 11 % Na-Ca-plagioklazov. Sediment v vzorcu I 72 vsebuje: 69 % kremena, 14 % muskovita/illita, 13 % Na-Ca-plagioklazov in 4 % klorita.

Z rentgensko fluorescenco sta bila analizirana vzorca I 71 in I 72. Sediment v vzorcih I 71 in I 72 vsebuje predvsem SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, in K₂O.

Granulometrično sta bila analizirana vzorca I 71 in I 72. Sediment v vzorcu I 71 vsebuje (preglednica 7): 68,71 % melja, 16,21 % peska in 15,08 glin. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico. Sediment v vzorcu I 72 vsebuje (preglednica 8): 61,14 % melja, 26,79 % glin in 12,07 % peska. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.



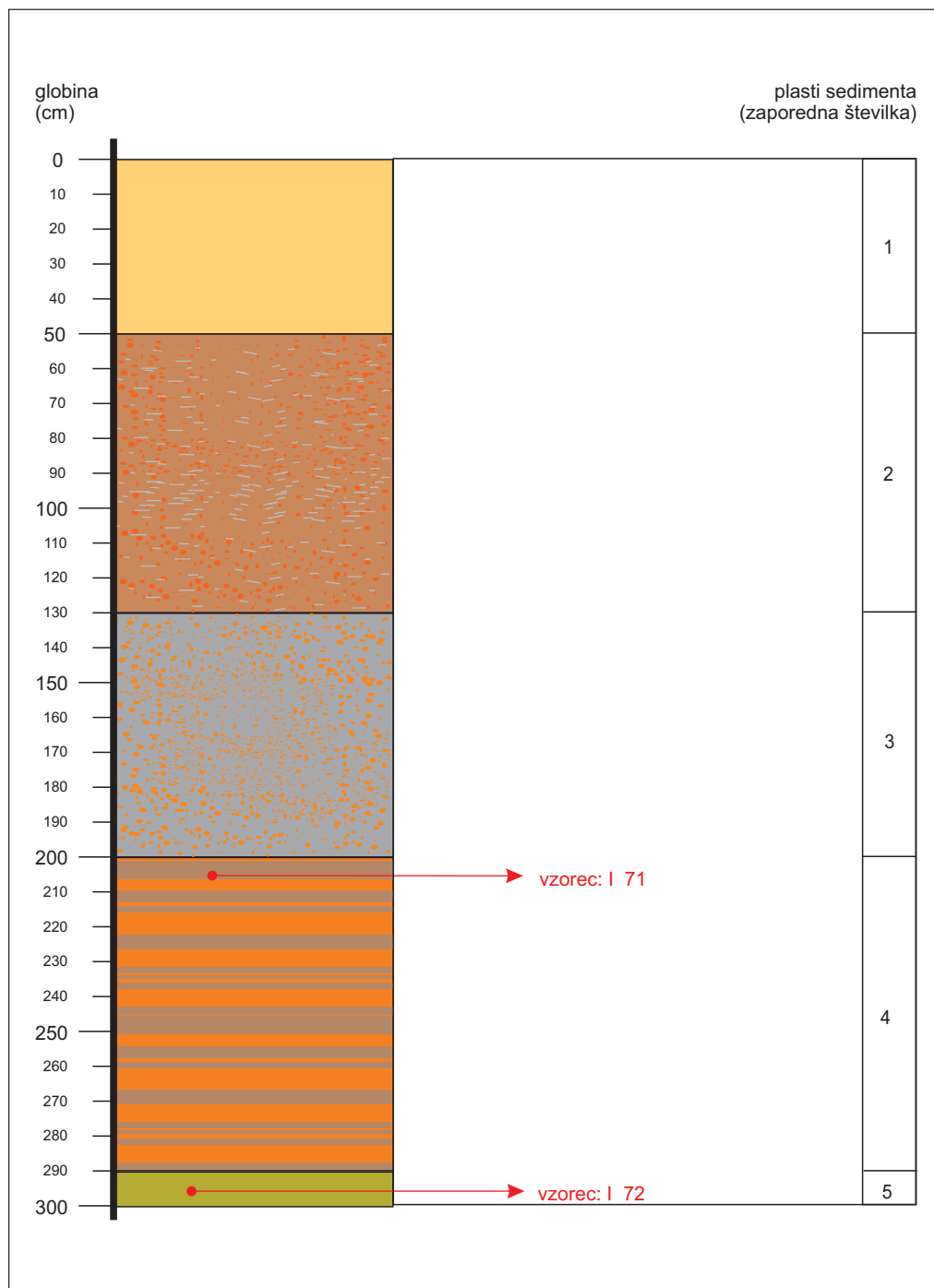
MATEJA FERK

Slika 17: Pogled z roba terase pri Malem Otoku proti terasi pod Zagonom.



MATEJA FERK

Slika 18: Pogled s terase pri Malem Otoku proti terasi pri stari opekarni, kateri loči dolina Ovčarske Mlake.



Slika 19: Prerez gradiva v ročni vrtini na terasi pri Malem Otoku.

Preglednica 7: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 71.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	15,08
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	2,67	
0,125–0,062		zelo droben pesek	12,41	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	18,53	68,71
0,031–0,016		grobi melj	18,85	
0,016–0,008		droben melj	16,95	
0,008–0,004		zelo droben melj	14,38	
< 0,004	glina	glina	16,21	16,21

Preglednica 8: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 72.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	26,79
1–0,5		grobi pesek	0,18	
0,5–0,25		srednje velik pesek	4,52	
0,25–0,125		droben pesek	7,53	
0,125–0,062		zelo droben pesek	14,56	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	19,28	61,14
0,031–0,016		grobi melj	16,64	
0,016–0,008		droben melj	13,54	
0,008–0,004		zelo droben melj	11,68	
< 0,004	glina	glina	12,07	12,07

5.1.1.6 Zagon

Terasa pri Zagonu je ohranjena jugovzhodno in južno od naselja Zagon (slika 9). Je v pobočju med višjim flišnim grebenom na severu in dolino Nanoščice na zahodu in jugu (slika 20). Površina terase je 0,12 km², široka je od 55 do 650 m. Izmerjena nadmorska višina je med 533 in 535 m.

V osrednjem delu terase pri Zagonu, vzhodno od križišča, kjer se od ceste proti Zagonu odcepi pot proti športnemu letališču, sem z ročnim vrtnikom zvrtila 3 m globoko vrtino (oznaka ZAG 1 na sliki 9). Skalne flišne podlage nisem dosegla. V prerezu vrtnice sem ločila deset plasti sedimentov (slika 21):

- (1) globina 0 do 60 cm: svetlo rjava antropogeno premešana prst;
- (2) globina 60 do 100 cm: rjava ilovica s sivimi progami;
- (3) globina 100 do 130 cm: rjavosiva ilovica z redkimi oranžnimi pegami.
- (4) globina 130 do 150 cm: rjavosivooranžkasta meljasta ilovica z drobcu organskega gradiva;
- (5) globina 150 do 170 cm: rjavosivooranžkasta meljasta do peščena ilovica;
- (6) globina 170 do 180 cm: zelenkastorumenkasta laminirana meljasta ilovica;
- (7) globina 180 do 250 cm: rjavosivooranžkasta meljasta do peščena ilovica;

- (8) globina 250 do 270 cm: zelenorjava meljasta ilovica;
- (9) globina 270 do 280 cm: zelenorjava ilovica, mastna na otip, v kateri so ponekod vidne lamine;
- (10) globina 280 do 300 cm: temno rjavozelena, peščena ilovica s tršimi skupki premera okoli 2 mm.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz šestih plasti (slika 21): (3) vzorec I 46 iz globine 105 cm, (4) vzorec I 47 iz globine 140 cm, (6) vzorec I 48 iz globine 175 cm, (8) vzorec I 50a iz globine 260 cm, (9) vzorec I 50b iz globine 275 cm, (10) vzorec I 51 iz globine 300 cm.

Z rentgensko difrakcijo so bili analizirani vzorci I 46, I 47, I 48, I 50a, I 50b in I 51. Sediment v vzorcu I 46 vsebuje: 54 % kremena, 21 % muskovita/illita, 15 % Na-Ca-plagioklazov in 10 % klorita. Sediment v vzorcu I 47 vsebuje: 50 % kremena, 23 % muskovita/illita, 12 % klorita, 10 % Na-Ca-plagioklazov in 5 % K-Na-glinencev. Sediment v vzorcu I 48 vsebuje: 39 % kremena, 21 % muskovita/illita, 16 % Na-Ca-plagioklazov in klorita ter 8 % K-Na-glinencev. Sediment v vzorcu I 50a vsebuje: 45 % kremena, 25 % muskovita/illita, 12 % Na-Ca-plagioklazov, 11 % klorita in 7 % kaolinita. Sediment v vzorcu I 50b vsebuje: 37 % kremena, 24 % muskovita/illita, 16 % klorita, 11 % Na-Ca-plagioklazov, 7 % K-Na-glinencev in 5 % amfibola.

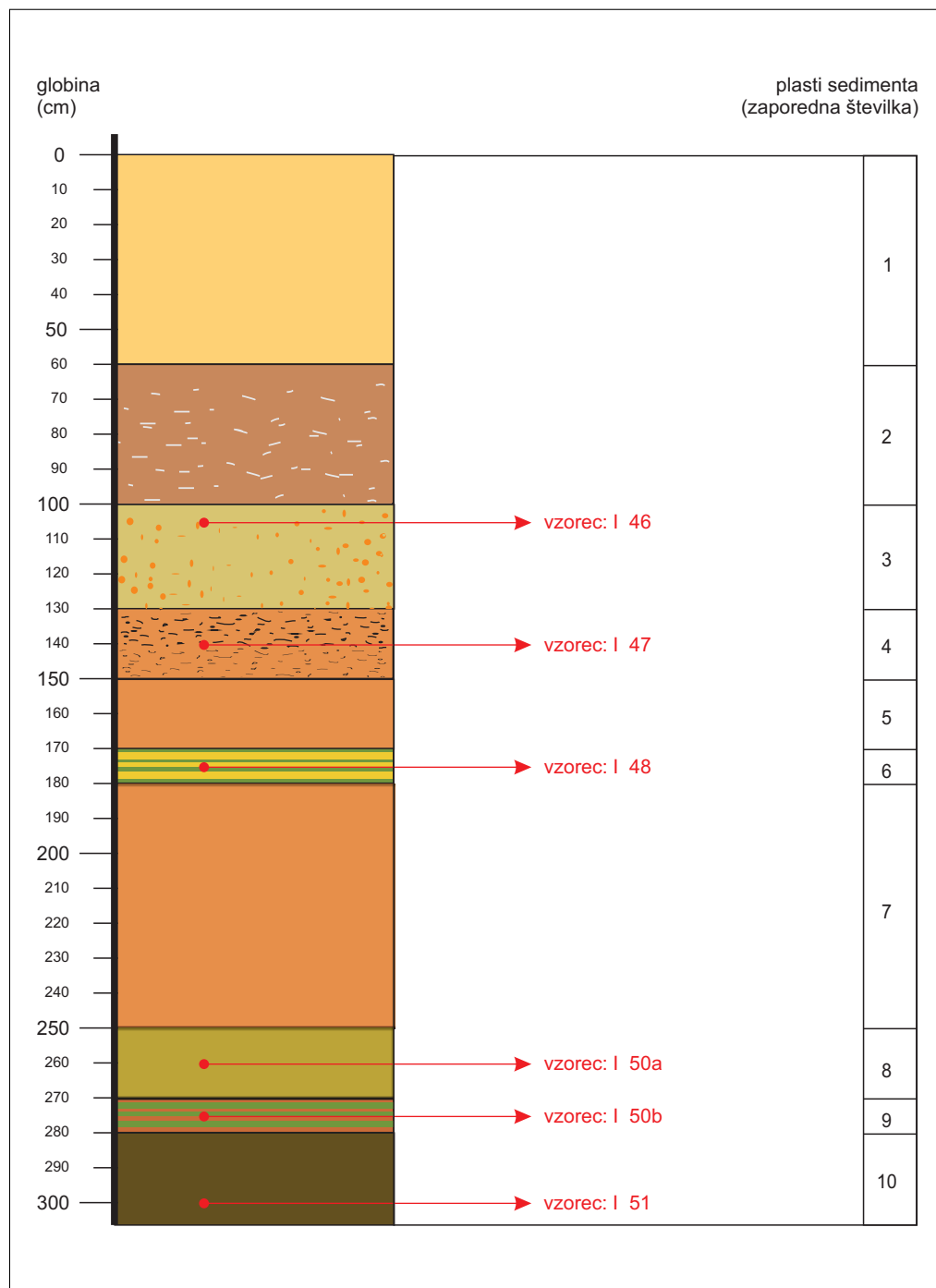
Z rentgensko fluorescenco so bili analizirani vzorci I 47, I 48, I 50a, I 50b in I 51. Sediment v vzorcih I 47, I 48, I 50a, I 50b in I 51 vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O in MgO .

Granulometrično so bili analizirani vzorci I 47, I 48 in I 50a. Sediment v vzorcu I 47 vsebuje (preglednica 9): 73,01 % melja, 15,95 % peska in 11,04 % glin. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico. Sediment v vzorcu I 48 vsebuje (preglednica 10): 74,56 % melja, 15,43 % peska in 10,01 % glin. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico. Sediment v vzorcu I 50a vsebuje (preglednica 11): 75,52 % melja, 21,26 % glin in 3,22 % peska. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.



MATEJA FERK

Slika 20: Ježa terase pri Zagonu.



Slika 21: Prerez gradiva v ročni vrtini v osrednjem delu terase pri Zagonu.

Preglednica 9: Deleži frakcij drobnazrnatega gradiva v vzorcu I 47.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,42	15,95
1–0,5		grobi pesek	2,44	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,95	
0,25–0,125		droben pesek	0,94	
0,125–0,062		zelo droben pesek	11,20	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	23,85	73,01
0,031–0,016		grobi melj	22,36	
0,016–0,008		droben melj	15,62	
0,008–0,004		zelo droben melj	11,18	
<0,004	glina	glina	11,04	11,04

Preglednica 10: Deleži frakcij drobnazrnatega gradiva v vzorcu I 48.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0	15,43
1–0,5		grobi pesek	0,24	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,29	
0,25–0,125		droben pesek	0,5	
0,125–0,062		zelo droben pesek	14,4	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	27,67	74,56
0,031–0,016		grobi melj	21,52	
0,016–0,008		droben melj	14,32	
0,008–0,004		zelo droben melj	11,05	
<0,004	glina	glina	10,01	10,01

Preglednica 11: Deleži frakcij drobnazrnatega gradiva v vzorcu I 50a.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	3,22
1–0,5		grobi pesek	0,26	
0,5–0,25		srednje velik pesek	1,03	
0,25–0,125		droben pesek	0,09	
0,125–0,062		zelo droben pesek	1,84	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	10,83	75,52
0,031–0,016		grobi melj	21,72	
0,016–0,008		droben melj	23,12	
0,008–0,004		zelo droben melj	19,85	
<0,004	glina	glina	21,26	21,26

Testno sem zvrtala še drugo vrtino, in sicer na severozahodnem robu terase pri Zagonu. Tako sem preverila globino sedimenta in podobnost gradiva s prejšnjo vrtino. Z ročnim vrtalnikom sem na globini 3 m dosegla skalno flišno podlago. S kvalitativno mehansko analizo na terenu sem ugotovila podobnost sedimenta s prvo vrtino v osrednjem delu terase pri Zagonu.

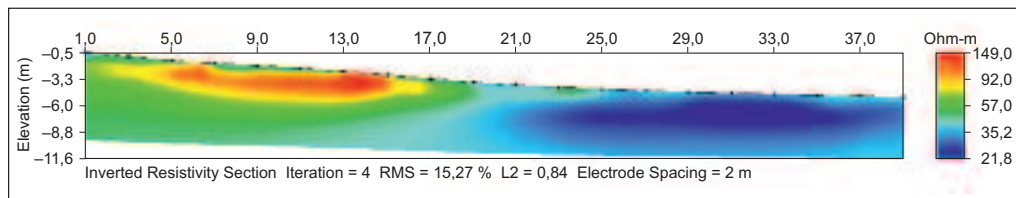
Severno od terase pri Zagonu se površje postopno dviga (slika 9). Prehod s terase na pobočje se kaže v povečanem naklonu ter v prehodu iz drobnozrnatega gradiva v podlagi terase na skalno flišno podlago na pobočju. Po pripovedovanju domačinov so uravnano območje terase v preteklosti uporabljali za njive, nagnjena pobočja pa za travnike ali pašnike, ker oranje ni bilo mogoče. Flišni grebeni v Pivški kotlini so v literaturi že bili omenjeni (Brodar 1952; Gospodarič 1978). Domnevali so, da so ostanek nekdanjega razgibanega rečnega reliefa v kotlini, ki so jo kasneje do določenih nadmorskih višin zapolnile naplavine. Vendar skalni grebeni ali ostanki naplavin niso nikoli bili podrobneje obravnavani. Da bi njihovo domnevo preverila, sem z meritvami električne upornosti tal preučila značilnosti gradiva v podlagi grebena (nagnjeno pobočje) in terase (uravnava) pri Zagonu (slika 22).

Vzdolžni prerez (sliki 23 in 24) sem izmerila od južnega roba flišnega grebena do zahodnega roba severnega dela terase pri Zagonu v dolžini 40 m. Na razdalji od 15 do 20 m prehaja relief s pobočja s povprečnim naklonom $9,5^\circ$ v uravnavo terase z naklonom 2° . Razmik elektrod je bil 2 m, kar pomeni, da je bila električna upornost gradiva v podlagi merjena na 1 m natančno. Meritve sem opravila z metodama Schlumberger (slika 23) in Wenner (slika 24). Rezultati obeh metod so pokazali, da ima gradivo na nagnjenem površju v celotnem navpičnem prerezu (od površja do globine 9 m) električno upornost nad 150 Ohm-m. Drobnozrnato gradivo v uravnanim delu merjenega prereza ima v celem navpičnem prerezu električno upornost od 20 do 30 Ohm-m. Sprememba električne upornosti gradiva na vzdolžnem prerezu sovпада s pregibom med pobočjem in uravnavo. Razlika v električni upornosti kaže na prehod iz skalne flišne podlage na pobočju v naplavine na uravnavi.

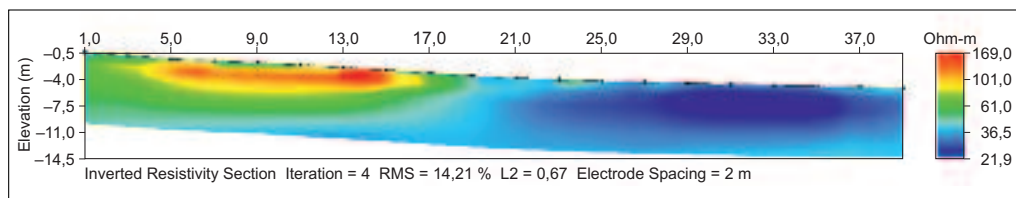


MATIJA ZORV

Slika 22: Območje merjenja električne upornosti gradiva na prehodu iz terase pri Zagonu v skalno flišno pobočje.



Slika 23: Električna upornost gradiva v podlagi ob robu terase pri Zagonu z uporabo metode Schlumberger.



Slika 24: Električna upornost gradiva v podlagi ob robu terase pri Zagonu z uporabo metode Wenner.

5.1.1.7 Veliki Otok

Terasa pri Velikem Otoku je jugozahodno od naselja Veliko Otok in se razteza od severovzhoda proti jugozahodu (slika 9). Severozahodno od terase odteka Črni potok v ponorno jamo Lekinka, na zahodni strani se je vanjo poglobila Nanoščica, ki se južno od terase pri Velikem Otoku zliva s Pivko

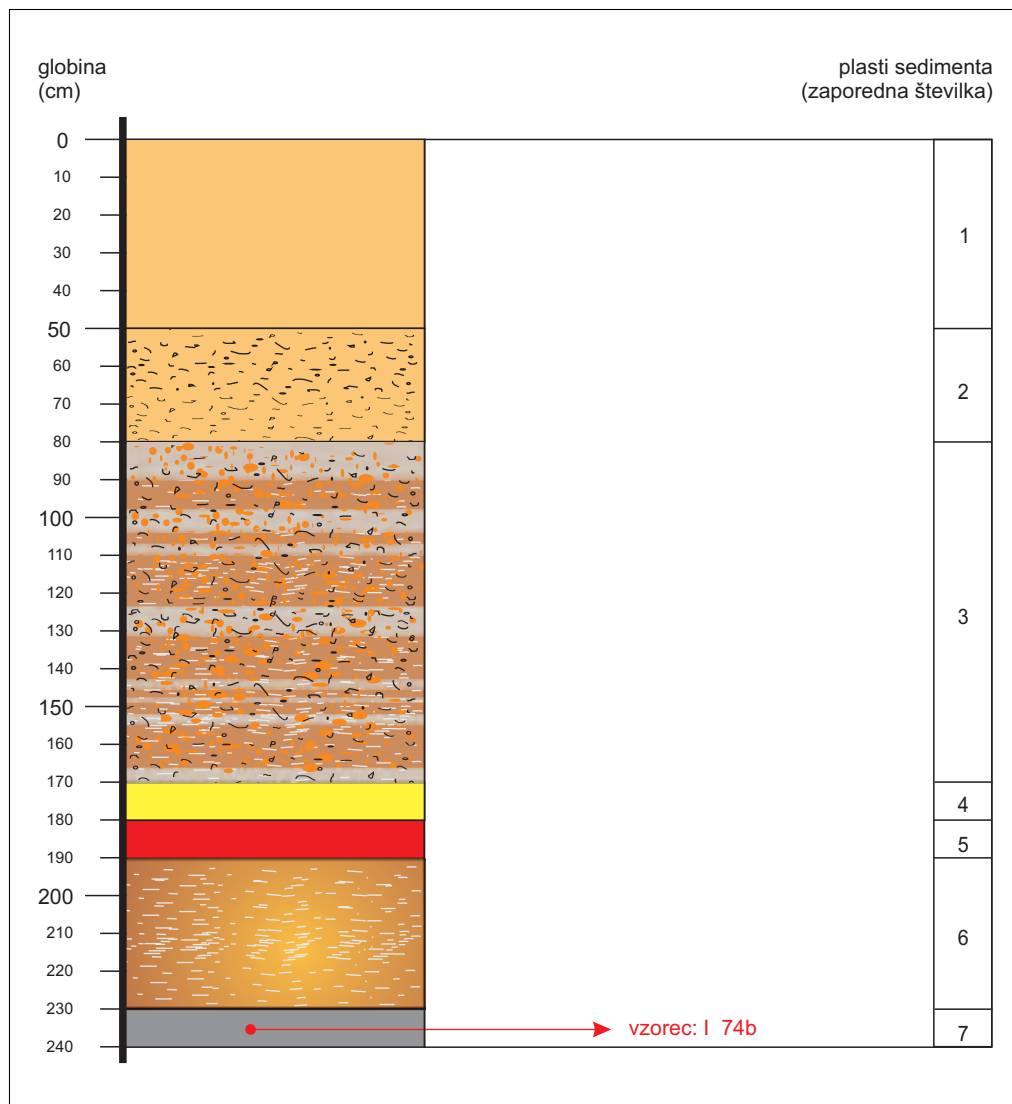


Slika 25: Pogled s terase pri Velikem Otoku proti Postojnskemu krasu in naselju Veliki Otok.

(slika 25). Površina 780 m dolge in okoli 360 m široke terase pri Velikem Otoku je 0,29 km². Izmerjena nadmorska višina uravnave je 533 m.

V osrednjem delu terase sem z ročnim vrtalnikom zvrtila 2,3 m globoko vrtino (oznaka VO na sliki 9), s katero sem dosegla skalno flišno podlago. V prerezu vrtine sem ločila sedem plasti sedimentov (slika 26):

- (1) globina 0 do 50 cm: rjava antropogeno premešana prst;
- (2) globina 50 do 80 cm: rjava, peščena ilovica z drobcji črnega organskega gradiva;
- (3) globina 80 do 170 cm: menjavanje rjave in sive ilovice s sivimi progami, oranžnimi pegami in drobcji črnega organskega gradiva;



Slika 26: Prerez gradiva v ročni vrtini VO v osrednjem delu terase pri Velikem Otoku.

- (4) globina 170 do 180 cm: izrazito rumena ilovica;
- (5) globina 180 do 190 cm: živo rdeča ilovica;
- (6) globina 190 do 230 cm: temno rjava do oker ilovica, mastna na otip, s sivimi progami;
- (7) globina 230 do 240 cm: siva meljasta ilovica, mastna na otip.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz ene plasti (slika 26): (7) vzorec I 74b iz globine 235 cm.

Z rentgensko difrakcijo je bil analiziran vzorec I 74b. Sediment vsebuje: 58 % kremena, 16 % Na-Ca-plagioklazov, 11 % muskovita/illita, 9 % K-Na-glinencev in 6 % klorita.

Z rentgensko fluorescenco je bil analiziran vzorec I 74b. Sediment vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O in MgO .

Granulometrično je bil analiziran vzorec I 74b, ki vsebuje (preglednica 12): 76,5 % melja, 14,11 % gline in 9,39 % peska. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.

Preglednica 12: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 74b.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	9,39
1–0,5		grobi pesek	0,10	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,39	
0,25–0,125		droben pesek	0,23	
0,125–0,062		zelo droben pesek	8,67	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	24,33	76,50
0,031–0,016		grobi melj	23,34	
0,016–0,008		droben melj	15,52	
0,008–0,004		zelo droben melj	13,31	
<0,004	glina	glina	14,11	14,11

5.1.1.8 Risnik – jug

Ob južnem robu slepe doline Risnik je v polkrožnem zatrepu nad dnom slepe doline ohranjena uravnava v drobnozrnatih sedimentih (slika 27), ki sem jo obravnavala v okviru ostankov višje uravnave v Pivški kotlini in jo imenovala Risnik – jug (slika 9). Površina 60 m dolge in 25 m široke uravnave je 0,01 km². Izmerjena nadmorska višina terase je 532 m.

V osrednjem delu uravnave sem z ročnim vrtnikom zvirtala 1,5 m globoko vrtino (oznaka RIS J na sliki 9) do skalne apnenčaste podlage. V prerezu vrtine so tri plasti sedimentov (slika 28):

- (1) globina 0 do 10 cm: humus;
- (2) globina 10 do 120 cm: temno rjava ilovica s številnimi drobci črnega organskega gradiva;
- (3) globina 120 do 150 cm: svetlo rjava do oranžkasta meljasta ilovica.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz spodnje plasti (slika 28): (3) vzorec I 45 iz globine 150 cm.

Z rentgensko difrakcijo je bil analiziran vzorec I 45. Sediment vsebuje: 43 % kremena, 21 % muskovita/illita, 18 % klorita, 13 % Na-Ca-plagioklazov in 5 % K-Na-glinencev.

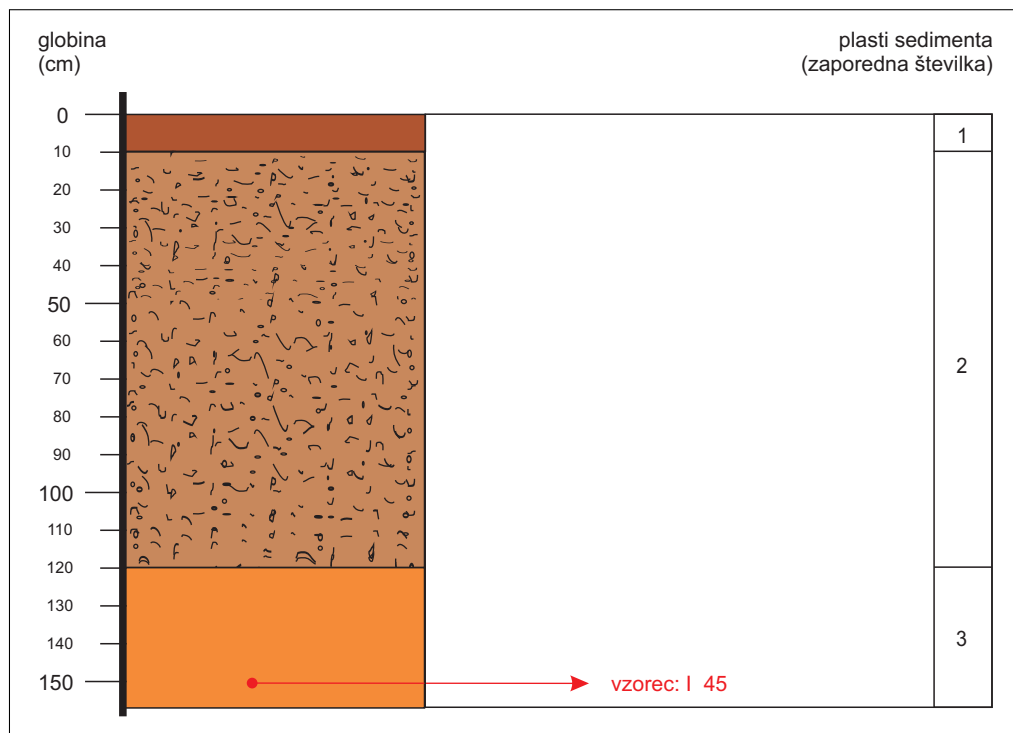
Z rentgensko fluorescenco je bil analiziran vzorec I 45. Sediment vsebuje največ SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O in MgO .

Granulometrično je bil analiziran vzorec I 45. Sediment vsebuje (preglednica 13): 78,71 % melja, 17,7 % gline in 3,59 % peska. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.



ANDREJA FERK

Slika 27: Terasa južno od slepe doline Risnik na nadmorski višini 532 m.



Slika 28: Prerez gradiva v ročni vrtini v osrednjem delu terase južno od slepe doline Risnik.

Preglednica 13: Deleži frakcij drobnoprnatega gradiva v vzorcu I 45.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	3,59
1–0,5		grobi pesek	0,21	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,35	
0,25–0,125		droben pesek	0,05	
0,125–0,062		zelo droben pesek	2,98	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	12,50	78,71
0,031–0,016		grobi melj	22,52	
0,016–0,008		droben melj	24,17	
0,008–0,004		zelo droben melj	19,52	
< 0,004	glina	glina	17,70	17,70

5.1.2 SLEDI PALEOPOPLAV NA POVRŠJU IN V UDORNICAH POSTOJNSKEGA KRASA

Površje Postojnskega krasa razčlenjujejo škraplje in vrtače ter številni jamski vhodi in udornice. Sledi paleopoplav na Postojnskem krasu sem našla predvsem v dneh udornic, ki so pogosto uravnana z naplavinami drobnoprnatih sedimentov. Dnov teh udornic najvišje poplave v recentnih hidroloških razmerah ne dosežejo več (Stepišnik 2004), zato predpostavljam, da naplavine kažejo na hidrološke razmere v preteklosti.

Na terenu sem podrobno pregledala udornice Stara Apnenica, Kafrna dolina, Velika in Mala Jeršanova dolina, Koliševka 1 in 2, Dolga dolina, Drča dolina, Črna jama, Vodni dol, Kozja jama in Pivka jama (preglednica 14). Da bi lahko primerjala petrološke lastnosti naplavin iz teras v Pivški kotlini in naplavin iz podzemlja z naplavinami na površju Postojnskega krasa, sem izbrala udornice, ki so v neposredni bližini preučevanih jamskih rogov Postojnskega jamskega sistema. Podrobneje sem morfografsko in morfometrično analizirala udornice Stara Apnenica, Velika Jeršanova dolina in Vodni dol. Dodatno sem analizirala še drobnoprnate sedimente nad Postojnsko jamo, ki so na površju v vrtačah in zaplatah med škrapljami (slika 9).

Preglednica 14: Udornice na Postojnskem krasu.

ime	nadmorska višina dna (m)	naplavine v dnu
Stara Apnenica	545	da
Kafrna dolina	570	ne
Velika Jeršanova dolina	540	da
Mala Jeršanova dolina	540	da
Koliševka 1	553	ne
Koliševka 2	535	ne
Dolga dolina	523	da
Drča dolina	530	da
Črna jama	540	ne
Vodni dol	497	da
Kozja jama	502	ne
Pivka jama	485	ne

5.1.2.1 Stara Apnenica

Udornica Stara Apnenica je okoli 700 m severno od naselja Veliki Otok (slika 9). Podor pod njenim dnom prekinja podzemni rov med Otoško jamo in Zgornjim Tartarjem v Postojnski jami. Dno udornice do nadmorske višine 553 m zapolnjujejo drobnoplate naplavine. Po odložitvi naplavin je prišlo do intenzivnega spiranja gradiva v podzemlje in posedanja, zato je dno na severovzhodni strani poglobljeno za okoli 5 do 10 m in je na nadmorski višini okoli 545 m (slika 29). Poglobljanje dna udornice je najpogostejša posledica aktivnega odnašanja gradiva izpod udornice v podzemlju z aktivnim vodnim tokom (Stepišnik 2010). Pri Stari Apnenici bi to pomenilo, da se je takrat obnovil vodni tok v rovih Otoške jame in Zgornjega Tartarja, ki so na nadmorski višini od 520 do 540 m. V recentnih hidroloških razmerah na tem območju seže kraška voda le do višine 510 m. Ker v dnu udornice ni aktivnih grezov, predvidevam, da spiranje gradiva v podzemlje trenutno ni zelo intenzivno.

V osrednjem delu udornice sem z ročnim vrtalnikom zvrtila 0,7 m globoko vrtino (oznaka SAP na sliki 9). Kljub več poskusom globlje vrtanje ni bilo mogoče zaradi številnih skal s pobočja, ki so med drobnoplatim gradivom. V navpičnem prerezu vrtine sem po barvi in na otip ločila dve plasti sedimenta (slika 30):

- (1) globina 0 do 10 cm: humus;
- (2) globina 10 do 70 cm: temno rjava do rdečkasta meljasta ilovica, ponekod koščki grušča s pobočja.

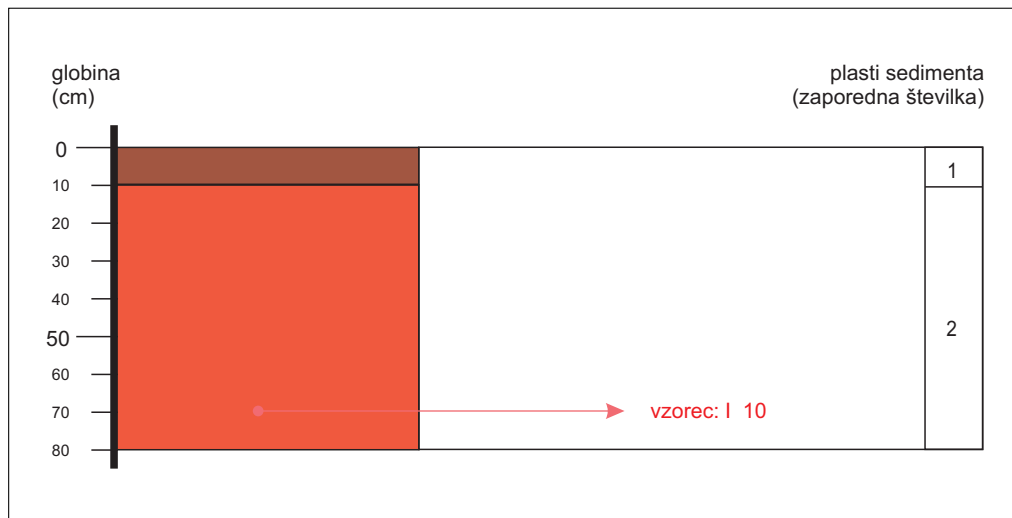
Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz dna prereza (slika 30): (2) vzorec I 10 iz globine 70 cm.

Za primerjavo z gradivom v dnu udornice Stare Apnenice, sem vzorčila sedimente v dnu vrtače nad udornico. Vrtača je 160 m jugovzhodno od Stare Apnenice in je okoli 10 m široka in 5 m globoka. Dno zapolnjuje drobnoplate gradivo, v katerega sem z ročnim vrtalnikom zvrtila 1,5 m globoko vrtino

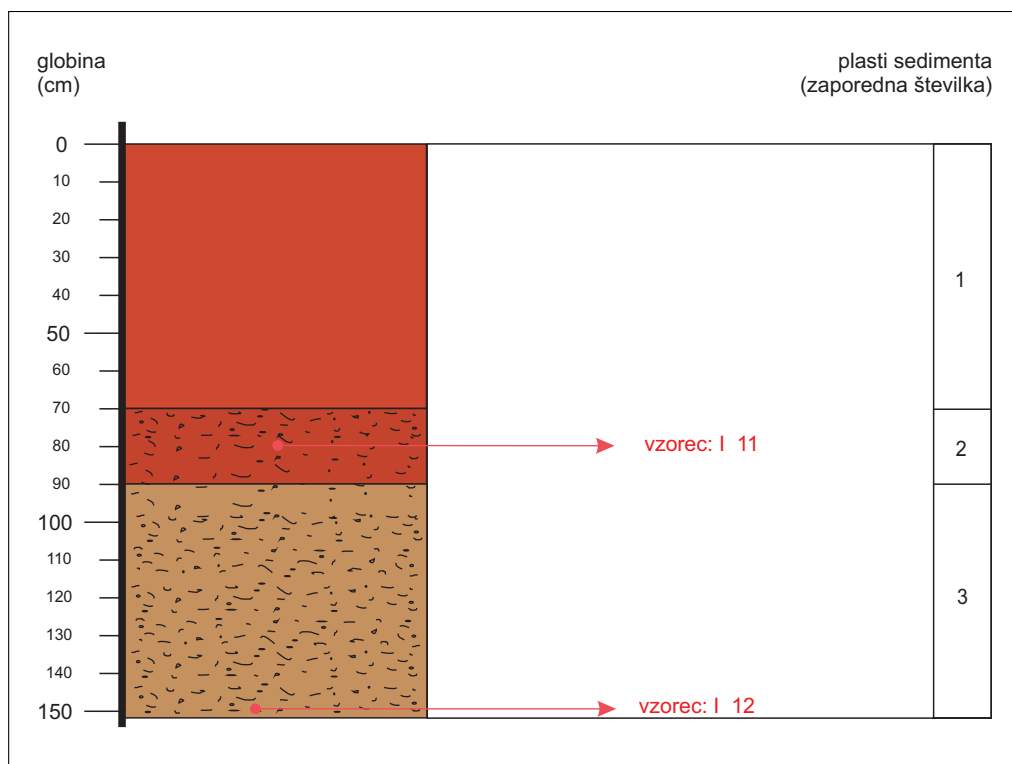


MATEJA FERK

Slika 29: Dno udornice Stara Apnenica je zapolnjeno z naplavinami.



Slika 30: Prerez gradiva v ročni vrtini v dnu udornice Stara Apnenica.



Slika 31: Prerez gradiva v ročni vrtini v dnu vrtače nad udornico Stara Apnenica.

(oznaka SAP V na sliki 9). Skalne podlage nisem dosegla, globlje vrtanje ni bilo mogoče zaradi prevelike zbitosti gradiva. V navpičnem prerezu vrtnice sem po barvi in na otip ločila tri plasti sedimenta (slika 31):

- (1) globina 0 do 70 cm: rjavordečkasta ilovica;
- (2) globina 70 do 90 cm: rjavordečkasta ilovica s črnim organskim gradivom;
- (3) globina 90 do 150 cm: rjava ilovica z drobcami črnega organskega gradiva.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz dveh plasti (slika 31): (2) vzorec I 11 iz globine 80 cm, (3) vzorec I 12 iz globine 150 cm.

Z rentgensko difrakcijo so bili analizirani vzorci I 10, I 11 in I 12. Sediment v vzorcu I 10 vsebuje: 46 % kremena, 19 % muskovita/illita, 11 % Na-Ca-plagioklazov, 10 % klorita, 9 % K-Na-glinencev in 5 % kaolinita. Sediment v vzorcu I 11 vsebuje: 45 % kremena, 26 % muskovita/illita, 13 % Na-Ca-plagioklazov, 11 % klorita in 5 % K-Na-glinencev. Sediment v vzorcu I 12 vsebuje: 56 % kremena, 18 % klorita, 14 % muskovita/illita, 8 % Na-Ca-plagioklazov in 4 % K-Na-glinencev.

Z rentgensko fluorescenco so bili analizirani vzorci I 10, I 11 in I 12. Sediment v vzorcu I 10 vsebuje predvsem SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , TiO_2 in CaO . Sediment v vzorcih I 11 in I 12 vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , MgO in TiO_2 .

Granulometrično je bil analiziran vzorec I 10. Sediment vsebuje (preglednica 15): 79,63 % melja, 17,94 % glin in 2,43 % peska. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.

Preglednica 15: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 10.

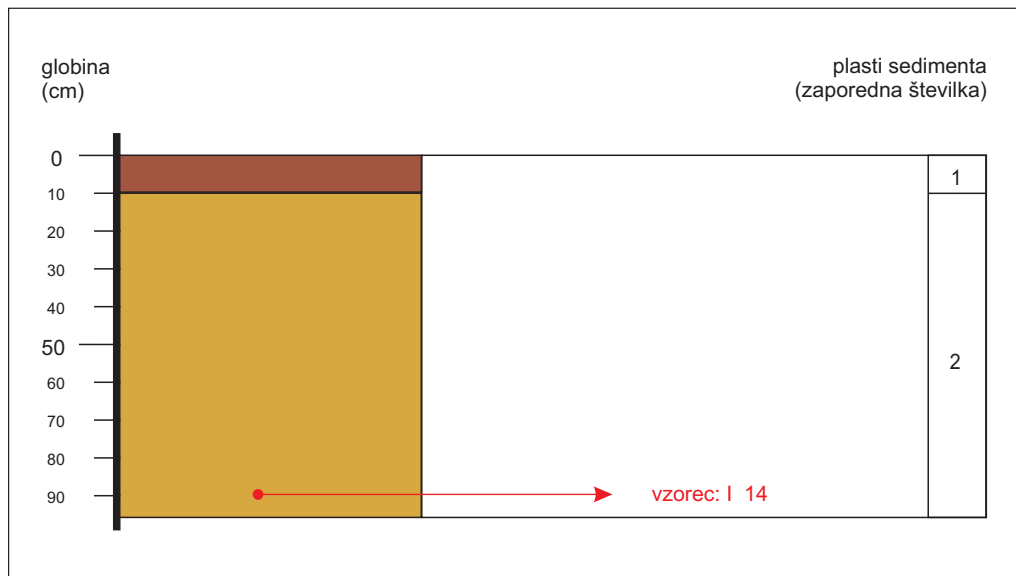
velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	2,43
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	2,43	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	11,33	79,63
0,031–0,016		grobi melj	21,60	
0,016–0,008		droben melj	25,08	
0,008–0,004		zelo droben melj	21,62	
< 0,004	glina	glina	17,94	17,94

5.1.2.2 Velika Jeršanova dolina

Udornica Velika Jeršanova dolina je vzhodno od Poljanskega vrha in južno od gozdne ceste, ki povezuje Postojno in Pivko jamo (slika 9). Od ponornega roba Pivške kotline je oddaljena 1,5 km. Podor pod udornico v podzemlju zapira oziroma končuje Pisani rov Postojnske jame (slika 7). Dno udornice do nadmorske višine 540 m zapolnjujejo drobnnozrnati sedimenti. Višina sedimentov se ujema z višino poplavne ilovice med plastmi stalaktitov, ki sega v Pisanem rovu do nadmorske višine 540 m. Odlagala naj bi se pred 270.000 do 76.000 leti ter v več mlajših obdobjih (Gospodarič 1976; 1981; Zupan 1991).

V dnu udornice je več ostankov apnenic. Da bi zmanjšala verjetnost zajema antropogeno premešanega gradiva, sem za vrtnice izbrala južni rob uravnave v dnu, kjer so bile sledi človekovih posegov najmanj opazne. Z ročnim vrtalnikom sem zvrtila 0,9 m globoko vrtino (oznaka VJER na sliki 9). Globlje vrtanje ni bilo mogoče zaradi številnih skal. V navpičnem prerezu vrtnice sem po barvi in na otip ločila dve plasti sedimenta (slika 32):

- (1) globina 0 do 10 cm: humus;
- (2) globina 10 do 90 cm: svetlo rjava meljasta ilovica, mastna na otip (slika 33).



Slika 32: Prevez gradiva v ročni vrtini v dnu udornice Velika Jeršanova dolina.

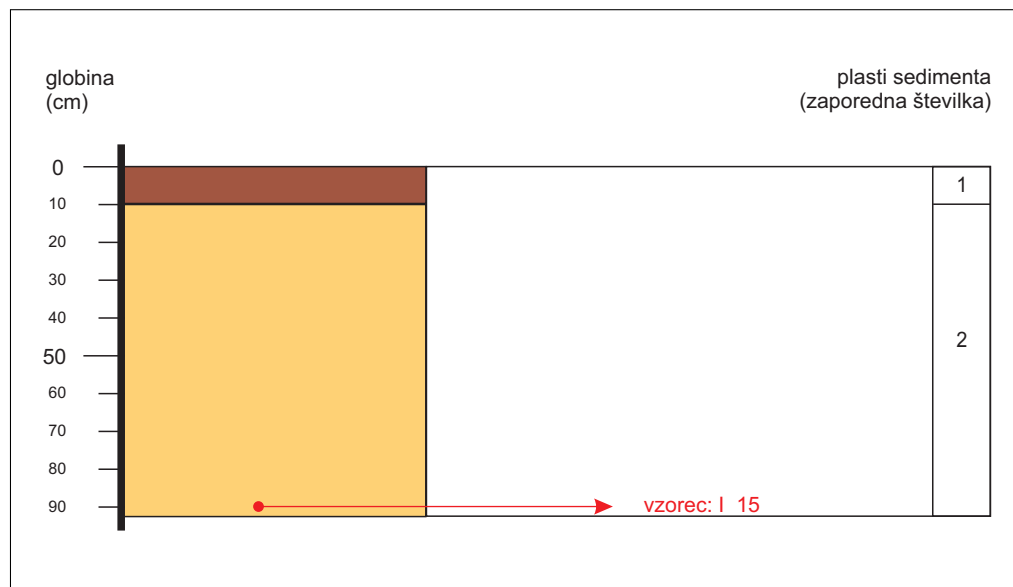


Slika 33: Svetlo rjava meljasta ilovica iz vrtine v Veliki Jeršanovi dolini.



MATEJA FERK

Slika 34: Plitva vrtača nad udornico Velika Jeršanova dolina.



Slika 35: Prerez gradiva v ročni vtini v dnu vrtače nad udornico Velika Jeršanova dolina.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz dna vrtine (slika 32): (2) vzorec I 14 iz globine 90 cm.

Za primerjavo sedimentov v dnu udornice z drugim drobozmatim gradivom na površju sem vzorčila sedimente v vrtači okoli 80 m južno od udornice (slika 34). Vrtača je 2 m globoka in od 10 do 15 m široka. Dno zapolnjuje drobozmatno gradivo. Z ročnim vrtalnikom sem zvrtila 0,9 m globoko vrtino (oznaka VJER V na sliki 9). Skalne matične podlage nisem dosegla, a zaradi prevelike zbitosti gradiva ni bilo možno globlje vrtanje. V navpičnem prerezu vrtine sem po barvi in na otip določila eno homogeno plast sedimenta (slika 35): (1) globina 0 do 90 cm: svetlo rjava do oker zelo zbita ilovica.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz dna vrtine (slika 35): (1) vzorec I 15 iz globine 90 cm.

Z rentgensko difrakcijo sta bila analizirana vzorca I 14 in I 15. Sediment v vzorcu I 14 vsebuje: 49 % kremen, 20 % muskovita/illita, 13 % klorita, 10 % Na-Ca-plagioklazov in 8 % K-Na-glinencev. Sediment v vzorcu I 15 vsebuje: 52 % kremen, 19 % muskovita/illita, 16 % klorita, 8 % Na-Ca-plagioklazov in 5 % K-Na-glinencev.

Z rentgensko fluorescenco sta bila analizirana vzorca I 14 in I 15. Sediment v vzorcih I 14 in I 15 vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , MgO in TiO_2 .

Granulometrično je bil analiziran vzorec I 14. Sediment vsebuje (preglednica 16): 78,04 % melja, 14,4 % glin in 7,56 % peska. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.

Preglednica 16: Deleži frakcij droboznatega gradiva v vzorcu I 14.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	7,56
1–0,5		grobi pesek	0,28	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,86	
0,25–0,125		droben pesek	1,08	
0,125–0,062		zelo droben pesek	5,34	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	15,52	78,04
0,031–0,016		grobi melj	23,51	
0,016–0,008		droben melj	22,30	
0,008–0,004		zelo droben melj	16,71	
<0,004	glina	glina	14,40	14,40

5.1.2.3 Vodni dol

Udornica Vodni dol je v osrednjem delu Postojnskega krasa (slika 9). Od ponornega roba Pivške kotline je oddaljena okoli 2 km. Udornica se razteza v smeri od jugozahoda proti severovzhodu. Dno (slika 36) zapolnjujejo naplavine na nadmorski višini 497 m z več aktivnimi grezi. Ti kažejo na intenzivno spiranje gradiva izpod udornice v podzemlju. Gladina podzemne vode se na območju Vodnega dola dvigne vsaj do nadmorske višine 492 m, kar lahko spremljamo v bližnjih Črni in Pivka jami (slika 7).

V osrednjem delu dna udornice sem z ročnim vrtalnikom zvrtila 3,1 m globoko vrtino (oznaka VODO na sliki 9). V navpičnem prerezu vrtine sem po barvi in na otip ločila sedem plasti sedimenta (slika 37):

- (1) globina 0 do 50 cm: temno rjava ilovica z drobcami črnega organskega gradiva;
- (2) globina 50 do 100 cm: rjava ilovica;
- (3) globina 100 do 110 cm: rjava ilovica z drobcami črnega organskega gradiva;
- (4) globina 110 do 250 cm: svetlo rjava meljasta ilovica, ki ima ponekod črno prevleko in lamine;
- (5) globina 250 do 260 cm: oranžkasta ilovica z drobcami črnega organskega gradiva;
- (6) globina 260 do 290 cm: menjavanje oranžnih, oker in zelenkastih ilovnatih lamin, v plasteh več trših skupkov;
- (7) globina 290 do 310 cm: oranžna meljasto glinena ilovica z izrazitimi sivozelenimi laminami.



MATEJA FERK

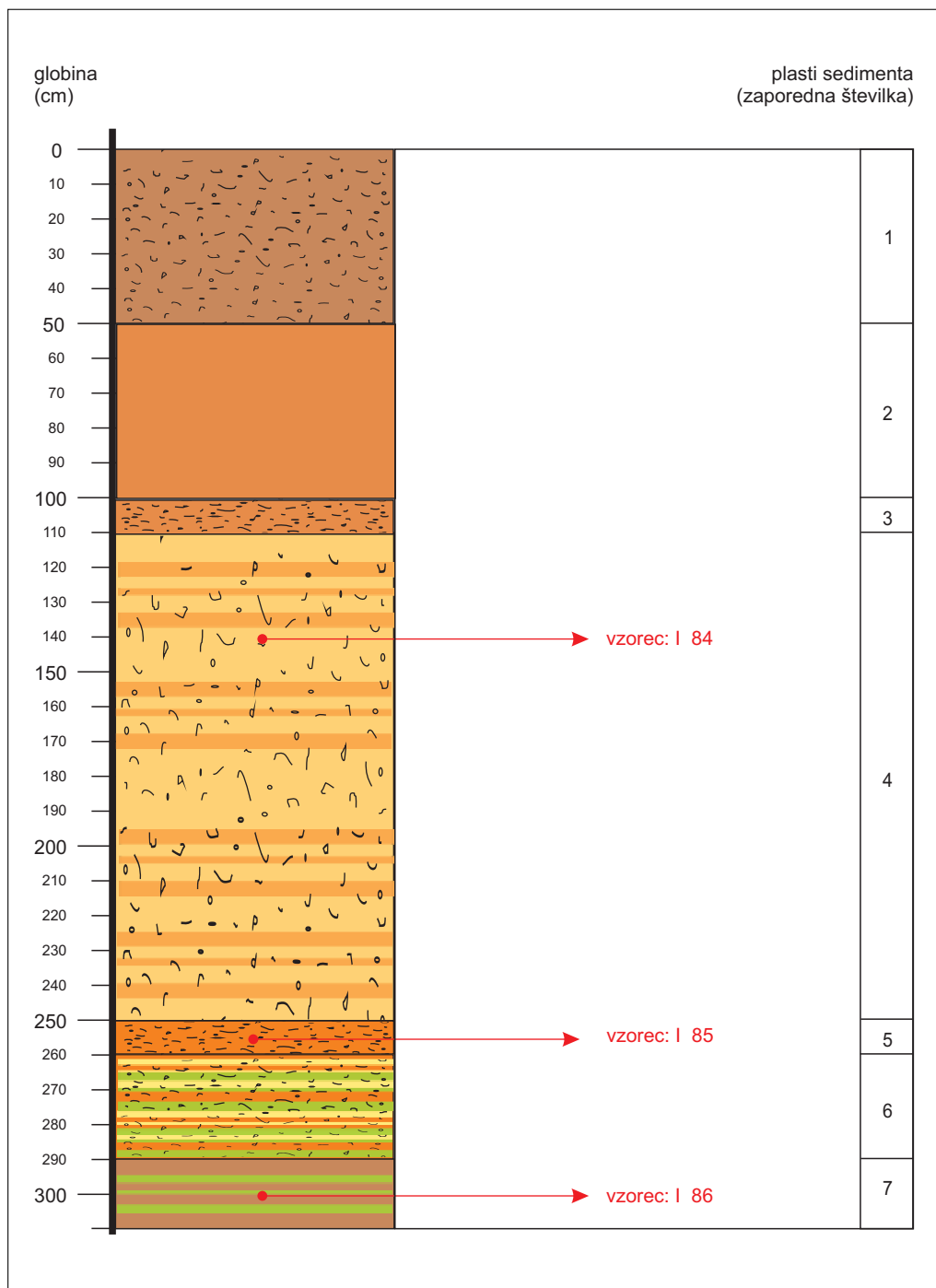
Slika 36: Dno udornice Vodni dol.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz treh plasti: (4) vzorec I 84 iz globine 140 cm, (5) vzorec I 85 iz globine 255 cm, (7) vzorec I 86 iz globine 300 cm.

Z rentgensko difrakcijo so bili analizirani vzorci I 84, I 85 in I 86. Sediment v vzorcu I 84 vsebuje: 51 % kremena, 21 % muskovita/illita, 17 % klorita in 11 % K-Na-glinencev. Sediment v vzorcu I 85 vsebuje: 54 % kremena, 32 % muskovita/illita, 7 % klorita, 5 % Na-Ca-plagioklazov in 2 % goethit/lepidokrokita. Sediment v vzorcu I 86 vsebuje: 62 % kremena, 20 % muskovita/illita, 16 % klorita in 2 % goethit/lepidokrokita.

Preglednica 17: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 86.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	5,48
1–0,5		grobi pesek	0,48	
0,5–0,25		srednje velik pesek	2,37	
0,25–0,125		droben pesek	1,25	
0,125–0,062		zelo droben pesek	1,38	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	3,79	60,09
0,031–0,016		grobi melj	10,74	
0,016–0,008		droben melj	20,34	
0,008–0,004		zelo droben melj	25,22	
< 0,004	glina	glina	34,43	34,43



Slika 37: Prerez gradiva v ročni vrtini v dnu vrtače nad udornico Velika Jeršanova dolina.

Z rentgensko fluorescenco so bili analizirani vzorci I 84, I 85 in I 86. Sediment v vzorcih I 84, I 85 in I 86 vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O in MgO .

Granulometrično je bil analiziran vzorec I 86. Sediment vsebuje (preglednica 17): 60,09 % melja, 34,43 % glin in 5,48 % peska. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto glineno ilovico.

5.1.2.4 Površje nad Postojnsko jamo

Za primerjavo drobnozrnatih sedimentov na površju Postojnskega krasa in sedimentov iz Postojnskega jamskega sistema sem vzorčila sedimente neposredno nad vhodnim delom Postojnske jame.

Za vzorčenje sem izbrala zaplato drobnozrnatega gradiva na uravnanem površju nad strmim ponornim robom Pivške kotline, 150 m severovzhodno od ponora Pivke. V osrednjem delu kotanje sem z ročnim vrtnikom izvrtala 0,25 m globoko vrtino NPJ 1 (slika 9) in dosegla skalno matično podlago. Kljub več poskusom ni bilo mogoče zvrtni globlje vrtine zaradi plitkosti sedimenta.

V navpičnem prerezu vrtine NPJ 1 sem po barvi in na otip ločila dve plasti sedimenta:

- (1) globina 0 do 10 cm: humus;
- (2) globina 10 do 25 cm: temno rjava do rdečkasta ilovica, mastna na otip.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz dna vrtine: (2) vzorec I 9 iz globine 25 cm.

Sediment s površja nad Postojnsko jamo sem vzorčila v cestnem useku NPJ 2 (slika 9), 280 m vzhodno od ponora Pivke (slika 9). V useku so razkrite škraplje in razpoke, ki so zapolnjene z drobnozrnatimi sedimenti. V globini 1 m od površja, sem v škraplji vzorčila rdečkast, drobnozrnat sediment za petrološke analize: (1) vzorec I 13 iz globine 100 cm.

Z rentgensko difrakcijo je bil analiziran vzorec I 13. Sediment vsebuje: 64 % kremena, 14 % muskovita/illita, 7 % K-Na-glinencev, 6 % kaolinita, 5 % K-Na-glinencev ter 2 % klorita in kalcita.

Z rentgensko fluorescenco sta bila analizirana vzorca I 9 in I 13. Sediment v vzorcu I 9 vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , MgO in TiO_2 . Sediment v vzorcu I 13 vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O in MgO .

5.1.3 SLEDI PALEOPOPLAV V JAMAH

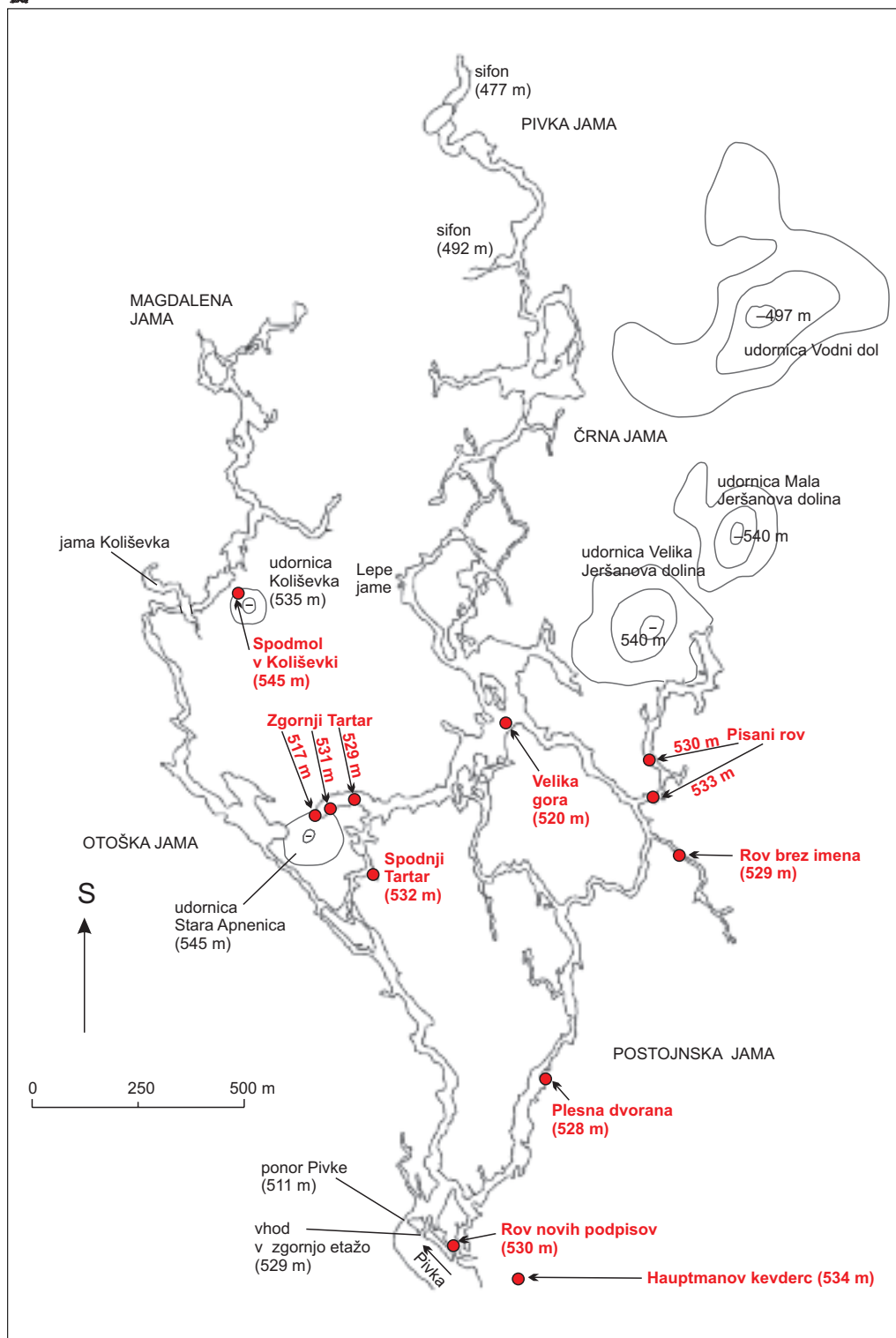
Analiza morfoloških značilnosti jam v Pivški kotlini je pokazala, da prevladujejo vodoravni jamski rovi, v katerih so pogosto ohranjene različne naplavine. V recentnih hidroloških razmerah so aktivni zgolj najnižji rovi, številni višji rovi pa so nad najvišjo višino, ki jo doseže gladina podzemne vode. Drobnozrnate naplavine s horizontalno laminacijo v hidrološko neaktivnih rovih bi lahko kazale na hidrološke razmere v preteklosti in jih v nadaljevanju obravnavam kot sledi paleopoplav.

Za Zgornjo Pivško kotlino so značilni spodmoli in do 50 m dolge hidrološko neaktivne vodoravne jame. V njih sem našla horizontalne skalne zajede, ki nastanejo ob stiku sedimentov s skalnimi jamskimi stenami. Napolavine v jamah niso ohranjene, saj so bile v celoti odstranjene z arheološkimi izkopavanji, ko so v drugi polovici 20. stoletja preučevali paleolitik v Pivški kotlini (Brodar 1950; 1952; 1990; Osole 1963; 1966; 1967). Podatke o naplavinah sem zato črpala iz arheološke literature.

V vzhodnem delu Spodnje Pivške kotline je ob ponornem robu velika gostota jam. Sledi paleopoplav sem našla predvsem v Postojnski jami, kjer so se zaradi obsežnosti jamskih rogov lahko odložile največje količine naplavin. Te so bolje ohranjene kot v ostalih jamah Pivške kotline. Večina podrobneje preučenih drobnozrnatih naplavin je odložena na nadmorski višini od 528 do 534 m. Najvišje so na nadmorski višini 545 m, najnižje na 520 m.

Glavni vhod v Postojnsko jamo in ponor Pivke vodita v vhodno dvorano, Veliki dom. Od tam odteka Pivka po nižji etaži, rovu Podzemeljska Pivka, na nadmorski višini od 511 do 496 m, do prvega sifona

Slika 38: Lega podrobneje preučevanih naplavin v jamah ponornega dela Pivške kotline (prirejeno po Gospodariču (1976)). ►



v Magdalena jami. Glavni rov, Stare jame, ki je izkoriščen za turistične namene, je na nadmorski višini 529 do 520 m pod Veliko goro. Od Starih jam se odcepi več stranskih rogov: Rov novih podpisov, Male jame, Rov brez imena, Pisani rov, Čarobni vrt, Ruski rov, Lepe jame, Spodnji Tartar in Zgornji Tartar.

Podrobno analizirani prerezi naplavin v Postojnski jami so v: Rovu novih podpisov, Plesni dvorani, Rovu brez imena, Pisanem rovu, pod Veliko goro, na štirih mestih v Zgornjem Tartarju ter v Spodnjem Tartarju. Zunaj Postojnske jame sem podrobneje analizirala še naplavine v Hauptmanovem kevdercu in Spodmolu v Koliševki (slika 38).

5.1.3.1 Rov novih podpisov

Rov novih podpisov se od Starih jam cepi kmalu za vhodno dvorano Veliki dom, kjer se Stare jame usmerijo proti severovzhodu, Rov novih podpisov pa proti jugu. Ob urejanju turističnih poti v tridesetih letih 20. stoletja, so odkopali skrajni južni del rova, ki ga je zapolnjeval pobočni grušč, in ga povezali s površjem. V notranjih delih rova so že med obema svetovnima vojnama postavili biospeleološko postajo za preučevanje podzemnih živali. Južni del rova za umetnim vhodom se imenuje Proteusova jama – Vivarij, kjer je danes biospeleološka razstava podzemnega okolja (Postojnska jama 2013).

Rdeči drobnozrnati sedimenti, prekriti s sigo zapolnjujejo ves Rov novih podpisov, ki ima ravno dno na nadmorski višini 530 m. Ob ureditvi poti do Vivarija so pri umetnem vhodu v južni del rova razkrili 4,16 m visok prerez skozi sedimente (slika 40). V navpičnem prerezu sem po barvi in na otip ločila enajst plasti različnih sedimentov (slika 39):

- (1) globina 0 do 5 cm: siga, čista, kristalna;
- (2) globina 5 do 25 cm: rdeča ilovica;
- (3) globina 25 do 30 cm: siga, čista, kristalna;
- (4) globina 30 do 40 cm: rdeča ilovica;
- (5) globina 40 do 45 cm: siga, čista, kristalna;
- (6) globina 45 do 90 cm: rdeča ilovica z zelo slabo ohranjenimi laminami;
- (7) globina 90 do 190 cm: groborobati grušč z rjavo ilovico;
- (8) globina 190 do 205 cm: siga, čista, mokasta;
- (9) globina 205 do 206 cm: črna plast z drobci oglja;
- (10) globina 206 do 286 cm: drobni grušč z oranžnorjavo ilovico. Grušč je ostrorobat in močno cementiran s kalcitnim vezivom. Usmerjen je proti notranjosti rova;
- (11) globina 286 do 416 cm: grob ostrorobat grušč s sivo do zelenorumenno, peščeno ilovico. Grušč je slabo cementiran.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz zgornje plasti (slika 39): (6) vzorec I 28 iz globine 60 cm.

Z rentgensko difrakcijo je bil analiziran vzorec I 28. Sediment vsebuje: 47 % kremena, 24 % muskovita/illita, 18 % klorita, 7 % K-Na-glinencev in 4 % kaolinita.

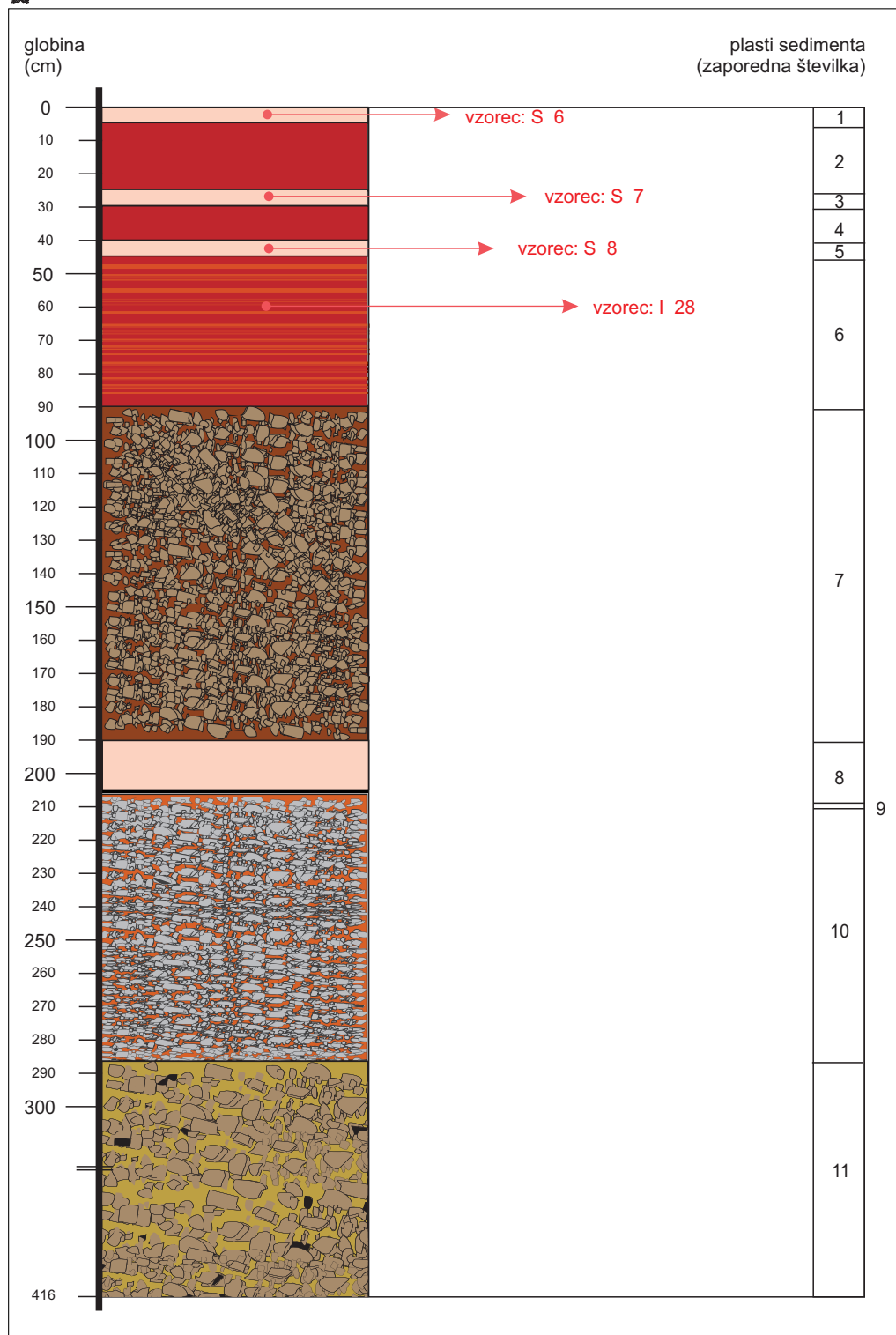
Z rentgensko fluorescenco je bil analiziran vzorec I 28. Sediment vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O , TiO_2 in MgO .

Granulometrično je bil analiziran vzorec I 28. Sediment vsebuje (preglednica 18): 68,61 % melja, 21,9 % gline in 9,49 % peska. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.

Za datacijske analize sem vzorčila sigo iz treh plasti (slika 39): (1) vzorec S 6 iz globine 5 cm, (3) vzorec S 7 iz globine 30 cm, (5) vzorec S 8 iz globine 45 cm.

Z radiometrično metodo ^{14}C so bili datirani vzorci sige S 6, S 7 in S 8. Siga v vzorcu S 6 je stara okoli 28.000, siga v vzorcu S 7 okoli 30.000 in siga v vzorcu S 8 okoli 32.000 let (preglednica 19).

Slika 39: Prerez gradiva pri umetnem vhodu v Rov novih podpisov. ►





MATIJA ZORN

Slika 40: Prerez skozi sedimente v Rovu novih podpisov.

Preglednica 18: Deleži frakcij drobnozrnatega gradiva v vzorcu I 28.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,59	9,49
1–0,5		grobi pesek	2,21	
0,5–0,25		srednje velik pesek	2,18	
0,25–0,125		droben pesek	1,27	
0,125–0,062		zelo droben pesek	3,24	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	10,15	68,61
0,031–0,016		grobi melj	18,43	
0,016–0,008		droben melj	21,07	
0,008–0,004		zelo droben melj	18,96	
<0,004	glina	glina	21,90	21,90

Preglednica 19: Starost sige iz Rova novih podpisov.

lokacija vzorčenja			oznaka vzorca	nadmorska višina (m)	datacijska metoda	kalibrirana starost (let pred sedanjostjo)
jama	rov	lokacija prereza				
Postojnska jama	Rov novih podpisov	pri umetnem vhodu	S 6	529,95	¹⁴ C	28.720 ± 140
			S 7	529,7	¹⁴ C	30.330 ± 160
			S 8	529,55	¹⁴ C	32.360 ± 180

5.1.3.2 Plesna dvorana

Plesna dvorana je okoli 500 m od vhoda v Postojnsko jamo, kjer se rov Stare jame nekoliko razširi (slika 38). Na vzhodni strani se iz dvorane cepi 20 m dolg stranski rov, ki je povprečno 3 m širok in od 1 do 5 m visok. Ravno dno rova je na nadmorski višini 528 m, kakor tudi dno preostalega dela Plesne dvorane. Dno prekriva tanka plast sige in nekaj stalagmitov. Pod sigo rov zapolnjujejo drobozrnati sedimenti (slika 41).

V šestdesetih letih 20. stoletja so arheologi v sedimentih v dnu rova izkopali dve sondi (Brodar 1966). Izkopana prereza sem uporabila za podrobnejšo analizo plasti sedimentov v rovu. V prerezu v osrednjem delu rova sem po barvi in na otip ločila pet plasti sedimentov (slika 42):

- (1) globina 0 do 5 cm: kristalna siga z izrazitimi plastmi, med katerimi je rdečkast drobozrnat sediment;
- (2) globina 5 do 20 cm: rdeča meljasta ilovica z oranžnimi pegami in črnimi organskimi drobci;
- (3) globina 20 do 80 cm: rdeča meljasta ilovica s slabo ohranjenimi laminami;
- (4) globina 80 do 160 cm: rdeča peščena ilovica brez lamin, v kateri so kosi sige v sekundarni legi;
- (5) globina 160 do 180 cm: rdeča meljasta ilovica brez lamin s kosi grušča, ki je ponekod zasigan.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz dveh plasti (slika 42): (2) vzorec I 25 iz globine 60 cm, (3) vzorec I 27 iz globine 130 cm.

V prerezu v končnem delu rova sem po barvi in na otip ločila tri plasti sedimentov (slika 43):

- (1) globina 0 do 5 cm: kristalna siga z izrazitimi vodoravnimi plastmi;
- (2) globina 5 do 65 cm: rdeča, nekoliko laminirana ilovica z redkimi oker pegami in nekaj drobci črnega organskega gradiva;
- (3) globina 65 do 80 cm: rdeča ilovica s kosi sige v sekundarni legi.



JANEZ FERREIRA STRAŽIŠAR

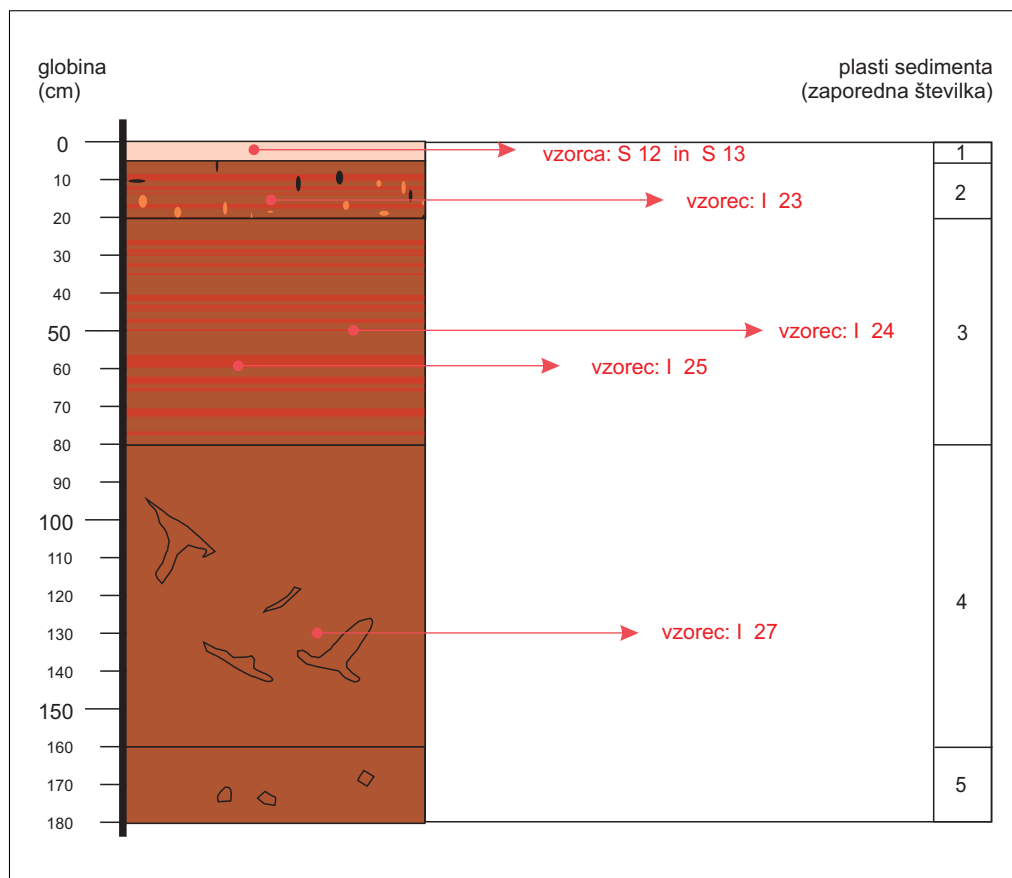
Slika 41: Osrednji del stranskega rova Plesne dvorane v Postojnski jami.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz dveh plasti: (2) vzorec I 23 iz globine 15 cm, s katerim sem zajela zlasti oker pege in drobce oglja, ter vzorec I 24 iz globine 50 cm, s katerim sem zajela rdeči laminirani sediment.

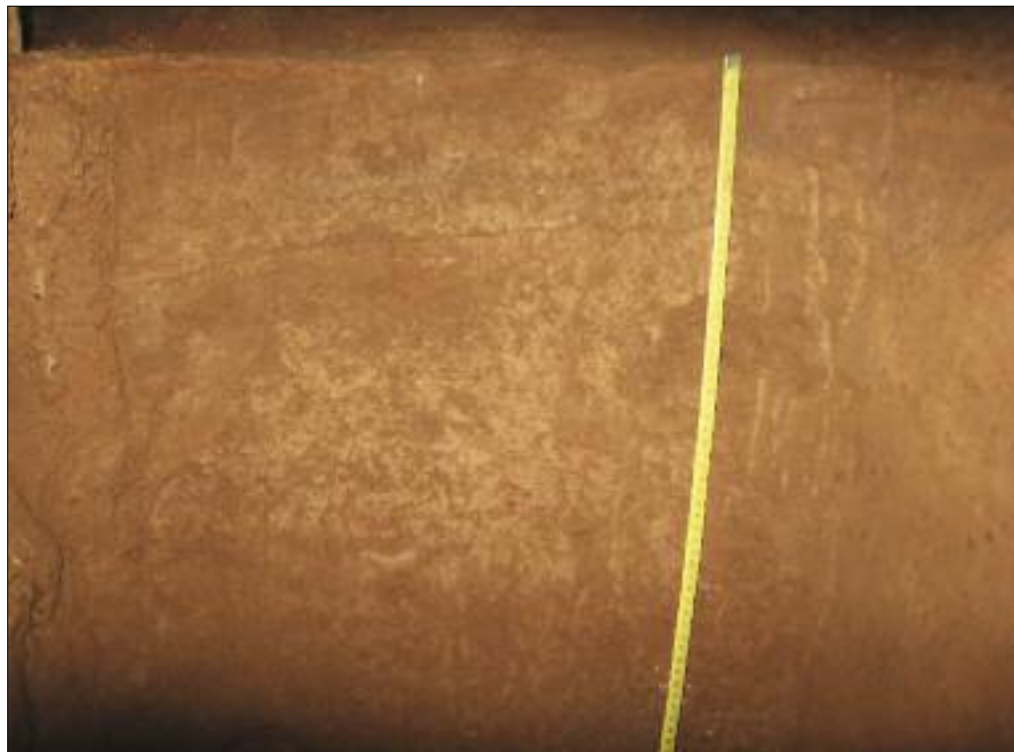
Z rentgensko difrakcijo so bili analizirani vzorci I 23, I 25 in I 27. Sediment v vzorcu I 23 vsebuje: 47 % kremena, 24 % muskovita/illita, 18 % klorita, 7 % K-Na-glinencev in 4 % kaolinita. Sediment v vzorcu I 25 vsebuje: 47 % kremena, 24 % muskovita/illita, 18 % klorita, 7 % K-Na-glinencev in 4 % kaolinita. Sediment v vzorcu I 27 vsebuje: 47 % kremena, 24 % muskovita/illita, 18 % klorita, 7 % K-Na-glinencev in 4 % kaolinita.

Z rentgensko fluorescenco so bili analizirani vzorci I 23, I 24, I 25 in I 27. Sediment v vzorcih I 23, I 24, I 25 vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , CaO , MgO in TiO_2 . Sediment v vzorcu I 27 vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O in TiO_2 .

Granulometrično so bili analizirani vzorci I 23, I 25 in I 27. Sediment v vzorcu I 23 vsebuje (preglednica 20): 56,02 % melja, 42,41 % peska in 1,57 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico. Sediment v vzorcu I 25 vsebuje (preglednica 21): 59,37 % melja, 39,94 % peska in 0,69 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico. Sediment v vzorcu I 27 vsebuje (preglednica 22): 48,33 % melja, 47,58 % peska in 4,09 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v peščeno ilovico.



Slika 42: Prerez gradiva v dnu stranskega rova pri Plesni dvorani.



MATEJA FERK

Slika 43: Prerez gradiva v končnem delu stranskega rova Plesne dvorane v Postojnski jami.

Za datacijske analize sem vzorčila sigo v vrhnji plasti v obeh prerezih (slika 42): (1) v osrednjem delu, vzorec S 13 iz globine 5 cm, (1) v končnem delu, vzorec S 12 iz globine 5 cm.

Z radiometrično metodo ^{14}C sta bila datirana oba vzorca sige, S 13 in S 12. Siga v vzorcu S 13 je stara okoli 7200, siga v vzorcu S 12 pa okoli 7600 let.

Preglednica 20: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 23.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	42,41
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	42,41	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	24,19	56,02
0,031–0,016		grobi melj	17,26	
0,016–0,008		droben melj	10,95	
0,008–0,004		zelo droben melj	3,62	
<0,004	glina	glina	1,57	1,57

Preglednica 21: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 25.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	39,94
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	39,94	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	29,23	59,37
0,031–0,016		grobi melj	17,78	
0,016–0,008		droben melj	9,57	
0,008–0,004		zelo droben melj	2,79	
< 0,004	glina	glina	0,69	0,69

Preglednica 22: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 27.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	47,58
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	47,58	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	19,33	48,33
0,031–0,016		grobi melj	14,71	
0,016–0,008		droben melj	9,62	
0,008–0,004		zelo droben melj	4,67	
< 0,004	glina	glina	4,09	4,09

Preglednica 23: Starost sige iz Plesne dvorane.

lokacija vzorčenja			oznaka vzorca	nadmorska višina (m)	datacijska metoda	kalibrirana starost (let pred sedanjostjo)
jama	rov	lokacija prereza				
Postojnska	Plesna	končni del rova	S 12	528	¹⁴ C	7590 ± 40
jama	dvorana	srednji del rova	S 13	528	¹⁴ C	7210 ± 40

5.1.3.3 Rov brez imena

Okoli 1300 m od vhoda v Postojnsko jamo se od Starih jam odcepi Rov brez imena (slika 38). Poteka v smeri severozahod–jugovzhod. Rov je povprečno več kot 5 m širok in visok. Dno je na nadmorski višini 529 m, a se višina spreminja zaradi posameznih podornih blokov in neenakomernega odlaganja

sige. Ob arheoloških (Brodar 1966) in speleoloških (Gospodarič 1976) raziskavah so na več mestih v dnu rova izkopali 1 m globoke poskusne sonde. Iz prereзов je razvidno, da rov pod sigo povsod zapolnjujejo drobnnozrnati sedimenti.

V začetnem delu rova sem skopala 0,5 m globok prereз v sedimente, v katerem sem ločila štiri plasti sedimentov (slika 44):

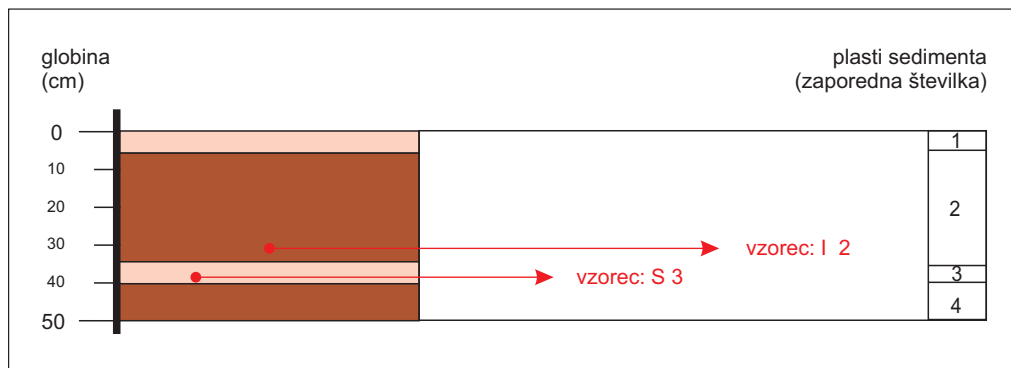
- (1) globina 0 do 5 cm: siga, kristalna, v zgornjem delu je rahlo siva zaradi saj, ki so se odložile, ko so v preteklosti jamo obiskovali z baklami;
- (2) globina 5 do 35 cm: rdečkasta meljasta ilovica z nekaj koščki sige v sekundarni legi;
- (3) globina 35 do 40 cm: siga, kristalna in čista;
- (4) globina 40 do 50 cm: rdečkasta ilovica.

Za petrološke analize sem vzorčila sediment iz druge plasti (slika 44): (2) vzorec I 2 iz globine 30 cm.

Z rentgensko difrakcijo je bil analiziran vzorec I 2. Sediment vsebuje: 36 % kremenca, 18 % kalcita, 17 % muskovita/illita, 13 % klorita, 9 % Na-Ca-plagioklazov in 7 % K-Na-glinencev.

Z rentgensko fluorescenco je bil analiziran vzorec I 2. Sediment vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , K_2O in MgO .

Granulometrično je bil analiziran vzorec I 2. Sediment vsebuje (preglednica 24): 63,88 % melja, 29,86 % peska in 6,26 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.



Slika 44: Prerez gradiva v dnu Rova brez imena.

Preglednica 24: Deleži frakcij drobnozrnatega gradiva v vzorcu I 2.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	29,86
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	29,86	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	24,14	63,88
0,031–0,016		grobi melj	19,31	
0,016–0,008		droben melj	14,04	
0,008–0,004		zelo droben melj	6,39	
<0,004	glina	glina	6,26	6,26

Za datacijske analize sem vzorčila sigo iz tretje plasti (slika 44): (3) vzorec S 3 iz globine 40 cm.

Z radiometrično metodo ^{14}C je bil datiran vzorec sige S 3. Rezultat datacije je pokazal, da je siga v vzorcu S 3 stara več kot 43.500 let (preglednica 25). Zgornja starostna meja ni bila določena, ker je bil presežen domet metode.

Preglednica 25: Starost sige iz Rova brez imena.

lokacija vzorčenja			oznaka vzorca	nadmorska višina (m)	datacijska metoda	kalibrirana starost (let pred sedanjostjo)
jama	rov	lokacija prereza				
Postojnska jama	Rov brez imena	začetni del rova	S 3	528,6	^{14}C	> 43.500

5.1.3.4 Pisani rov

Okoli 1400 m od vhoda v Postojnsko jamo se od Starih jam odcepi Pisani rov (slika 38). Poteka v smeri jugozahod–severovzhod. Povprečno je več kot 10 m širok in visok ter ima uravnano dno. V začetnem delu je na nadmorski višini 533 m, do konca 800 m dolgega rova se spusti na nadmorsko višino 531 m. Dno v prvi polovici rova gradijo drobnnozrnati sedimenti, ki jih na več mestih prekriva siga ali podorni bloki. Da je dno rova prekrito z drobnnozrnati sedimenti in podornimi bloki, je opazno zgolj po obliki sige, ki ga prekriva. Končni deli rova so povsem zasigani.

Za vzorčenje drobnnozrnatega gradiva sem izbrala območje ob vходу v rov na nadmorski višini 533 m. V prvem prerezu sem ločila dve plasti sedimentov (slika 45):

- (1) globina 0 do 1 cm: siga, kristalna, rahlo siva zaradi saj, ki so se odložile v rovu, ko so v preteklosti jame obiskovali z baklami;
- (2) globina 1 do 40 cm: rdeča do rjava meljasta ilovica.

Za petrološke analize sem vzorčila sediment iz druge plasti (slika 45): (2) vzorec I 1 iz globine 40 cm.

Druga lokacija vzorčenja v Pisanem rovu je bila nekaj deset metrov dlje od prvega mesta vzorčenja, na nadmorski višini 530 m. V drugem prerezu sem ločila štiri plasti sedimentov (slika 46):

- (1) globina 0 do 2 cm: siga, kristalna, rahlo siva zaradi saj, ki so se odložile, ko so v preteklosti jame obiskovali z baklami;
- (2) globina 2 do 40 cm: rdeča do rjava ilovica;
- (3) globina 40 do 45 cm: siga, kristalna in čista, odložena pod kotom 45° , zato domnevam, da bi lahko bila v sekundarni legi;
- (4) globina 45 do 50 cm: rdeča do rjava meljasta ilovica.

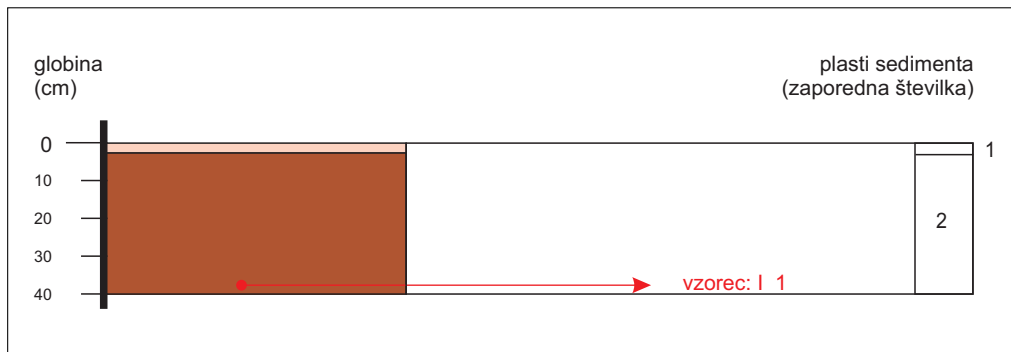
Za petrološke analize sem vzorčila sediment iz najnižje plasti (slika 46): (4) vzorec I 4 iz globine 50 cm.

Z rentgensko difrakcijo sta bila analizirana vzorca I 1 in I 4. Sediment v vzorcu I 1 vsebuje: 33 % kremena, 20 % muskovita/illita in Na-Ca-plagioklazov, 14 % klorita, 8 % kalcita in 5 % K-Na-glinencev. Sediment v vzorcu I 4 vsebuje: 29 % kremena, 27 % kalcita, 16 % kaolinita, 12 % muskovita/illita, 9 % klorita in 7 % dolomita.

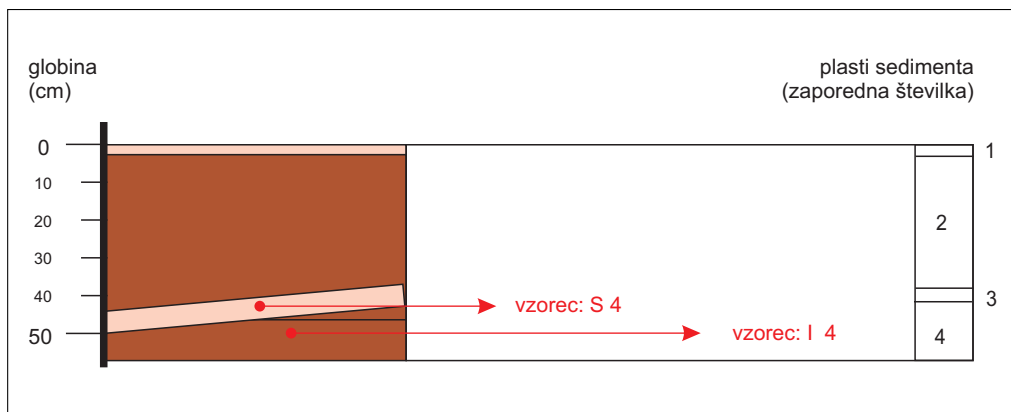
Z rentgensko fluorescenco sta bila analizirana vzorca I 1 in I 4. Sediment v vzorcu I 1 vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O in MgO . Sediment v vzorcu I 4 vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O in MgO .

Granulometrično sta bila analizirana vzorca I 1 in I 4. Sediment v vzorcu I 1 vsebuje (preglednica 26): 72,97 % melja, 13,72 % glin in 13,31 % peska. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo

v meljasto ilovico. Sediment v vzorcu I 4 vsebuje (preglednica 27): 53,46 % melja, 39,39 % peska in 7,15 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.



Slika 45: Prvi prerez gradiva na vhodu v Pisani rov Postojnske jame.



Slika 46: Drugi prerez gradiva v dnu začetnega dela Pisanega rova Postojnske jame.

Preglednica 26: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 1.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	13,31
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	13,31	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	25,24	72,97
0,031–0,016		grobi melj	18,20	
0,016–0,008		droben melj	17,99	
0,008–0,004		zelo droben melj	11,54	
<0,004	glina	glina	13,72	13,72

Preglednica 27: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 4.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	39,39
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	39,39	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	21,85	53,46
0,031–0,016		grobi melj	15,06	
0,016–0,008		droben melj	10,44	
0,008–0,004		zelo droben melj	6,11	
< 0,004	glina	glina	7,15	7,15

Za datacijske analize sem vzorčila sigo iz tretje plasti drugega prereza (slika 46): (3) vzorec S 4 iz globine 45 cm.

Z radiometrično metodo ^{14}C je bil datiran vzorec sige S 4. Rezultat datacije je pokazal, da je siga v vzorcu S 4 stara več kot 43.500 let (preglednica 28). Zgornja starostna meja ni bila določena, ker je bil presežen domet metode.

Preglednica 28: Starost sige iz Pisanega rova.

lokacija vzorčenja			oznaka vzorca	nadmorska višina (m)	datacijska metoda	kalibrirana starost (let pred sedanjostjo)
jama	rov	lokacija prereza				
Postojnska jama	Pisani rov	začetni del rova	S 4	529,55	^{14}C	> 43.500

5.1.3.5 Velika gora

Velika gora ali Kalvarija je največja znana dvorana v Postojnskem jamskem sistemu (slika 38). Je na koncu Starih jam, kjer je končna postaja turistične železnice. Od Velike gore se proti severu nadaljuje rova Lepe jame in Ruski rov, ki sta z umetnim tunelom povezana s Črno jamo. Proti vzhodu se odcepi stranski rov Čarobni vrt, proti jugozahodu se dvorana rahlo zoži v Koncertno dvorano. Od tam se nadaljuje jamski rov Tartar, ki se v zaključnem delu cepi na Zgornji in Spodnji Tartar.

V osrednjem delu Velike gore je več deset metrov visok podorni stožec, ki ga na več mestih prekriva siga. Ob vznožju podornega stožca so na jugozahodni strani, kjer je prehod v Koncertno dvorano, ob izgradnji turistične poti, razkrili 1,5 m globok prerez v njegovo pobočje (slika 47). Ob tem so ob podornih blokih razkrili naplavine in več plasti sig. Prerez sem uporabila za podrobnejšo analizo sedimentov in v zgornjem metru prereza ločila sedem plasti sedimentov (slika 48):

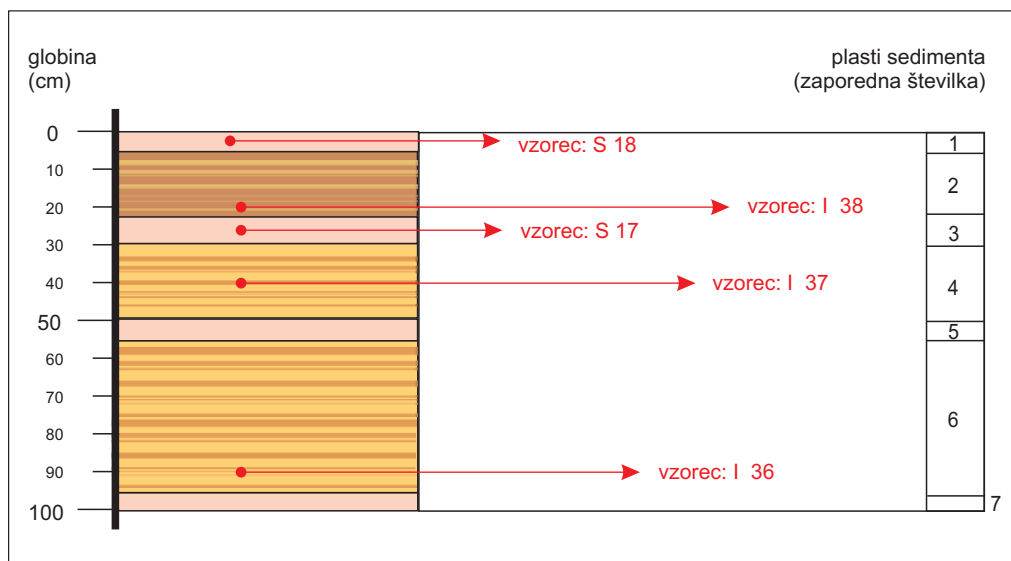
- (1) globina 0 do 5 cm: siga, kristalna, svetlo siva;
- (2) globina 5 do 25 cm: rdeča do svetlo rjava meljasta ilovica, ki je laminirana;
- (3) globina 25 do 29 cm: siga, mokasta, rahlo rdečkasta;
- (4) globina 29 do 49 cm: svetlo rjava meljasta ilovica, ki je laminirana;

- (5) globina 49 do 55 cm: siga, kristalna, svetlo siva;
- (6) globina 55 do 95 cm: svetlo rjava meljasta ilovica, ki je laminirana;
- (7) globina 95 do 100 cm: siga, kristalna.



JANEZ FERREIRA STRAŽIŠAR

Slika 47: Analizirani sedimenti ob vznožju Velike gore.



Slika 48: Prerez analiziranega gradiva ob vznožju Velike gore.

Za petrološke analize sem vzorčila sediment iz treh plasti (slika 48): (2) vzorec I 38 iz globine 20 cm, (4) vzorec I 37 iz globine 40 cm, (6) vzorec I 36 iz globine 90 cm.

Z rentgensko difrakcijo so bili analizirani vzorci I 38, I 37 in I 36. Sediment v vzorcu I 38 vsebuje: 47 % kremena, 18 % klorita, 17 % muskovita/illita, 13 % kaolinita in 5 % kalcita. Sediment v vzorcu I 37 vsebuje: 67 % kremena, 16 % muskovita/illita, 11 % klorita in 6 % Na-Ca-plagioklazov. Sediment v vzorcu I 36 vsebuje: 63 % kremena, 12 % muskovita/illita, 10 % klorita, 9 % Na-Ca-plagioklazov in 6 % kalcita.

Z rentgensko fluorescenco so bili analizirani vzorci I 38, I 37 in I 36. Sediment v vzorcu I 38 vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , CaO in TiO_2 . Sediment v vzorcu I 37 vsebuje predvsem SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O in MgO . Sediment v vzorcu I 36 vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , MgO in CaO .

Granulometrično so bili analizirani vzorci I 38, I 37 in I 36. Sediment v vzorcu I 38 vsebuje (preglednica 29): 75,6 % melja, 14,63 % peska in 9,77 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico. Sediment v vzorcu I 37 vsebuje (preglednica 30): 56 % peska, 41,97 % melja in 2,03 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v peščeno ilovico. Sediment v vzorcu I 36 vsebuje (preglednica 31): 50,32 % melja, 45,91 % peska in 3,77 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.

Preglednica 29: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 38.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	14,63
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	14,63	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	24,44	75,60
0,031–0,016		grobi melj	23,10	
0,016–0,008		droben melj	20,76	
0,008–0,004		zelo droben melj	7,30	
< 0,004	glina	glina	9,77	9,77

Preglednica 30: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 37.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	56,00
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	56,00	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	18,20	41,97
0,031–0,016		grobi melj	12,69	
0,016–0,008		droben melj	7,65	
0,008–0,004		zelo droben melj	3,43	
< 0,004	glina	glina	2,03	2,03

Preglednica 31: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 36.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	56,00
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	45,91	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	21,16	41,97
0,031–0,016		grobi melj	14,64	
0,016–0,008		droben melj	9,89	
0,008–0,004		zelo droben melj	4,63	
<0,004	glina	glina	3,77	2,03

Za datacijske analize sem vzorčila sigo iz dveh plasti (slika 48): (1) vzorec S 18 iz globine 5 cm, (3) vzorec S 17 iz globine 25 cm.

Z radiometrično metodo ^{14}C sta bila datirana vzorca sige S 17 in S 18 (preglednica 32). Siga v vzorcu S 17 je stara več kot 43.500 let. Zgornja starostna meja ni bila določena, ker je bil presežen domet metode. Siga v vzorcu S 18 je stara okoli 10.900 let.

Z radiometrično metodo U-Th je bil datiran vzorec sige S 17. Siga v vzorcu S 17 je stara manj kot 150.000 let. Točna starost ni bila določena zaradi prevelike kontaminacije vzorca z detritičnim Th.

Preglednica 32: Starost sige iz Velike gore.

lokacija vzorčenja			oznaka vzorca	nadmorska višina (m)	datacijska metoda	kalibrirana starost (let pred sedanostjo)
jama	rov	lokacija prereza				
Postojnska jama	Velika gora	ob vznožju	S 18	519,95	^{14}C	10.930 ± 50
		ob vznožju	S 17	519,75	^{14}C	> 43.500
		ob vznožju	S 17	519,75	U-Th	< 150.000

5.1.3.6 Zgornji Tartar

Zgornji Tartar je severnejši krak stranskega rova Tartar v Postojnski jami (slika 38). Je okoli 200 m dolg in v povprečju več kot 10 m širok in visok. Razteza se v smeri od vzhoda proti zahodu, kjer se zaključuje s podomnim gruščem, ki sega do stropa rova. Dno Zgornjega Tartarja je v začetnem delu večinoma na nadmorski višini 528 m, le mestoma je ob straneh dno do 1 m višje. V končnem delu rova na zahodni strani je v dnu več aktivnih sufozijskih kotanj, kamor se spira gradivo. Dna kotanj so na nadmorski višini 516 do 517 m. Aktivno izpodjedanje gradiva v dnu kaže na aktivni pretok vode pod rovom, ki seže v tem delu Postojnskega kraka do nadmorske višine 510 m.

Analiza morfoloških značilnosti rova je pokazala, da so na stenah ohranjene sledi naplavin in sige, ki so skoraj enakomerno prekrivali celotno dno rova (slika 49). Podrobnejše morfometrične analize so pokazale, da je dno na zahodni strani približno 3 do 4 m višje od dna na vzhodni strani. Nagnjenost



JANEZ FERREIRA STRAŽIŠAR

Slika 49: Naplavine so nekoč zapolnjevale skoraj ves rov Zgornji Tartar v Postojnski jami.



MATJA ZORN

Slika 50: Prvi prerez v Zgornjem Tartarju v Postojnski jami.

dna od zahoda proti vzhodu bi lahko kazala na smer pretakanja vode proti vzhodu, kar se ujema s starejšimi teorijami, da naj bi Zgornji Tartar oblikovala ponornica, ki je ponirala v Otoško jamo, od tam pa tekla skozi Zgornji Tartar proti Veliki gori (Gospodarič 1976). Otoško jamo in Zgornji Tartar danes prekinja podorno gradivo izpod udornice Stara Apnenica (slika 38).

V pobočjih sufozijskih kotanj so razkriti do 15 m globoki prerezi skozi naplavine in druge sedimente v dnu. Za podrobnejše petrološke in morfokronološke analize gradiva sem izbrala štiri območja v Zgornjem Tartarju, kjer sem podrobneje obravnavala plasti sedimentov v prerezi. Prvi prerez (slika 50) je v končnem delu rova ob južni jamski steni. Drugi prerez je v končnem delu rova v južnem pobočju sufozijske kotanje. Tretji prerez je ob vznožju zaključnega podora na zahodni strani rova, četrti prerez pa v osrednjem delu rova, kjer dno doseže najvišjo nadmorsko višino.

Prvi prerez (slika 50 in 51) je razkrit v pobočju manjše sufozijske kotanje ob južni steni rova, kjer se od Zgornjega Tartarja odcepi krajši stranski rov. Nad sufozijsko kotanjo je več kot 5 m visok kamin, ki je močno korozijsko preoblikovan. Agresivna voda, ki priteka po njem, spira gradivo s pobočij v dno kotanje in jo poglablja. Aktivnost procesa je opazna zlasti zaradi spranosti dna kotanje, kjer ni nobene akumulacije drobnejšega gradiva s pobočij.

Razgaljen prerez je 4,8 m visok. V prerezu sem ločila 15 plasti sedimentov (slika 51):

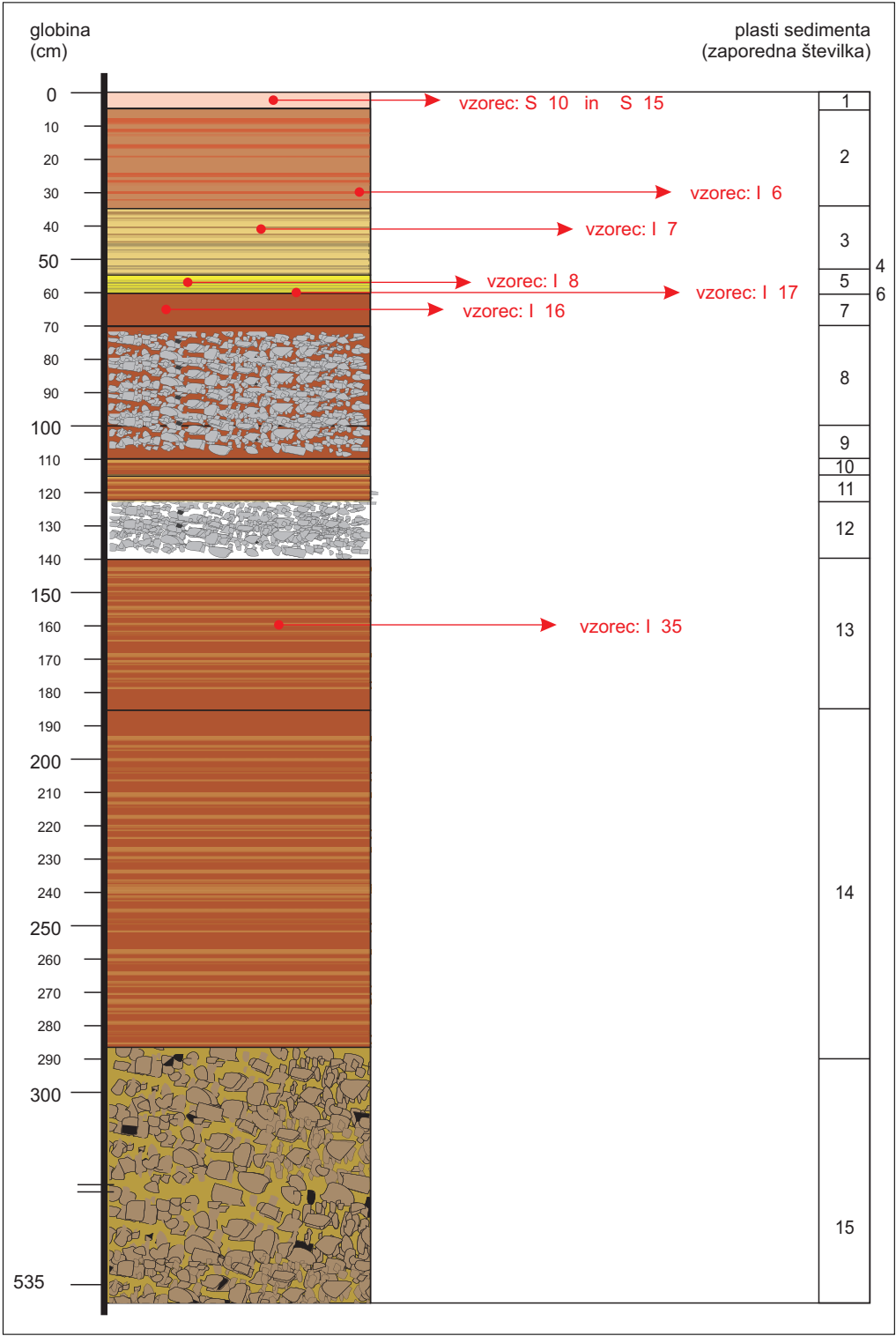
- (1) globina 0 do 7 cm: siga, mokasta in vlažna;
- (2) globina 7 do 35 cm: rdeča do rjava meljasta ilovica, mastna na otip;
- (3) globina 35 do 55 cm: svetlo rjava meljasta ilovica z izrazitimi laminami;
- (4) globina 55 do 55,5 cm: siva ilovica s črnimi drobci velikosti do 0,5 mm;
- (5) globina 55,5 do 60,5 cm: živo rumena meljasta ilovica z laminami;
- (6) globina 60,5 do 61 cm: siva ilovica s črnimi drobci velikosti do 0,5 mm;
- (7) globina 61 do 71 cm: rjava meljasta ilovica z izrazitimi laminami;
- (8) globina 71 do 101 cm: drobnji grušč s primešano rjavo ilovico;
- (9) globina 101 do 110 cm: rjava ilovica z izrazitimi laminami;
- (10) globina 110 do 115 cm: drobnji grušč s primešano rjavo ilovico;
- (11) globina 115 do 123 cm: rjava ilovica z izrazitimi laminami;
- (12) globina 123 do 140 cm: drobnji grušč;
- (13) globina 140 do 185 cm: rjava peščena ilovica z laminami;
- (14) globina 185 do 285 cm: rjava meljasta ilovica z laminami;
- (15) globina 285 do 535 cm: grušč.

Za petrološke analize sem vzorčila sediment iz šestih plasti (slika 51): (2) vzorec I 6 iz globine 30 cm, (3) vzorec I 7 iz globine 40 cm, (5) vzorec I 8 iz globine 60 cm, (6) vzorec I 17 iz globine 61 cm, (7) vzorec I 16 iz globine 65 cm, (13) vzorec I 35 iz globine 160.

Z rentgensko difrakcijo so bili analizirani vzorci I 6, I 7, I 8, I 17, I 16 in I 35. Sediment v vzorcu I 6 vsebuje: 47 % kremenca, 22 % muskovita/illita, 14 % klorita, 10 % Na-Ca-plagioklazov in 7 % kaolinita. Sediment v vzorcu I 7 vsebuje: 46 % kremenca, 28 % muskovita/illita, 15 % Na-Ca-plagioklazov, 8 % klorita in 3 % kalcita. Sediment v vzorcu I 8 vsebuje: 40 % muskovita/illita, 21 % kremenca, 17 % K-Na-glinencev in Na-Ca-plagioklazov ter 5 % kalcita. Sediment v vzorcu I 17 vsebuje: 40 % muskovita/illita, 28 % kremenca, 22 % K-Na-glinencev in 10 % Na-Ca-plagioklazov. Sediment v vzorcu I 16 vsebuje: 45 % kremenca, 22 % muskovita/illita, 11 % klorit, 9 % Na-Ca-plagioklazov, 7 % kaolinita in 6 % K-Na-glinencev. Sediment v vzorcu I 35 vsebuje: 45 % kremenca, 25 % muskovita/illita, 11 % klorita, 10 % Na-Ca-plagioklazov in 9 % kalcita.

Z rentgensko fluorescenco so bili analizirani vzorci I 6, I 7, I 8, I 17, I 16 in I 35. Sediment v vzorcih I 6 in I 16 vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O in MgO . Sediment v vzorcih I 7, I 17 in I 35 vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , CaO in MgO . Sediment v vzorcu I 8 vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O in TiO_2 .

Slika 51: Prerez gradiva v končnem delu Zgornjega Tartarja. ► str. 100



Granulometrično so bili analizirani vzorci I 6, I 7, I 8, I 17, I 16 in I 35. Sediment v vzorcu I 6 vsebuje (preglednica 33): 62,61 % melja, 37,04 % gline in 0,35 % peska. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto glineno ilovico. Sediment v vzorcu I 7 vsebuje (preglednica 34): 74 % melja, 21,22 % gline in 4,22 % peska. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico. Sediment v vzorcu I 8 vsebuje (preglednica 35): 76,41 % melja, 15,8 % peska in 7,79 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico. Sediment v vzorcu I 17 vsebuje (preglednica 36): 47,08 % peska, 43,35 % melja in 9,57 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v ilovico. Sediment v vzorcu I 16 vsebuje (preglednica 37): 54,9 % melja, 36,11 % peska in 8,99 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico. Sediment v vzorcu I 35 vsebuje (preglednica 38): 48,03 % peska, 46,95 % melja in 5,02 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v peščeno ilovico.

Za datacijske analize sem vzorčila sigo iz zgornje plasti (slika 51): (1) vzorec S 10 iz globine 4 cm in vzorec S 15 iz globine 7 cm.

Preglednica 33: Deleži frakcij drobnozrnatega gradiva v vzorcu I 6.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	0,35
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	0,35	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	4,40	62,61
0,031–0,016		grobi melj	10,68	
0,016–0,008		droben melj	19,15	
0,008–0,004		zelo droben melj	28,38	
<0,004	glina	glina	37,04	37,04

Preglednica 34: Deleži frakcij drobnozrnatega gradiva v vzorcu I 7.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	4,22
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	4,22	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	17,48	74,56
0,031–0,016		grobi melj	23,03	
0,016–0,008		droben melj	17,88	
0,008–0,004		zelo droben melj	16,17	
<0,004	glina	glina	21,22	21,22

Preglednica 35: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 8.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,22	15,80
1–0,5		grobi pesek	2,01	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,88	
0,25–0,125		droben pesek	0,11	
0,125–0,062		zelo droben pesek	12,58	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	29,84	76,41
0,031–0,016		grobi melj	22,65	
0,016–0,008		droben melj	13,60	
0,008–0,004		zelo droben melj	10,32	
< 0,004	glina	glina	7,79	7,79

Preglednica 36: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 17.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	47,08
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	6,63	
0,25–0,125		droben pesek	4,29	
0,125–0,062		zelo droben pesek	36,16	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	11,96	43,35
0,031–0,016		grobi melj	10,86	
0,016–0,008		droben melj	11,35	
0,008–0,004		zelo droben melj	9,18	
< 0,004	glina	glina	9,57	9,57

Preglednica 37: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 16.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	36,11
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	36,11	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	19,94	54,90
0,031–0,016		grobi melj	14,87	
0,016–0,008		droben melj	12,41	
0,008–0,004		zelo droben melj	7,68	
< 0,004	glina	glina	8,99	8,99

Preglednica 38: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 35.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	48,03
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	48,03	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	20,02	46,95
0,031–0,016		grobi melj	13,41	
0,016–0,008		droben melj	8,58	
0,008–0,004		zelo droben melj	4,94	
< 0,004	glina	glina	5,02	5,02

Z radiometrično metodo ^{14}C je bil datiran vzorec sige S 10 (preglednica 39). Siga v vzorcu S 10 je stara okoli 39.400 let.

Z radiometrično metodo U-Th je bil datiran vzorec sige S 15 (preglednica 39). Siga v vzorcu S 15 je stara manj kot 70.000 let. Točna starost ni bila določena zaradi prevelike kontaminacije vzorca z detritičnim Th.

Preglednica 39: Starost sige iz prvega prereza v Zgornjem Tartarju.

lokacija vzorčenja			oznaka vzorca	nadmorska višina (m)	datacijska metoda	kalibrirana starost (let pred sedanostjo)
jama	rov	lokacija prereza				
Postojnska jama	Zgornji Tartar	ob strani ZT 1	S 10	530,93	^{14}C	39.720 ± 310
		ob strani ZT 1	S 15	530,93	U-Th	< 70.000

Drugi analizirani prerez (slika 52) v Zgornjem Tartarju je na zahodnem pobočju najbolj vzhodne sufozijske kotanje. V njenem dnu je aktivno spiranje in odnašanje gradiva, saj v njem ni akumulacije sedimentov s pobočij. Najbolj stabilen del kotanje je vzhodna stran, kjer večje podorne bloke prekriva siga. Na podornih blokkih in sigi so vidne sledi korozije, a je odlaganje sige prehitro, da bi prišlo do premikanja gradiva proti dnu sufozijske kotanje, ki je v tem delu okoli 1 do 2 m višje od najnižje točke.

Na strmem pobočju je razkrit 14 m globok prerez, v katerem sem ločila šest plasti sedimentov:

- (1) globina 0 do 5 cm: siga, kristalna, svetlo sive barve;
- (2) globina 5 do 60 cm: rdeča do rjava meljasta ilovica, ki je laminirana;
- (3) globina 60 do 150 cm: rjava ilovica, laminirana, z žepi gruščja in rumenkaste ilovice v sekundarni legi;
- (4) globina 150 do 170 cm: drobnji grušč;
- (5) globina 170 do 470 cm: rjava meljasta ilovica, ki je izrazito laminirana. Med meljastimi plastmi so plasti finejše ilovice;
- (6) globina 470 cm do 14 m: drobnji grušč.



JANEZ FERREIRA STRAŽIŠAR

Slika 52: Pogled na zgornji del drugega prereza v Zgornjem Tartarju.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz dveh plasti: (2) vzorec I 18 iz globine 50 cm, (5) vzorec I 19 iz globine 200 cm, (5) vzorec I 20 iz globine 300 cm, (5) vzorec I 21 iz globine 450 cm.

Z rentgensko difrakcijo so bili analizirani vzorci I 18, I 19, I 20 in I 21. Sediment v vzorcu I 18 vsebuje: 47 % kremena, 22 % muskovita/illita, 15 % klorita, 9 % Na-Ca-plagioklazov in 7 % kaolinita. Sediment v vzorcu I 19 vsebuje: 37 % kremena, 17 % muskovita/illita, 13 % Na-Ca-plagioklazov, 10 % klorita, 8 % K-Na-glinencev, 6 % dolomita, 5 % kalcita in 4 % kaolinita. Sediment v vzorcu I 20 vsebuje: 38 % kremena, 25 % muskovita/illita, 11 % klorita in Na-Ca-plagioklazov, 6 % kalcita, 5 % K-Na-glinencev in 4 % kaolinita. Sediment v vzorcu I 21 vsebuje: 56 % kremena, 13 % muskovita/illita, 11 % Na-Ca-plagioklazov, 9 % klorita, 6 % K-Na-glinencev in 5 % kalcita.

Z rentgensko fluorescenco so bili analizirani vzorci I 19, I 20 in I 21. Sediment v vzorcih I 19, I 20 in I 21 vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O in MgO .

Granulometrično so bili analizirani vzorci I 18, I 19, I 20 in I 21. Sediment v vzorcu I 18 vsebuje (preglednica 40): 52,04 % melja, 37,91 % peska in 10,05 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico. Sediment v vzorcu I 19 vsebuje (preglednica 41): 55,99 % melja, 38,7 % peska in 5,31 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico. Sediment v vzorcu I 20 vsebuje (preglednica 42): 60,11 % melja, 33,06 % peska in 6,83 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico. Sediment v vzorcu I 21 vsebuje (preglednica 43): 53,87 % melja, 40,68 % peska in 5,45 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.

Preglednica 40: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 18.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	37,91
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	37,91	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	20,13	52,04
0,031–0,016		grobi melj	13,54	
0,016–0,008		droben melj	10,26	
0,008–0,004		zelo droben melj	8,11	
<0,004	glina	glina	10,05	10,05

Preglednica 41: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 19.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	38,70
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	38,70	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	24,29	55,99
0,031–0,016		grobi melj	15,44	
0,016–0,008		droben melj	10,69	
0,008–0,004		zelo droben melj	5,57	
<0,004	glina	glina	5,31	5,31

Preglednica 42: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 20.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	33,06
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	33,06	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	24,82	60,11
0,031–0,016		grobi melj	16,78	
0,016–0,008		droben melj	12,18	
0,008–0,004		zelo droben melj	6,33	
<0,004	glina	glina	6,83	6,83

Preglednica 43: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 21.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	40,68
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	40,68	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	22,39	53,87
0,031–0,016		grobi melj	15,72	
0,016–0,008		droben melj	10,13	
0,008–0,004		zelo droben melj	5,63	
< 0,004	glina	glina	5,45	5,45

Tretji prerez v Zgornjem Tartarju je v skrajnem zahodnem delu rova, na vznožju podornega stožca, ki zapira nadaljevanje rova (slika 53). Podorno gradivo in drugi sedimenti v tem delu so bili sprani ali pa so se delno pogreznili v več kot 20 m široko in 16 m globoko sufozijsko kotanjo. Dno je na nadmorski višini 517 m. V dnu poteka odnašanje gradiva, vendar je manj intenzivno kot v ostalih sufozijskih kotanjah. Pobočja delno prekriva siga, sicer pa so na njih plasti različnih klastičnih sedimentov, od grušč do drobnozrnatih naplavin.

V spodnjem delu pobočij kotanje sem našla drobnozrnate sedimente, ki so bili odloženi v vodoravnih plasteh nad vsem ostalim klastičnim gradivom in sigo v sufozijski kotanji. Zato sklepam, da so se odložili, ko je kotanja že bila oblikovana in so eden zadnjih morfogenetskih procesov v Zgornjem Tartarju.

Tega sedimenta, ki je odložen nad vsem ostalim gradivom v kotanji, je zelo malo. Večinoma zapolnjuje razne razpoke in špranje. Največjo debelino sedimenta sem izmerila na manjšem uravnanem delu dna, kjer je debelina 20 cm: globina 0 do 20 cm: rjavkasta ilovica, ki je laminirana.

Četrti prerez gradiva (slika 54) v Zgornjem Tartarju je v srednjem delu rova, kjer sedimenti, ki so zapolnjevali celotno dno rova, še niso bili odneseni. Dno rova, ki je v tem delu večinoma na nadmorski višini 528 m, se ponekod dvigne za meter. Rov je v tem delu zmerno zasigan, zato so naplavine v dnu dostopne le mestoma.

V bližini južne stene, kjer je sigova skorja nad sedimenti nekoliko tanjša, sem skopala 0,5 m globok prerez v podlago, pri čemer sem ločila dve plasti sedimentov (slika 55):

- (1) globina 0 do 5 cm: siga, kristalna, svetlo sive barve;
- (2) globina 5 do 50 cm: rjava meljasta ilovica, ki je rahlo laminirana in mastna na otip.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz spodnje plasti (slika 55): (2) vzorec I 22 iz globine 40 cm.

Z rentgensko difrakcijo je bil analiziran vzorec I 22. Sediment vsebuje: 48 % kremena, 20 % muskovita/illita, 17 % klorita, 7 % Na-Ca-plagioklazov, 5 % kaolinita in 3 % K-Na-glinencev.

Z rentgensko fluorescenco je bil analiziran vzorec I 22. Sediment vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , MgO in CaO .

Granulometrično je bil analiziran vzorec I 22. Sediment vsebuje (preglednica 44): 61,65 % melja, 33,06 % peska in 5,29 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.

Za datacijske analize sem vzorčila sigo iz zgornje plasti (slika 55): (1) vzorec S 5 iz globine 5 cm.

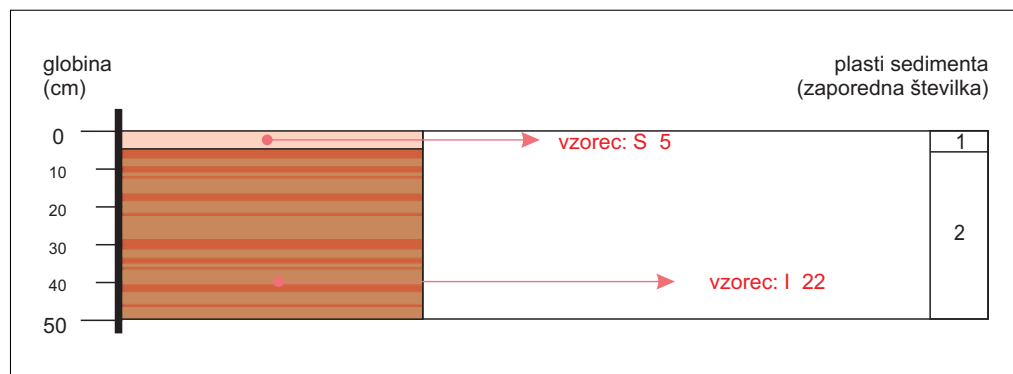
Z radiometrično metodo ^{14}C je bil datiran vzorec sige S 5, ki je star okoli 9000 let (preglednica 45).



Slika 53: Podorno gradivo zapira nadaljevanje Zgornjega Tartarja proti zahodu.



Slika 54: Dno Zgornjega Tartarja zapolnjujejo drobnnozrnati sedimenti, četrty prerez je na desni strani nasipa.



Slika 55: Prerez gradiva v srednjem delu Zgornjega Tartarja

Preglednica 44: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 22.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	33,06
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	33,06	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	27,42	61,65
0,031–0,016		grobi melj	16,73	
0,016–0,008		droben melj	11,63	
0,008–0,004		zelo droben melj	5,87	
<0,004	glina	glina	5,29	5,29

Preglednica 45: Starost sige iz četrtega prereza v Zgornjem Tartarju.

lokacija vzorčenja			oznaka vzorca	nadmorska višina (m)	datacijska metoda	kalibrirana starost (let pred sedanjostjo)
jama	rov	lokacija prereza				
Postojnska jama	Zgornji Tartar	srednji del ZT 4	S 5	528,95	¹⁴ C	9010 ± 40

5.1.3.7 Spodnji Tartar

Južni odcep rova Tartar v Postojnski jami je Spodnji Tartar (slika 38). Je okoli 300 m dolg ter povprečno manj kot 10 m širok in okoli 10 m visok. Poteka v smeri od severa proti jugu, kjer se priključi hidrološko aktivnemu rovu Podzemeljska Pivka. Je na nadmorski višini od 509 do 519 m. Spodnji Tartar je precej razčlenjen s stranskimi rovi.



Slika 56: Sedimenti v rovu Koalicije v Spodnjem Tartarju.

V srednjem delu rova se od njega odcepi okoli 50 m dolg rov Koalicije (slika 56), ki ima kanjonsko obliko. Je na nadmorski višini okoli 526 m. V osrednjem delu ga zapolnjujejo naplavine do nadmorske višine 532 m. Prerez skozi naplavine so v preteklosti podrobneje analizirali s paleomagnetno datacijsko metodo (Zupan Hajna s sodelavci 2008b) in ugotovili, da so naplavine celotnega prereza mlajše od 780.000 let. Točnejšo starost so dopolnili z U-Th datacijami sige med sedimenti. Sedimenti v dnu prereza so starejši od 143.000 (+ 26.000/–22.000) let, zgornji del sedimentov pa je mlajši od 108.000 (+ 19.000/–22.000) let.

Naplavine v rovu Koalicije se po barvi ločijo na štiri osnovne plasti: (1) na vrhu je odložena siga. (2) pod njo je sprva rjava ilovica, mastna na otip, (3) kateri sledi rumenkasto rjava ilovica, (4) nad dnom je rdeča ilovica.

Za datacijske analize sem vzorčila sigo iz zgornje plasti: (1) vzorec S 9 iz globine 3 cm.

Vzorec sige S 9 je bil datiran z radiometrično metodo ^{14}C ; siga je stara okoli 14.700 let (preglednica 46).

Preglednica 46: Starost sige iz Rova koalicije v Spodnjem Tartarju.

lokacija vzorčenja			oznaka vzorca	nadmorska višina (m)	datacijska metoda	kalibrirana starost (let pred sedanjostjo)
jama	rov	lokacija prereza				
Postojnska jama	Spodnji Tartar	Rov Koalicije	S 9	531,97	^{14}C	14.740 ± 50

5.1.3.8 Hauptmanov kevderc

Hauptmanov kevderc je 22 m dolga vodoravna jama na nadmorski višini 534 m. Vhod v jamo je na strmem pobočju ponornega roba Pivške kotline, okoli 200 m vzhodno od ponora Pivke v Postojnsko jamo (slika 38). Hauptmanov kevderc so v veliki meri zapolnjevale naplavine in drugi sedimenti, a so jih sprva zaradi potreb vojske po skladiščnih prostorih med svetovnima vojnoma, kasneje pa še ob arheoloških raziskavah, skoraj v celoti odstranili (slika 57). Danes je jama povprečno okoli 3 m široka in nad 5 m visoka.

Morfološka analiza rova je pokazala, da so naplavine zapolnjevale jamo vsaj do nadmorske višine 536 m. Nad naplavinami je bila okoli 20 cm debela sigova skorja, ki je verjetno predstavljala naravno dno jame.

V končnem delu rova je bil za petrološke analize vzorčen ostanek meljaste ilovice (vzorec I 32) na nadmorski višini 534 m.

Z rentgensko difrakcijo je bil analiziran vzorec I 32. Sediment vsebuje: 48 % kremena, 22 % klorita, 18 % muskovita/illita, 9 % Na-Ca-plagioklazov in 3 % kalcita.

Z rentgensko fluorescenco je bil analiziran vzorec I 32. Sediment vsebuje predvsem SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , MgO CaO in TiO_2 .

Granulometrično je bil analiziran vzorec I 32. Sediment vsebuje (preglednica 47): 57,57 % melja, 35,18 % peska in 7,25 % glin. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.



MATEJA FERK

Slika 57: Sledi drobnozrnatih sedimentov v Hauptmanovem kevdercu so vidne le na jamskih stenah, saj so bile v glavnem antropogeno odstranjene.

Preglednica 47: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 32.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	35,18
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	35,18	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	21,84	57,57
0,031–0,016		grobi melj	16,15	
0,016–0,008		droben melj	12,86	
0,008–0,004		zelo droben melj	6,72	
<0,004	glina	glina	7,25	7,25

5.1.3.9 Spodmol v Koliševki

Spodmol v Koliševki je 4 m dolg in 10 m širok spodmol v udornici Koliševka (slika 38), ki je 400 m severovzhodno od končnega dela slepe doline Risnik. Spodmol je na nadmorski višini 545 m. Na



Slika 58: Drobnnozrnatí sedimenti v dnu Spodmola v Koliševki.

stenah in stropu so ostanki sige, ki močno razpada zaradi zmrzalnega preperevanja. Dno prekriva vsaj 1 m debela plast drobnopraznatih sedimentov (slika 58). Morfološka analiza spodmola je pokazala, da je bil spodmol zapolnjen s klastičnimi sedimenti vsaj 1 m višje ter da je sediment prekrivala okoli 10 cm debela plast sige. Ostanki sedimenta in plasti sige so vidni v vsem spodmolu na enaki nadmorski višini, medtem ko je današnje dno nagnjeno proti jugu. Pregledana je bila širša okolica spodmola in udornica Koliševka, vendar drugih sledi drobnopraznatih sedimentov nisem zasledila.

Da bi sedimente lahko primerjala z ostalimi vzorčenimi sedimenti na površju in v podzemlju Postojnskega kraka, sem skopala 0,5 m globok prerez v sedimente na dnu spodmola (slika 58). Po barvi sem ločila dve plasti sedimentov:

- (1) globina 0 do 30 cm: rdeča do rjava meljasta ilovica;
- (2) globina 30 do 50 cm: rumenkasto rjava meljasta ilovica.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz obeh plasti: (1) vzorec I 30 iz globine 25 cm, (2) vzorec I 31 iz globine 45 cm.

Preglednica 48: Deleži frakcij drobnopraznatega gradiva v vzorcu I 30.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	29,63
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	29,63	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	18,98	57,84
0,031–0,016		grobi melj	15,53	
0,016–0,008		droben melj	14,26	
0,008–0,004		zelo droben melj	9,07	
< 0,004	glina	glina	12,53	12,53

Preglednica 49: Deleži frakcij drobnopraznatega gradiva v vzorcu I 31.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	25,04
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	25,04	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	27,28	67,55
0,031–0,016		grobi melj	19,34	
0,016–0,008		droben melj	14,17	
0,008–0,004		zelo droben melj	6,76	
< 0,004	glina	glina	7,41	7,41

Z rentgensko difrakcijo sta bila analizirana vzorca I 30 in I 31. Sediment v vzorcu I 30 vsebuje: 94 % kalcita in 6 % kremenca. Sediment v vzorcu I 31 vsebuje: 56 % kremenca, 25 % muskovita/illita, 12 % kaolinita in 7 % klorita.

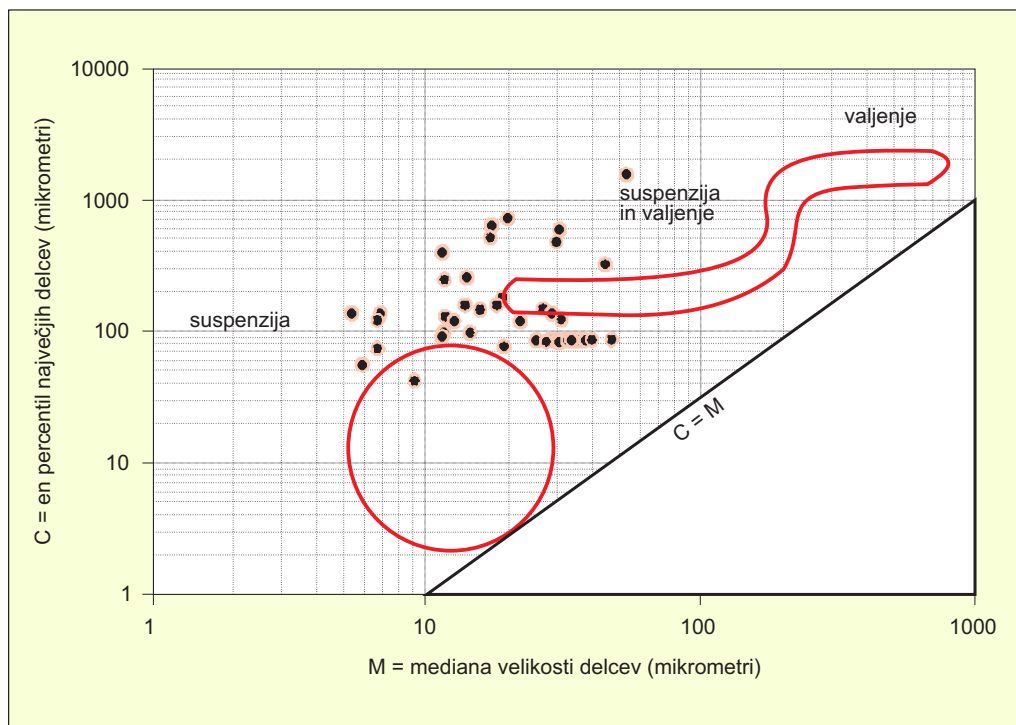
Z rentgensko fluorescenco sta bila analizirana vzorca I 30 in I 31. Sediment v vzorcu I 30 vsebuje predvsem CaO, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃ in MnO. Sediment v vzorcu I 31 vsebuje predvsem SiO₂, CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, CaO, MgO in TiO₂.

Granulometrično so bili analizirani vzorci I 30 in I 31. Sediment v vzorcu I 30 vsebuje (preglednica 48): 57,84 % melja, 29,63 % peska in 12,53 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico. Sediment v vzorcu I 31 vsebuje (preglednica 49): 67,55 % melja, 25,04 % peska in 7,41 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.

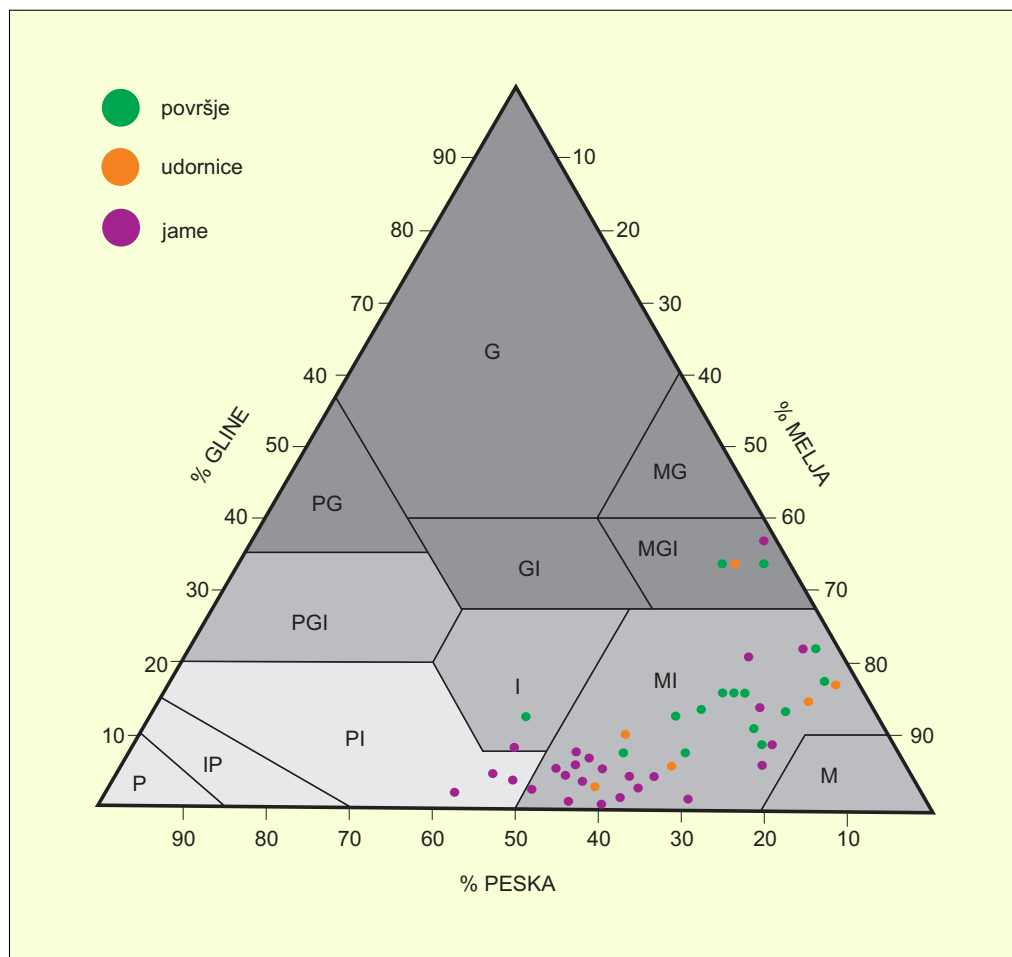
5.1.4 SKUPNE ZNAČILNOSTI SLEDI PALEOPOPLAV V PIVŠKI KOTLINI

Pivško kotlino sem morfografsko analizirala, pri čemer sem ugotovila uravnave v drobnnozrnatih sedimentih na površju Spodnje Pivške kotline, ki sem jih zaradi značilnega lege v ravneh interpretirala kot terase. Najvišje terase so na nadmorski višini od 533 do 535 m in v recentnih hidroloških razmerah niso poplavljene. Najnižje terase so na nadmorski višini 515 m in so recentna poplavna ravnica Pivke in Nanošče, zato jih nisem podrobneje obravnavala.

Drobnozrnate sedimente na višjih nadmorskih višinah, kot jih doseže kraška voda v recentnih razmerah, sem našla tudi v udornicah in jamah Postojnskega krasa. Z drobnnozrnatimi sedimenti uravnana dna udornic so na nadmorskih višinah okoli 540 m ter med 525 in 530 m. V jamah so drobnnozrnati sedimenti



Slika 59: Grafičen prikaz rezultatov granulometričnih analiz sedimentov s teras, udornic in jam v Pivški kotlini.



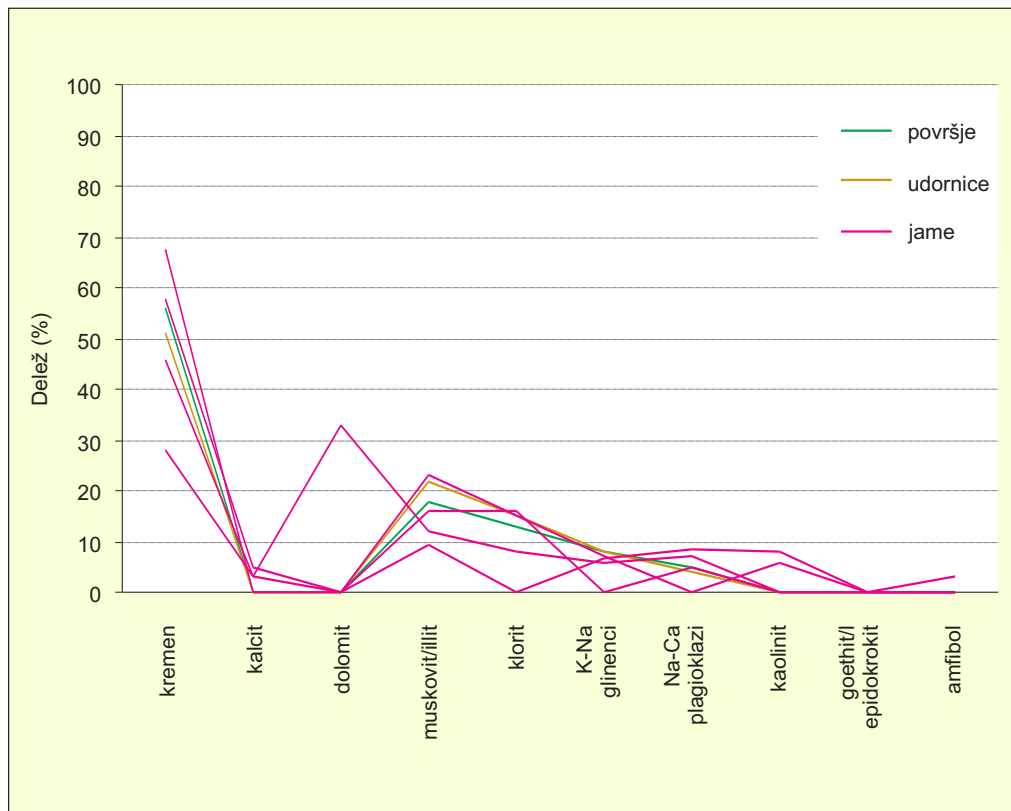
Slika 60: Primerjava granulometričnih značilnosti sedimentov na površju v Pivški kotlini ter v udornicah in jamah Postojnskega krasa.

odloženi do nadmorske višine 545 m, prevladujejo pa naplavine na nadmorski višini okoli 530 m. Dna udornic v nekaterih primerih zapolnjujejo naplavine na primerljivih višinah, kot jih dosežejo naplavine v jamah.

Petrološke analize sedimentov iz teras, udornic in jam so pokazale, da gre za alohtone sedimente, ki niso nastali *in situ*, ampak so bili preneseni in odloženi iz vode (slike 59, 60 in 61). To dokazuje, da so nastali ob paleopoplavah. Z morfokronološkimi analizami, ki so temeljile na datacijah sige, sem opredelila časovna obdobja paleopoplav.

5.1.5 MODELIRANJE PALEOPOPLAV

S sintezo rezultatov morfoloških, morfometričnih in petrografskih analiz sem opredelila reliefne oblike, ki so nastale s paleopoplavami. Podatke sem uporabila za računanje hidrometričnih lastnosti paleopoplav, pri čemer sem izračunala prostornino in površino, ki bi jo imele paleopoplave v Pivški kotlini.



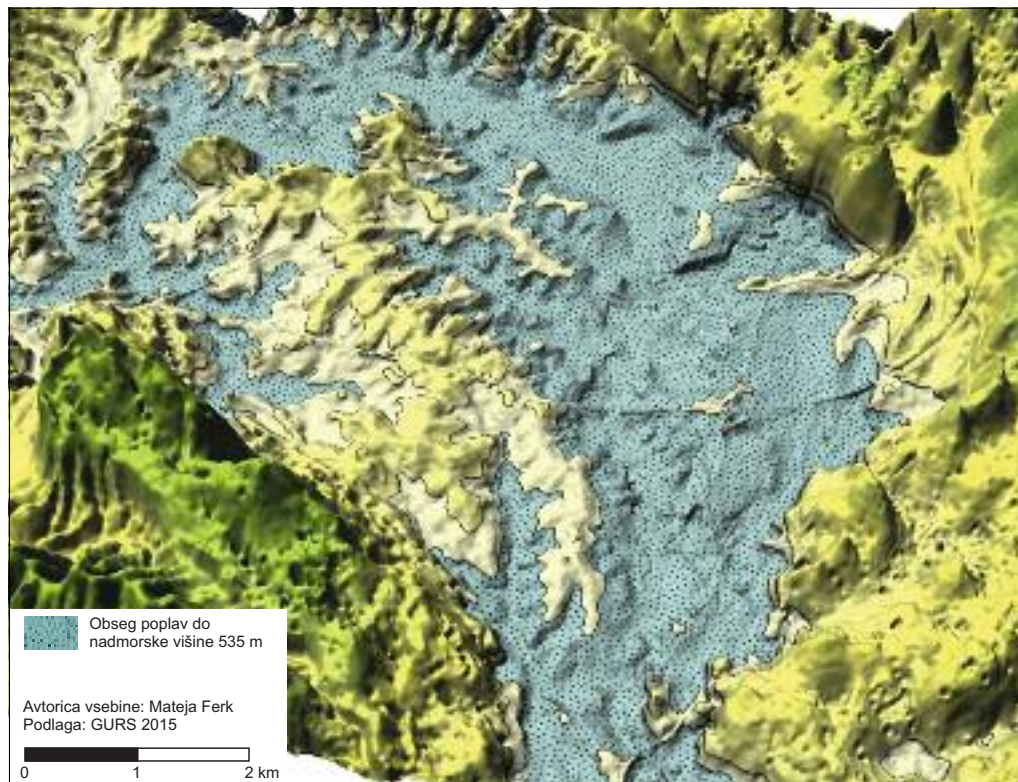
Slika 61: Rezultati mineraloških analiz sedimentov v Pivški kotlini.

Z uporabo geografskih informacijskih sistemov sem na preučevanem območju modelirala obseg in višino paleopoplav.

Poplave do nadmorske višine od 533 do 535 m bi imele prostornino okoli 170 do 220 milijonov m³. Površina poplavljenega površja bi bila od 23,2 do 26,7 km². Ob najvišjih poplavih v današnjih hidroloških razmerah, ki sežejo do nadmorske višine 520 m, je prostornina poplavne vode okoli 7 milijonov m³, kar je od 24- do 31-krat manj v primerjavi s poplavami ob najvišji ugotovljeni ravni, ob predpostavki enakega reliefa. V današnjih hidroloških razmerah je ob najvišjih poplavih poplavljenega 3,64 km² površja. Površina poplavljenega površja ob poplavih do nadmorske višine 535 m bi bila približno 7-krat večja (slika 62), kot ob najvišjih današnjih poplavih.

Preglednica 50: Hidrometrične lastnosti poplav na različnih nadmorskih višinah v Pivški kotlini.

nadmorska višina poplav (m)	prostornina (m ³)	površina jezera (km ²)	površina poplavljenega ozemlja (km ²)
515	539.769	0,14	0,14
520	6.977.617	3,63	3,64
533	170.434.041	23,18	23,24
535	220.257.701	26,62	26,70



Slika 62: Prostorski prikaz obsega paleopoplav do nadmorske višine 535 m v Pivški kotlini

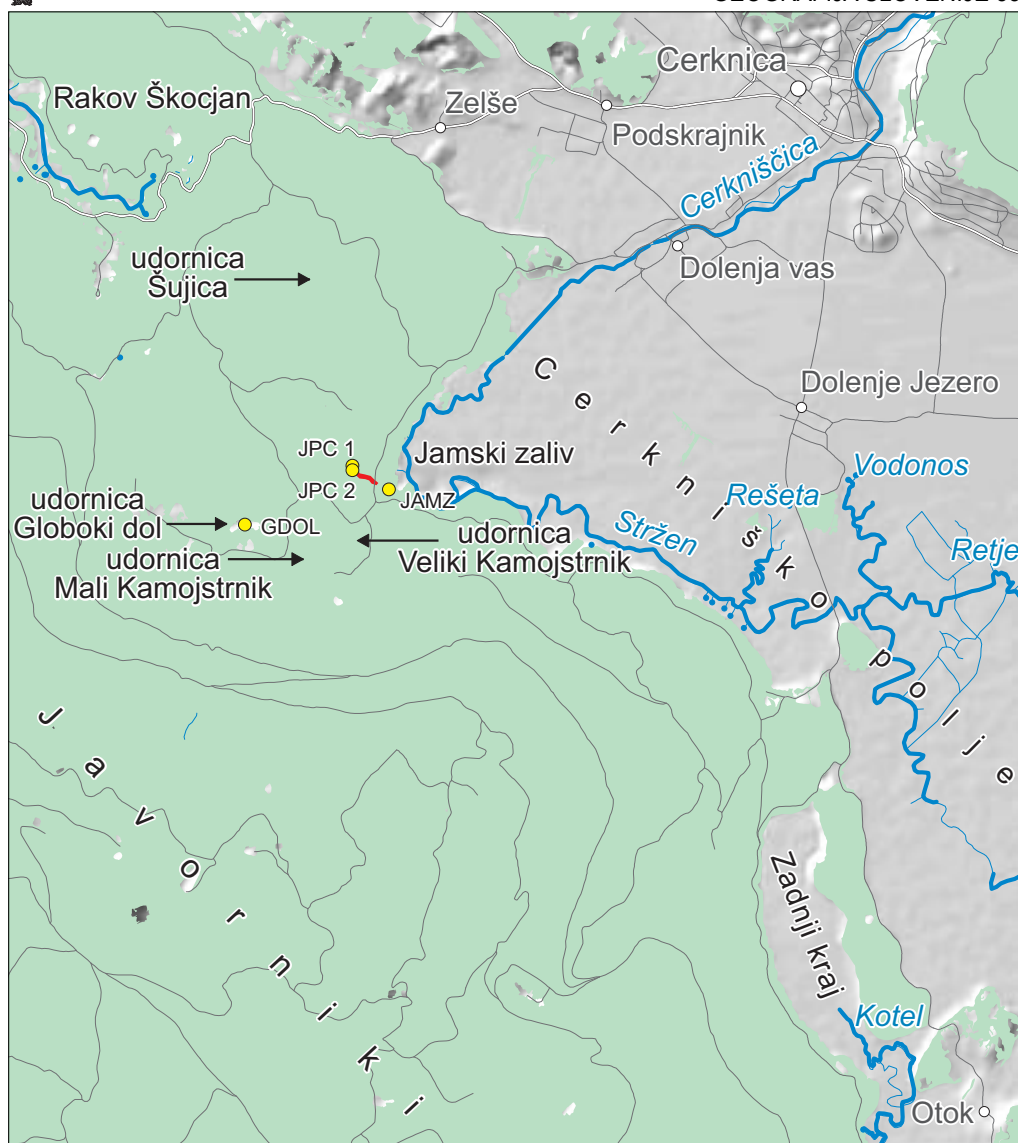
5.2 CERKNIŠKO POLJE

5.2.1 SLEDI PALEOPOPLAV NA POVRŠJU

Da bi našla sledi paleopoplav na površju ob Cerkniškem polju, sem pregledala vsa pobočja ob polju. Uravnav ali teras, ki bi segale do višjih nadmorskih višin od poplav v recentnih hidroloških razmerah, nisem našla, so pa drobnazrnati sedimenti na površju v manjših zaplatah med škrapljami ali v vrtačah (slika 63). Največja zaplata, ki sem jo podrobneje preučila, je nad Jamskim zalivom na severozahodnem ponornem zaledju Cerkniškega polja (slika 64).

Zaplata vodoravno odloženih drobnazrnatih sedimentov je v dnu neizrazite podolgovate kotanje z uravnoteženimi pobočji, le na zahodni strani so stene, kjer se pod njimi odpira vhod v Jamo pod cesto. Drobnazrnati sedimenti obsegajo površino okoli 0,003 km². Odloženi so do nadmorske višine 575 m; v najnižjem delu je manjša uravnava na nadmorski višini 570 m. V smeri od zahoda proti vzhodu meri zaplata okoli 50 m, v smeri od severa proti jugu okoli 40 m.

Slika 63: Območja vzorčenja drobnazrnatih sedimentov ob Cerkniškem polju. ►



Hidrološke in speleološke značilnosti Cerkljanskega polja

- izvir
- površinski vodotok
- ← udornica
- območje vzorčenja
- tloris Jame pod cesto

Avtorica vsebine: Mateja Ferk
 Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
 Vir: Kataster jam IZRK 2014
 Podlaga: GURS 2015, ARSO 2015.
 © Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

0 0,5 1 2 km



MATEJA FERK

Slika 64: Ponorni del Cerkniškega polja z Javorniki in Nanosom v ozadju.

V osrednjem delu uravnane dna zaplate sem z ročnim vrtalnikom zvrtila 2 m globoko vrtino (oznaka JAMZA na sliki 63) in na dnu zadela na pobočno gradivo. V navpičnem prerezu vrtine sem po barvi in na otip ločila tri plasti sedimentov (slika 65):

- (1) globina 0 do 10 cm: humus;
- (2) globina 10 do 100 cm: rdeča ilovica;
- (3) globina 100 do 200 cm: rdeča meljasta ilovica, ki je rahlo laminirana; v sedimentu je nekaj drobcev oglja.

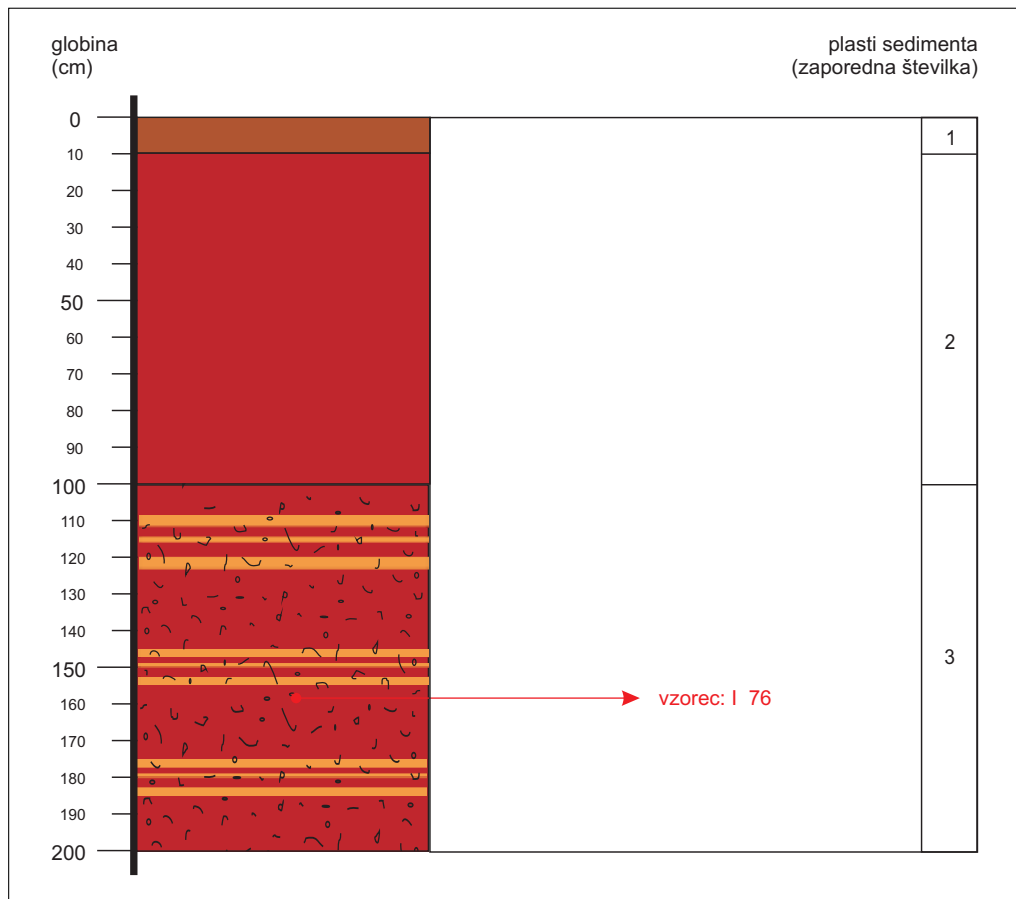
Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz spodnje plasti (slika 65): (3) vzorec I 76 iz globine 160 cm.

Z rentgensko difrakcijo je bil analiziran vzorec I 76. Sediment vsebuje: 58 % kremena, 18 % muskovita/illita, 13 % klorita, 8 % K-Na-glinencev in 5 % Na-Ca-plagioklazov.

Granulometrično je bil analiziran vzorec I 76. Sediment vsebuje (preglednica 51): 71,23 % melja, 22,21 % glin in 6,56 % peska. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.

5.2.2 SLEDI PALEOPOPLAV V UDORNICAH

Udornice ob Cerkniškem polju so severno od polja na Logaškem ravniku in severozahodno od polja ob vznožju Javornikov v kraškem površju, ki se nadaljuje proti Rakovemu Škocjanu (slika 63). Podrobno sem pregledala udornice v severozahodnem ponornem zaledju polja: Šujica, Veliki in Mali Kamojstrnik ter Globoki dol (preglednica 52). Drobnozrnati sedimenti so v dnu udornic Veliki in Mali Kamojstrnik, vendar je sedimenta malo. Več drobnozrnatega sedimenta je v dnu udornice Globoki dol, ki sem jo podrobneje morfografsko in morfometrično analizirala.



Slika 65: Prerez vrtnice na uravnavi nad severozahodnim robom dna Cerknškega polja.

Preglednica 51: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 76.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,37	6,56
1–0,5		grobi pesek	0,73	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,51	
0,25–0,125		droben pesek	0,33	
0,125–0,062		zelo droben pesek	4,62	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	15,65	71,23
0,031–0,016		grobi melj	21,62	
0,016–0,008		droben melj	18,77	
0,008–0,004		zelo droben melj	15,19	
< 0,004	glina	glina	22,21	22,21

Preglednica 52: Udornice v ponornem zaledju Cerknškega polja.

ime	nadmorska višina dna (m)	naplavine
Šujica	583	ne
Veliki Kamojstnik	550	da
Mali Kamojstnik	560	da
Globoki dol	555	da

5.2.2.1 Globoki dol

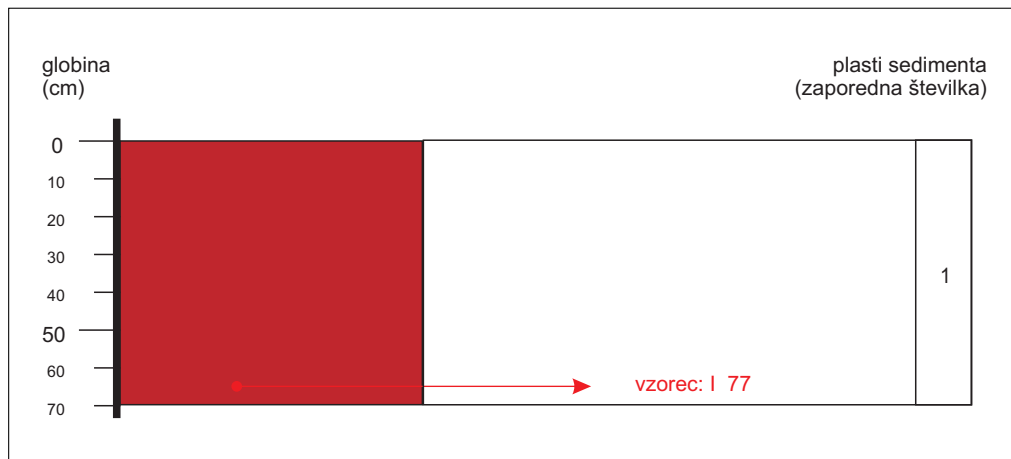
Globoki dol je 1 km zahodno od severozahodnega ponornega roba Cerknškega polja, ki se imenuje Jamski zaliv (slika 63). Dno udornice je zapolnjeno z drobnozrnatimi naplavinami do nadmorske višine 565 m. Osrednji del dna je uravnan na nadmorski višini 555 m (slika 66). Na vzhodni strani je v dnu več sufozijskih vrtač, kar kaže na aktivno spiranje gradiva v podzemlju. Gladina kraške vode se v tem delu krasi dvigne do nadmorske višine 530 do 545 m, kar je razvidno iz znanih jamskih rogov Male Karlovice v bližini udornice (Kataster jam IZRK 2014).

V osrednjem delu uravnane dna udornice sem z ročnim vrtnikom zvrtila 0,7 m globoko vrtno (oznaka GDOL na sliki 63). Kljub več poskusom, globlje vrtnje ni bilo mogoče zaradi številnih skal med ilovnatim sedimentom. V navpičnem prerezu je meljasta ilovica homogena, zato sem določila le eno plast (slika 67).

Sediment v vrtni sem vzorčila za petrološke analize (slika 67): (1) vzorec I 77 iz globine 70 cm.



Slika 66: Uravnano dno udornice Globoki dol.



Slika 67: Prerez vrtnice v dnu udornice Globoki dol.

Z rentgensko difrakcijo je bil analiziran vzorec I 77. Sediment vsebuje: 51 % kremena, 22 % muskovita/illita, 15 % klorita, 8 % K-Na-glinencev in 4 % Na-Ca-plagioklazov.

Granulometrično je bil analiziran vzorec I 77. Sediment vsebuje (preglednica 53): 75,15 % melja, 16,55 % gline in 8,3 % peska. Po amerškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.

Preglednica 53: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 77.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	8,30
1–0,5		grobi pesek	0,39	
0,5–0,25		srednje velik pesek	1,23	
0,25–0,125		droben pesek	1,42	
0,125–0,062		zelo droben pesek	5,26	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	13,95	75,15
0,031–0,016		grobi melj	20,66	
0,016–0,008		droben melj	21,61	
0,008–0,004		zelo droben melj	18,93	
< 0,004	glina	glina	16,55	16,55

5.2.3 SLEDI PALEOPOPLAV V JAMAH

Analiza morfoloških značilnosti jam na obrobju Cerkniškega polja je pokazala, da višje na pobočjih obrobja polja, zlasti na Javornikih, prevladujejo vadozna brezna. Bližje dnu polja je čedalje več vodoravnih jamskih rovov. V recentnih hidroloških razmerah so hidrološko aktivne le najnižje jame. Izvirne jame so pogosto v freatični hidrogrfski coni, ponorne jame pa v epifreatični hidrogrfski coni. Nad najvišjo gladino kraške vode je več vodoravnih rovov freatičnega ali epifreatičnega nastanka, ki kažejo na hidrološke razmere v preteklosti. Drobnnozrnati sedimenti so v jamah na obrobju Cerkniškega polja redki. Za podrobnejše analize sedimentov je bila primerna le Jama pod cesto (sliki 63 in 68).

5.2.3.1 Jama pod cesto

Podrobno sem analizirala sedimente v Jami pod cesto, ki je v ponornem zaledju severozahodnega dela Cerkniškega polja (slika 63). Vhod v jamo je na nadmorski višini 587 m, kar je okoli 40 m nad današnjim dnom Cerkniškega polja. Jama poteka v smeri od jugovzhoda proti severozahodu. Rov je povprečno okoli 5 m širok in 5 m visok. Dno rova je v prvem delu prekrito s podornimi bloki in sigo ter se postopno spušča v notranji del jame, kjer je del uravnave v drobnnozrnatih naplavinah na nadmorski višini 575 m. V posameznih delih je jama močno zasigana. Rov se konča s sigovo kopo. V končnem delu rova sta v dnu aktivni 4 in 7 m globoki sufozijski kotanji, ki kažeta na aktivno spiranje gradiva izpod jamskega rova.

V pobočjih sufozijskih kotanj so razkriti prerezi drobnnozrnatih naplavin. Ostanke naplavin so tudi v razpokah jamskih sten in stropa. Morfološka analiza primarnih jamskih oblik je pokazala, da je bil strop paragenetsko preoblikovan, kar pomeni, da je bil rov v nekem obdobju povsem poplavljen in zapolnjen z naplavinami. Sledi ilovnatih sedimentov so ulete tudi med plastmi sige v stalaktitih.

Podrobneje sem obravnavala prerez (oznaka JPC 1 na sliki 63) zgornjega dela sedimentov (slika 68) na jugovzhodnem pobočju plitvejšje sufozijske kotanje. V navpičnem prerezu sem po barvi in na otip ločila tri plasti sedimentov:

- (1) globina 0 do 10 cm: rjava ilovica, ki je zelo drobno laminirana;
- (2) globina 10 do 11 cm: siga, drobno plastovita in zelo krušljiva;
- (3) globina 11 do 420 cm: rdeča ilovica, ki je laminirana. Celotna plast je homogena, na posameznih delih prereza je odložen sigov poprh.

Za primerjavo sem vzorčila meljasto ilovico med plastmi stalaktita (slika 69), ki je nad prej omenjenim prerezom sedimentov (oznaka JPC 2 na sliki 63): meljasta ilovica med zunanjim obročem stalaktita, ki je 1 cm debel in srednjim obročem, ki je 1,5 cm debel, je rjavkasta in drobnnozrnata.

Za petrološke analize sem vzorčila sedimente iz obeh plasti naplavin v prerezu JPC 1: (1) vzorec I 82 iz globine 10 cm, (3) vzorec I 83 iz globine 100 cm ter sediment iz stalaktita JPC 2: vzorec I 90 med sloji sige v stalaktitu.

Z rentgensko difrakcijo so bili analizirani vzorci I 82, I 83 in I 90. Sediment v vzorcu I 82 vsebuje: 46 % kremenca, 23 % muskovita/illita, 15 % klorita, 7 % K-Na-glinencev, 6 % kaolinita in 3 % kalcita. Sediment v vzorcu I 83 vsebuje: 58 % kremenca, 16 % muskovita/illita, 16 % klorita, 5 % Na-Ca-plagioklazov in 5 % kalcita. Sediment v vzorcu I 90 vsebuje: 67,6 % kremenca, 9,3 % muskovita/illita, 8,4 % Na-Ca-plagioklazov, 8,1 % kaolinita in 6,6 % K-Na-glinencev.

Preglednica 54: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 82.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	0,00
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	0,00	
0,125–0,062		zelo droben pesek	0,00	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	1,92	81,54
0,031–0,016		grobi melj	16,47	
0,016–0,008		droben melj	33,84	
0,008–0,004		zelo droben melj	29,31	
< 0,004	glina	glina	18,46	18,46

MATEJA FERK



Slika 68: Zgornji del prereza JPC 1 v dnu Jame pod cesto.

MATEJA FERK



Slika 69: Sledi meljaste ilovice med plastmi stalaktita v Jami pod cesto.

Preglednica 55: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 83.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	2,39
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,18	
0,25–0,125		droben pesek	1,16	
0,125–0,062		zelo droben pesek	1,05	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	3,04	54,55
0,031–0,016		grobi melj	8,82	
0,016–0,008		droben melj	18,91	
0,008–0,004		zelo droben melj	23,78	
< 0,004	glina	glina	43,06	43,06

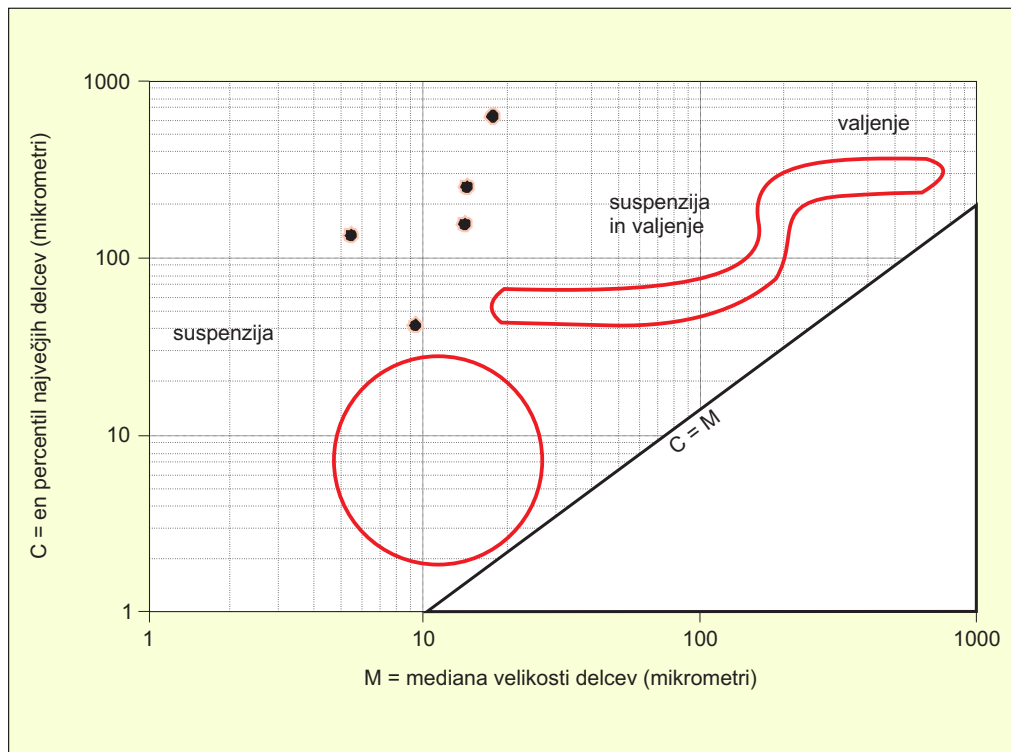
Preglednica 56: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 90.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	10,83
1–0,5		grobi pesek	0,47	
0,5–0,25		srednje velik pesek	1,96	
0,25–0,125		droben pesek	2,25	
0,125–0,062		zelo droben pesek	6,15	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	16,89	76,82
0,031–0,016		grobi melj	24,33	
0,016–0,008		droben melj	21,03	
0,008–0,004		zelo droben melj	14,57	
< 0,004	glina	glina	12,35	12,35

Granulometrično so bili analizirani vzorci I 82, I 83 in I 90. Sediment v vzorcu I 82 vsebuje (preglednica 54): 81,54 % melja in 18,46 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico. Sediment v vzorcu I 83 vsebuje (preglednica 55): 54,55 % melja, 43,06 % gline in 2,39 % peska. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto glino. Sediment v vzorcu I 90 vsebuje (preglednica 56): 76,82 % melja, 12,35 % gline in 10,83 % peska. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.

5.2.4 SKUPNE ZNAČILNOSTI SLEDI PALEOPOPLAV NA CERKNIŠKEM POLJU

Z morfološko analizo Cerkniškega polja sem na kraškem površju zaledja ponorov v Jamskem zalivu opredelila zaplato drobnnozrnatih sedimentov. Sedimenti so na nadmorski višini 570 m, na pobočjih pa segajo do višine 575 m. V recentnih hidroloških razmerah seže najvišja gladina kraške vode v ponornem delu največ do nadmorske višine 553 m.



Slika 70: Grafičen prikaz rezultatov granulometričnih analiz sedimentov s površja, udornic in jame ob Cerkniškem polju.

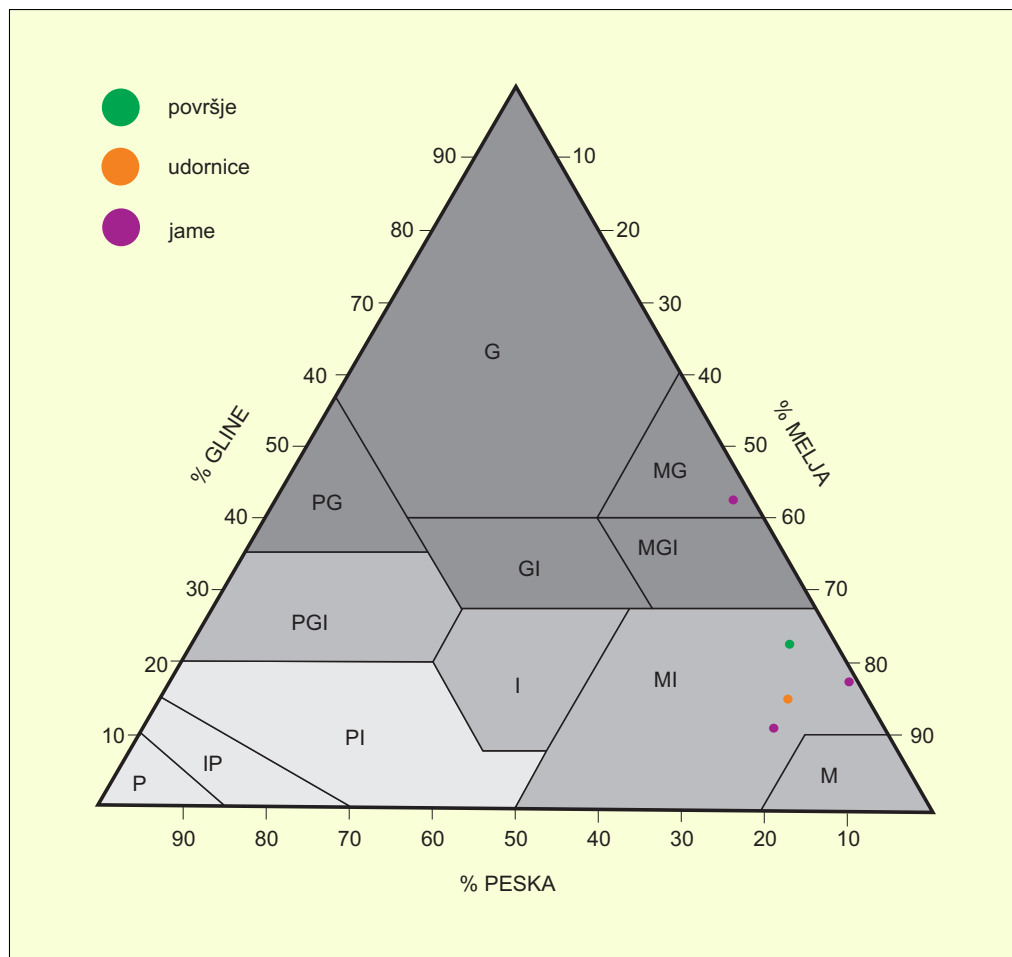
Drobnozrnate sedimente nad najvišjo recentno kraško vodo sem našla v udornicah in jamah ponornega zaledja Cerkniškega polja. Z drobnaznatimi sedimenti uravnana dna udornic so na nadmorskih višinah med 550 in 560 m. Drobnozrnati sedimenti v Jami pod cesto so na nadmorski višini do 575 m.

Petrološke analize sedimentov s površja, dna udornic in jam so pokazale, da gre za alohtone sedimente, ki niso nastali *in situ*, ampak so se odlagali iz poplavalne vode (slike 70, 71 in 72), s čimer sem dokazala, da gre za sledi paleopoplav.

5.2.5 MODELIRANJE PALEOPOPLAV

S sintezo rezultatov morfoloških, morfometričnih in petrografskih analiz sem opredelila reliefne oblike, ki so nastale s paleopoplavami. Podatke sem uporabila za računanje hidrometričnih lastnosti paleopoplav ter izračune prostornine in površine, ki bi jo imele paleopoplave na Cerkniškem polju. Z uporabo geografskih informacijskih sistemov sem na preučevanem območju modelirala obseg in višino paleopoplav.

Poplave do nadmorske višine 575 m bi imele prostornino okoli 1330 milijonov m³. Poplavljen površina bi bila 58,1 km². Ob najvišjih poplavalah v današnjih hidroloških razmerah, ki sežejo do nadmorske višine 553 m, je prostornina poplavalne vode okoli 291 milijonov m³, kar je 4,6-krat manj v primerjavi s poplavlami do nadmorske višine 575 m. V današnjih hidroloških razmerah je ob najvišjih poplavalah

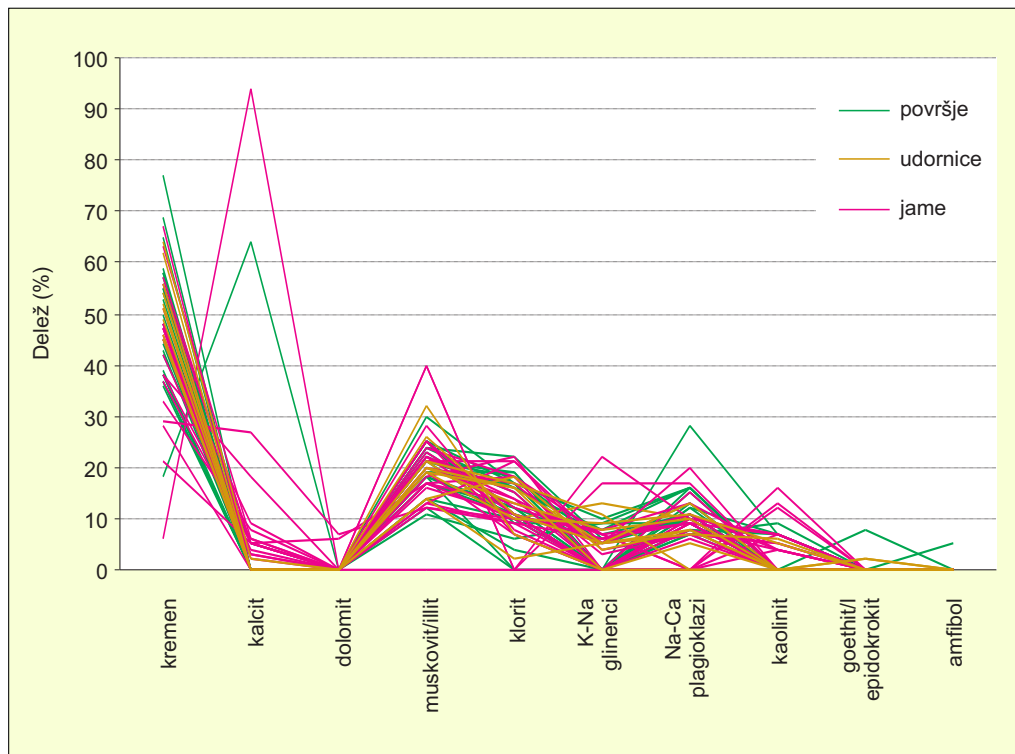


Slika 71: Primerjava granulometričnih značilnosti sedimentov na površju, v udornicah in jamah ponornega zaledja Cerkniškega polja.

poplavljenega 34,3 km² površja. Površina poplavljenega površja ob poplavah do nadmorske višine 575 m bi bila približno 1,7-krat večja od poplavljenega površja v recentnih razmerah (slika 73).

Preglednica 57: Hidrometrične lastnosti poplav na različnih nadmorskih višinah na Cerkniškem polju.

nadmorska višina poplav (m)	prostornina (m ³)	površina jezera (km ²)	površina poplavljenega ozemlja (km ²)
550	198.925.857	27,06	27,14
553	291.422.934	34,21	34,31
570	1.054.746.084	52,28	52,53
575	1.330.135.073	57,77	58,07



Slika 72: Rezultati mineraloških analiz sedimentov na Cerknjskem polju.

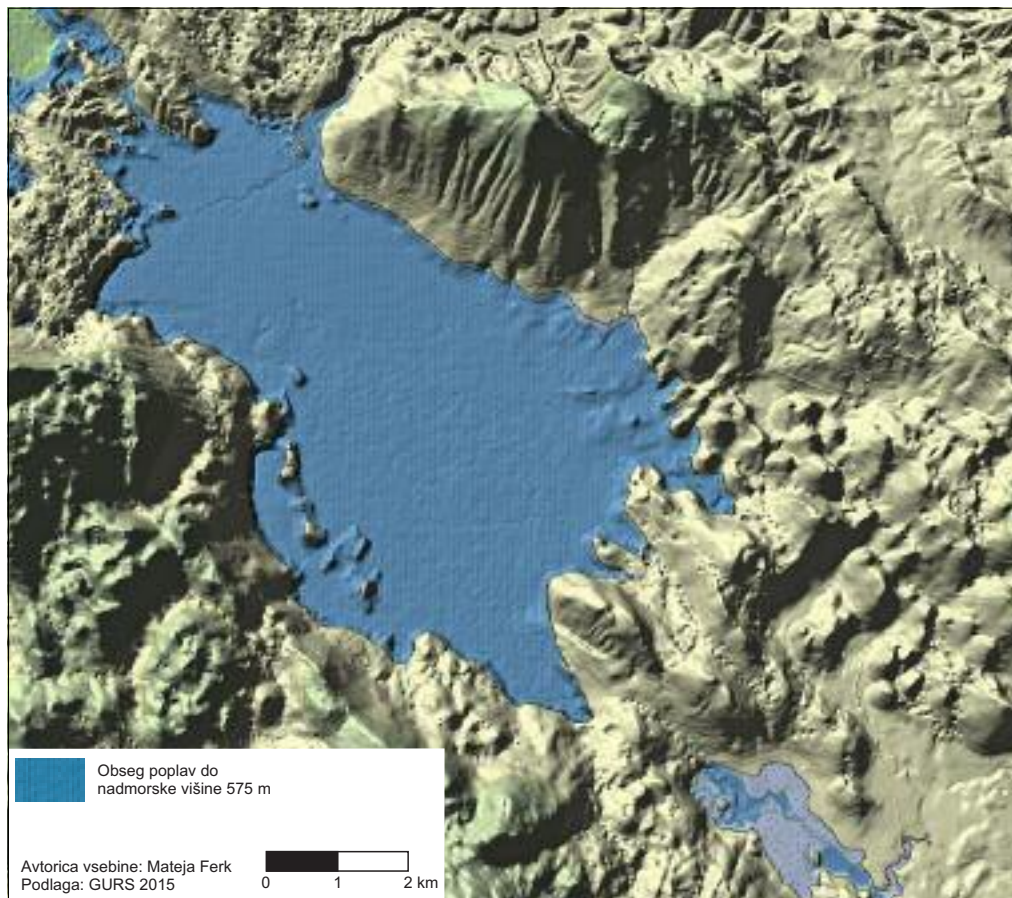
5.3 PLANINSKO POLJE

5.3.1 SLEDI PALEOPOPLAV NA POVRŠJU

Na Planinskem polju je na površju malo sledi paleopoplav, ki bi segale višje od poplav v recentnih hidroloških razmerah. Našla sem jih v zaledju izvirnega območja na jugozahodni strani polja (slika 74). Podrobneje sem obravnavala zatrepno dolino Malni. Njeno dno zapolnjujejo drobnozrnate naplavine nad višino najvišjih znanih recentnih poplav (slika 75).

Zatrejna dolina Malni (slika 75) je južno od naselja Planina na jugozahodni strani Planinskega polja (slika 74). Usmerjena je od severa proti jugu. Dolga je okoli 900 m in široka od 50 do 100 m. V zgornjih delih pobočij so stene, pod njimi so melišča. Izviri so v današnjih hidroloških razmerah v severnem delu zatrepne doline, na nadmorski višini 448 m. Ob najvišjih vodah so aktivni tudi prelivni izviri na nadmorski višini 460 m. Dno zatrepne doline se zvišuje proti jugu in je v srednjem delu na nadmorski višini 480 m. Zapolnjeno je z drobnozrnatimi sedimenti, ki ob vznožju pobočij na južni strani do nadmorske višine 495 m prekrivajo melišča. Z meritvami električne upornosti tal so Stepišnik in sodelavci (2012) izmerili, da globina sedimenta presega 22 m.

Ker voda ob izdatnih padavinah ne more takoj pronicati skozi drobnozrnate sedimente, se v dnu zatrepne doline občasno pojavi površinski tok, ki je oblikoval erozijski jarek. Za vzorčenje sem izbrala pobočje, kjer so sedimenti še ohranjeni. V zahodnem pobočju Malnov sem na nadmorski višini 490 m z ročnim vrtnikom zvrtila 1 m globoko vrtino (oznaka MAL na sliki 74), pri čemer sem zadela na grušč, ki je med drobnejšimi naplavinami. Kljub več poskusom, globlje vrtnje ni uspelo.



Slika 73: Obseg paleopoplav do nadmorske višine 575 m na Cerkljskem polju.

V prerezu vrtnice sem po barvi in na otip ločila dve plasti sedimentov (slika 76):

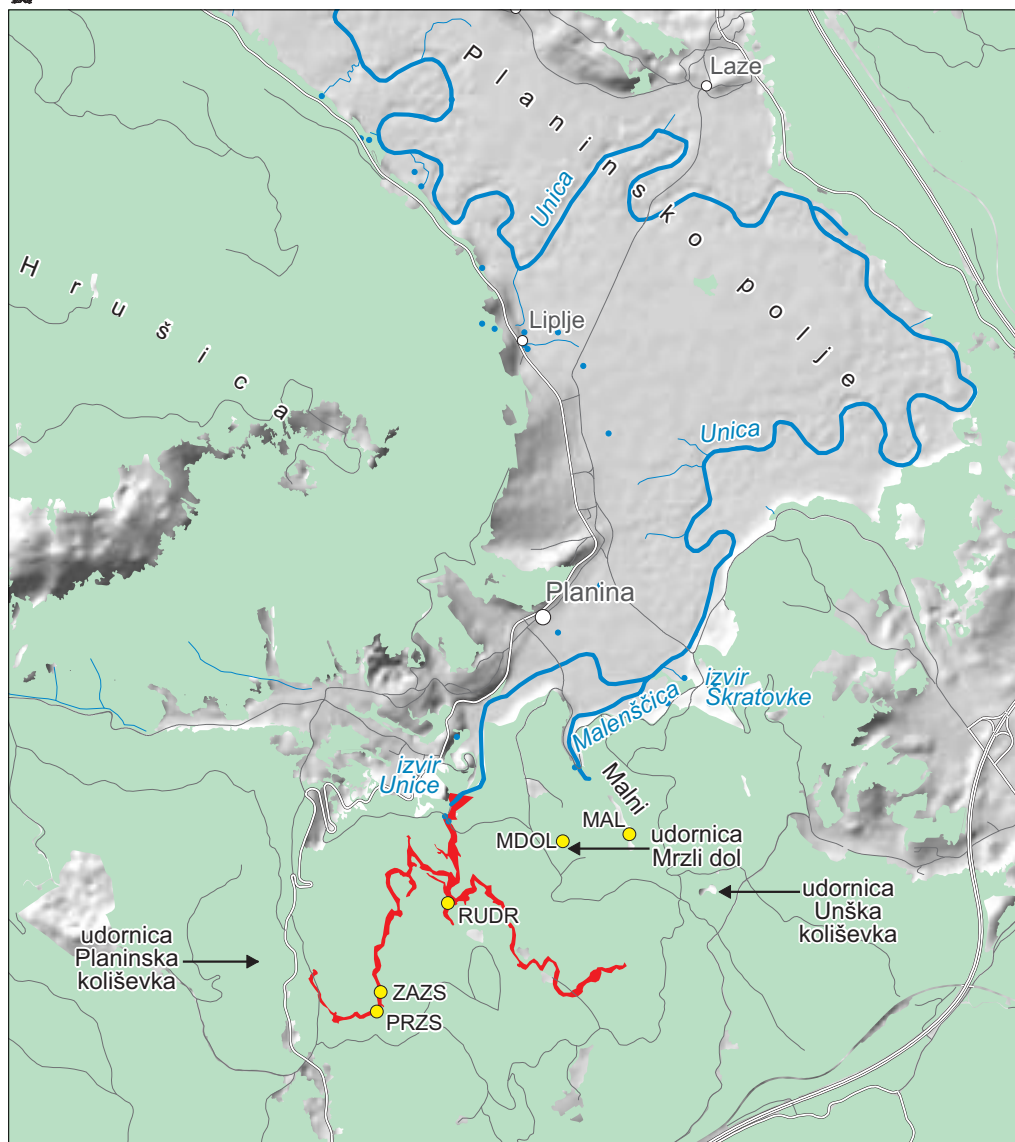
- (1) globina 0 do 50 cm: rjava do rdeča ilovica;
- (2) globina 50 do 100 cm: rdeča do rjava meljasta ilovica, ki je laminirana.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz spodnje plasti (slika 76): (2) vzorec I 81 iz globine 100 cm.

Z rentgensko difrakcijo je bil analiziran vzorec I 81. Sediment vsebuje: 47 % kremena, 24 % muskovita/illita, 16 % K-Na-glinencev in 13 % klorita.

Granulometrično je bil analiziran vzorec I 81. Sediment vsebuje (preglednica 58): 65,48 % melja in 22,82 % gline. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.

Slika 74: Območja vzorčenja drobnozrnatih sedimentov ob Planinskem polju. ►



Hidrološke in speleološke značilnosti Planinskega polja

- izvir
- površinski vodotok
- ← udornica
- območje vzorčenja
- tloris Planinske jame

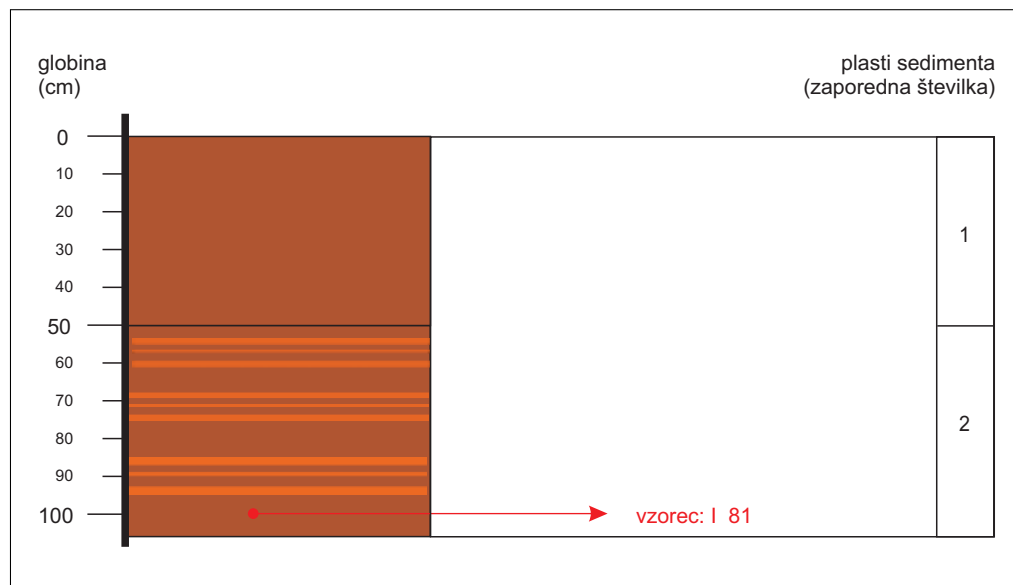
Avtorica vsebine: Mateja Ferk
 Avtorica zemljevida: Manca Volk Bahun
 Vir: Kataster jam IZRK 2014
 Podlaga: GURS 2015, ARSO 2015.
 © Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

0 0,38 0,76 1,52
 km



MATEJA FERK

Slika 75: Dno zatrepne doline Malni je prekrito z drobnnozrnatimi sedimenti.



Slika 76: Prerez vrtnice v zatrepni dolini Malni.

Preglednica 58: Deleži frakcij drobnopzrnatega gradiva v vzorcu I 81.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	0,00	11,70
1–0,5		grobi pesek	0,00	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,00	
0,25–0,125		droben pesek	5,20	
0,125–0,062		zelo droben pesek	6,50	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	10,44	65,48
0,031–0,016		grobi melj	16,16	
0,016–0,008		droben melj	19,77	
0,008–0,004		zelo droben melj	19,11	
<0,004	glina	glina	22,82	22,82

Preglednica 59: Udornice v zaledju izvirov na Planinskem polju.

ime	nadmorska višina dna (m)	prisotnost naplavin
Unška koliševka	500	ne
Mrzli dol	495	da

5.3.2 SLEDI PALEOPOPLAV V UDORNICAH

Udornice ob Planinskem polju so vzhodno in severno od polja na Logaškem ravniku; južno sta le Unška koliševka in Mrzli dol (preglednica 59). Podrobneje sem pregledala obe udornici, ki sta na območju med Planinskim poljem in njegovim hidrološkim zaledjem v smeri proti Cerkniškemu polju in Pivški kotlini (slika 74). Drobnopzrnate sedimente v dnu sem našla le v udornici Mrzli dol, ki sem jo podrobneje morfografsko in morfometrično analizirala.

5.3.2.1 Mrzli dol

Udornica Mrzli dol je 800 m južno od Planinskega polja med zatrepno dolino Malni in zatrepno dolino pred Planinsko jamo ter Rakovim rokavom Planinske jame v podzemlju (slika 74). Dno udornice je na nadmorski višini 495 m in je zapolnjeno z drobnopzrnatimi naplavinami (slika 77). V južnem delu je dno za približno 2 m pogreznjeno, kar kaže na to, da je v nekem obdobju v preteklosti verjetno prišlo do spiranja gradiva v podzemlju pod udornico. Ker v dnu udornice ni aktivnih sufozijskih kotanj, predvidevam, da proces odnašanja gradiva izpod udornice v podzemlju trenutno ni zelo intenziven. Z meritvami električne upornosti tal je Stepišnik (2010) izmeril, da je globina sedimenta v dnu okoli 5 m.

V severnem delu uravnanega dna udornice Mrzli dol sem z ročnim vrtalnikom zvrtila 3 m globoko vrtno (oznaka MDOL na sliki 74), pri tem pa nisem dosegla skalne podlage. V navpičnem prerezu vrtnine sem po barvi in na otip ločila pet plasti sedimentov (slika 78):

- (1) globina 0 do 40 cm: svetlo rjava ilovica;
- (2) globina 40 do 160 cm: rdečkasta meljasta ilovica, ki je laminirana;
- (3) globina 160 do 170 cm: trda, bela, kristalna plast sedimenta;
- (4) globina 170 do 260 cm: rdeča ilovica z oker progami, ki je laminirana;
- (5) globina 260 do 300 cm: rdeča ilovica s trdimi skupki premera do 2 mm.

Za petrološke analize sem vzorčila gradivo iz treh plasti (slika 78): (2) vzorec I 78 iz globine 100 cm, (3) vzorec I 79 iz globine 170 cm, (5) vzorec I 80 iz globine 270 cm.

Z rentgensko difrakcijo so bili analizirani vzorci I 78, I 79 in I 80. Sediment v vzorcu I 78 vsebuje: 66 % kremena, 18 % muskovita/illita, 12 % klorita in 4 % K-Na-glinencev. Sediment v vzorcu I 79 vsebuje: 94 % kremena in 6 % Na-Ca-plagioklazov. Sediment v vzorcu I 80 vsebuje: 64 % kremena, 11 % muskovita/illita, 9 % K-Na-glinencev ter 8 % klorita in Na-Ca-plagioklazov.

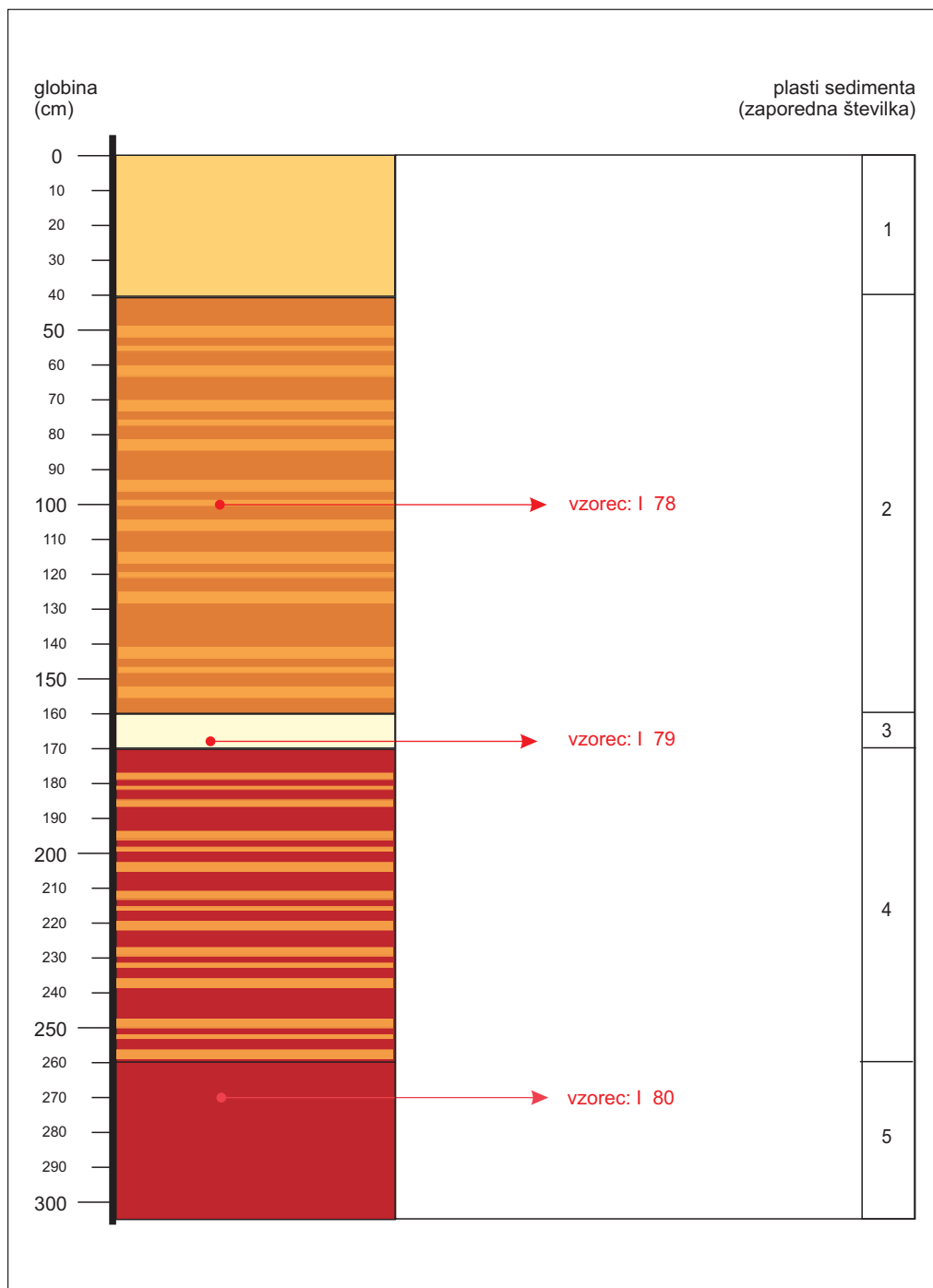
Granulometrično je bil analiziran vzorec I 78. Sediment vsebuje (preglednica 60): 68,24 % melja, 22,72 glin in 9,04 % peska. Po ameriškem teksturnem trikotniku ga uvrščamo v meljasto ilovico.

Preglednica 60: Deleži frakcij drobnozrnatega gradiva v vzorcu I 78.

velikost zrn (mm)	velikostne skupine		delež zrn (%)	
	osnovne	podrobne		
2–1	pesek	zelo grobi pesek	1,54	9,04
1–0,5		grobi pesek	1,92	
0,5–0,25		srednje velik pesek	0,73	
0,25–0,125		droben pesek	1,25	
0,125–0,062		zelo droben pesek	3,60	
0,062–0,031	melj	zelo grobi melj	10,38	68,24
0,031–0,016		grobi melj	18,50	
0,016–0,008		droben melj	20,91	
0,008–0,004		zelo droben melj	18,45	
<0,004	glina	glina	22,72	22,72



Slika 77: Uravnano dno udornice Mrzli dol.



Slika 78: Prerez vrtnice v dnu udornice Mrzli dol.

5.3.3 SLEDI PALEOPOPLAV V JAMAH

Na obrobju Planinskega polja so številne jame z vodoravnimi jamskimi rovi, ki so nastale v freatični ali epifreatični coni. V recentnih hidroloških razmerah so hidrološko aktivni najnižji jamski rovi in delujejo kot pritočne ali odtočne jame. Več jam z vodoravnimi rovi je nad najvišjo recentno višino kraške vode. Te prevladujejo v severovzhodnem ponornem zaledju Planinskega polja. Najdaljši jamski sistem z višjimi hidrološko neaktivnimi horizontalnimi rovi je Planinska jama na jugozahodni strani polja, ki sem jo podrobneje preučila (slika 74).

5.3.3.1 Planinska jama

Vhod v Planinsko jamo (slika 74) je južno od naselja Planina na koncu okoli 500 m dolge zatrepne doline. Iz jame izvira Unica na nadmorski višini 453 m. Jama poteka sprva od severa proti jugu, po 600 m pa se razcepi na Pivški rokav, ki je usmerjen proti jugozahodu, in Rakov rokav, ki je usmerjen proti jugovzhodu. Glavni pretočni rovi so v povprečju več kot 10 m široki in visoki, naplavine v glavnem niso ohranjene, ker so rovi sprani. Večje količine naplavin so ohranjene v višjih stranskih rovih, ki niso hidrološko aktivni. Poplavni sedimenti, ki prekrivajo vse ostale naplavine, segajo do nadmorske višine 495 m. Te naplavine so v preteklosti že preučevali Gospodarič (1976) ter Stepišnik s sodelavci (2012). V okviru te raziskave sem podrobneje obravnavala naplavine v prerezih PRZS pred Zadnjim stebrom in ZAZS za Zadnjim stebrom v končnem delu Pivškega rokava in prerezu RUDR v Rudolfovem rovu, ki je stranski rov Rakovega rokava Planinske jame (slika 74).

Pivški rokav se na jugozahodni strani zaključuje s sifonom na nadmorski višini 468 m, iz katerega priteka voda iz Pivške kotline. Proti severozahodu se odcepi stranski rov Paradiž, ki je bil povsem zatrtan s podornim gruščem Planinske koliševke (Gospodarič in Pavlovec 1974), ki je v zaledju rova. V recentnih hidroloških razmerah se v njem zbira pronicujoča voda, ki postopno spira grušč iz rova v Pivški rokav. Grušč in druge drobnnozrnatne naplavine so bile odložene po vsem Pivškem rokavu do različnih nadmorskih višin.

V kratkem stranskem rovu pred Zadnjim stebrom je razkrit 7 m globok prerez naplavin (slika 79), ki segajo do nadmorske višine 480 m in jih kraška voda ne doseže več. V prerezu sem po barvi in na otip določila eno homogeno plast sedimentov: globina 0 do 700 cm: svetlo rjava meljasta ilovica, ki je drobno laminirana.

Sediment v prerezu sem vzorčila za petrološke analize: (1) vzorec I 88 iz globine 500 cm.

Za Zadnjim stebrom, kjer se Pivški rokav malo razširi, je ob desnem bregu Pivke na vzhodni strani rova okoli 20 m visok nasip naplavin, ki seže do nadmorske višine 495 m (slika 80). Spodnja polovica je grušč, v zgornji polovici so odloženi drobnnozrnatni sedimenti, ki jih ponekod prekriva siga. V pobočju naplavin sem od vrha navzdol odkopala 1,5 m globok prerez, kjer sem ločila dve plasti sedimentov (slika 80):

- (1) globina 0 do 5 cm: siga, kristalna, bela;
- (2) globina 5 do 150 cm: temno rjava, meljasta do peščena ilovica, ki je laminirana.

Drobnnozrnatni sediment sem vzorčila za petrološke analize: (2) vzorec I 89 iz globine 130 cm.

Z rentgensko difrakcijo sta bila analizirana vzorca I 88 in I 89. Sediment v vzorcu I 88 vsebuje: 58 % kremena, 18 % muskovita/illita, 12 % klorita in 12 % Na-Ca-plagioklazov. Sediment v vzorcu I 89 vsebuje: 73 % kremena, 12 % muskovita/illita, 8 % Na-Ca-plagioklazov in 7 % klorita.

Podrobneje sem pregledala Rakov rokav Planinske jame, ki je nižji in manj razčlenjen od Pivškega rokava. V rovu je več jezer, ki so nastala za akumulacijami gruščja in drobnejših naplavin, sicer pa je rov spran z malo naplavin in malo sige. Največ naplavin je v stranskih rovih Katernov in Rudolfov rov, ki sta južno od sotočja Pivke in Raka. Katernov rov je na nadmorski višini 490 do 500 m in je do nadmorske višine 495 m zapolnjen z drobnnozrnatimi sedimenti. Rudolfov rov je na nadmorski višini 470 m, ostanki naplavin pa so ohranjeni do nadmorske višine 475 m. V njem se zbira pronicujoča voda,

MATEJA FERK



Slika 79: Drobnozrnati sedimenti pred Zadnjim stebrom v Planinski jami.

MATEJA FERK



Slika 80: Drobnozrnati sedimenti za Zadnjim stebrom v Planinski jami.



MATEJA FERK

Slika 81: Pisana ilovica iz Rudolfovega rova Planinske jame.

ki naplavine spira iz rova. Na začetku rova na severni strani je ob zahodni steni razkrit 1,5 m globok prerez skozi naplavine, ki sem jih podrobneje analizirala. V prerezu sem po barvni in na otip ločila tri plasti sedimentov:

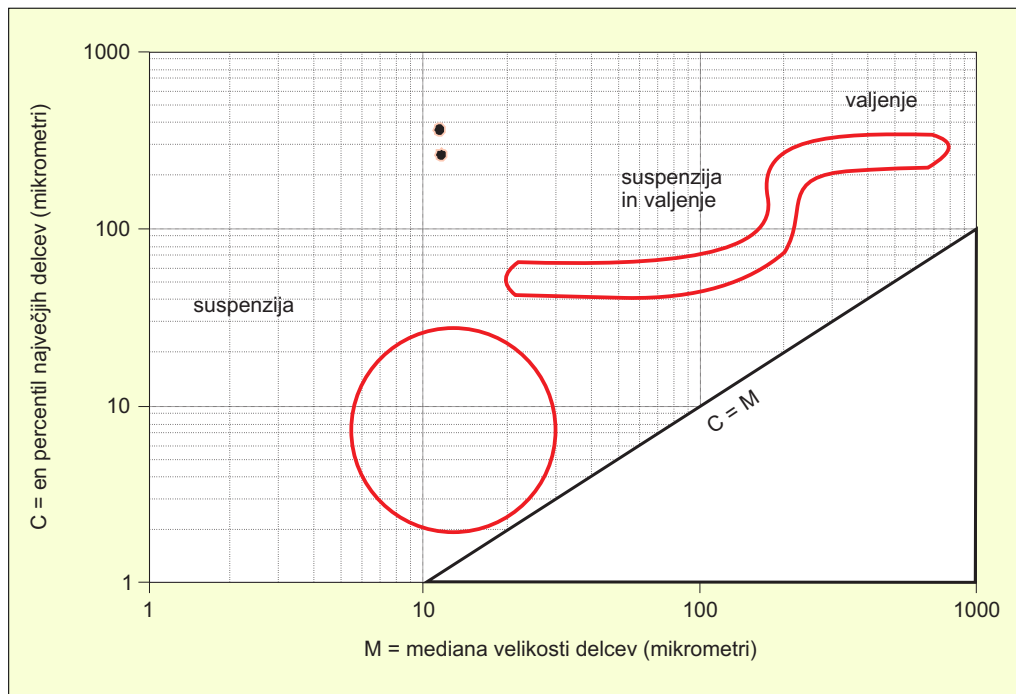
- (1) globina 0 do 40 cm: svetlo rjava ilovica, ki je rahlo laminirana in mastna na otip;
- (2) globina 40 do 60 cm: pisana ilovica, ki je laminirana; lamine so različnih barv, od vijolične, rdeče, oranžne do rjave in rumene (slika 81);
- (3) globina 60 do 150 cm: svetlo rjava peščena ilovica, ki je rahlo laminirana.

Za petrološke analize sem vzorčila sediment iz treh plasti: (1) vzorec I 57 iz globine 30 cm, (2) vzorec I 58 iz globine 50 cm, (3) vzorec I 59 iz globine 120 cm.

Z rentgensko difrakcijo so bili analizirani vzorci I 57, I 58 in I 59. Sediment v vzorcu I 57 vsebuje: 70 % kremena, 15 % muskovita/illita, 10 % klorita in 5 % Na-Ca-plagioklazov. Sediment v vzorcu I 58 vsebuje: 68 % kremena, 13 % Na-Ca-plagioklazov, 7 % muskovita/illita, 7 % K-Na-glinencev in 5 % klorita. Sediment v vzorcu I 59 vsebuje: 72 % kremena, 12 % muskovita/illita, 9 % klorita in 7 % Na-Ca-plagioklazov.

5.3.4 SKUPNE ZNAČILNOSTI SLEDI PALEOPOPLAV NA PLANINSKEM POLJU

Planinsko polje sem morfografsko analizirala in našla drobnozrnate sedimente na površju zatrepne doline Malni v izvirnem zaledju polja. Sedimenti so na nadmorski višini 480 m; v pobočjih segajo do nadmorske višine 495 m. V recentnih hidroloških razmerah je območje nad najvišjo višino kraške vode, ki sega na območju Malnov okoli 460 m visoko.



Slika 82: Grafičen prikaz rezultatov granulometričnih analiz sedimenta iz zatrepne doline Malni in udornice Mrzli dol.

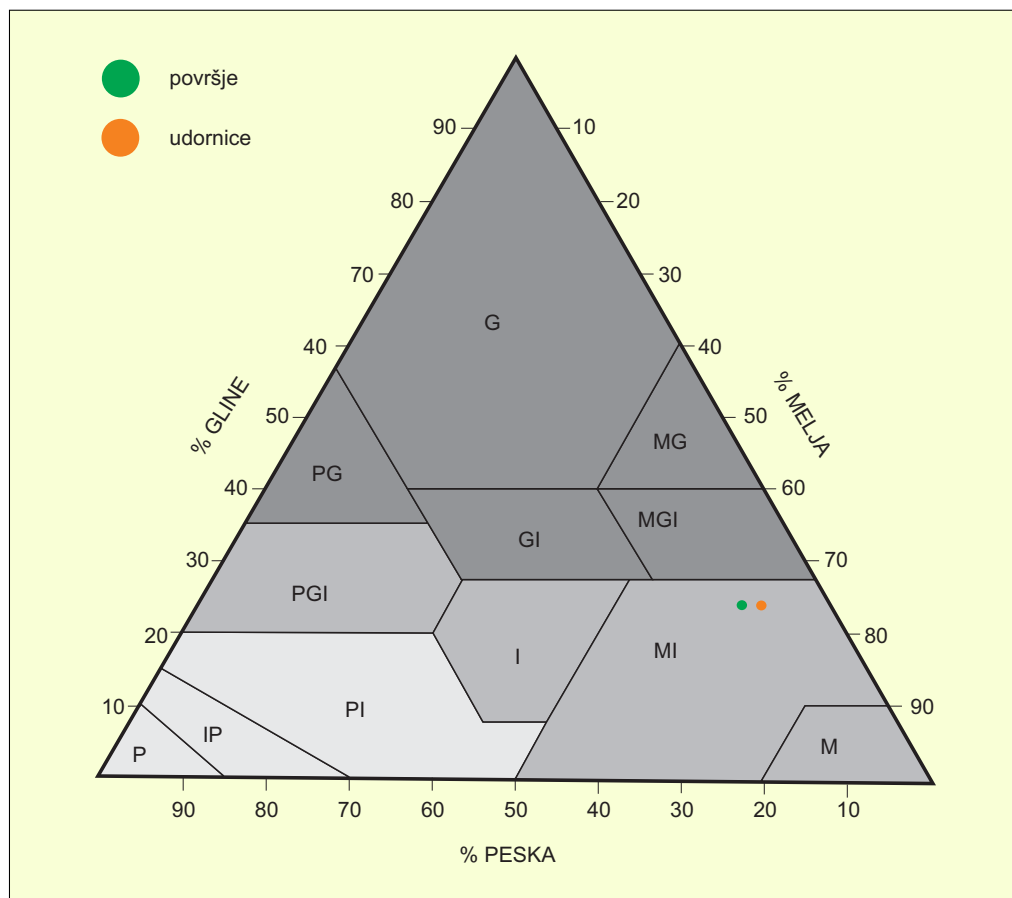
Drobnozrnati sedimenti nad najvišjo višino znane recentne kraške vode so tudi v udornicah in jamah v zaledju izvirnega roba Planinskega polja. Udornica Mrzli dol ima z drobnozrnatimi sedimenti zapolnjeno dno, ki je na nadmorski višini 495 m. Največ drobnozrnatih sedimentov v podzemlju je dostopnih v najvišjih stranskih rovih Planinske jame, kjer so odloženi do nadmorske višine okoli 495 m.

Petrološke analize sedimentov s površja, udornic in jam so pokazale, da gre za alohtone sedimente, ki niso nastali *in situ*, ampak so bili prineseni in odloženi iz vode (slike 82, 83 in 84), s čimer sem dokazala, da gre za sledi paleopoplav.

5.3.5 MODELIRANJE PALEOPOPLAV

S sintezo rezultatov morfoloških, morfometričnih in petrografskih analiz sem opredelila reliefne oblike, ki so nastale s paleopoplavami. Podatke sem uporabila za računanje hidrometričnih lastnosti paleopoplav na Planinskem polju ter izračune prostornine in površine, ki naj bi jo imele paleopoplave na polju. Z uporabo geografskih informacijskih sistemov sem na preučevanem območju modelirala obseg in višino paleopoplav.

Poplave do nadmorske višine 495 m bi imele prostornino okoli 602 milijonov m³. Ob poplavah do te nadmorske višine bi bilo poplavljenega okoli 17 km² površja. Poplave do nadmorske višine 480 m bi imele prostornino 382 milijonov m³, poplavljenega pa bi bilo okoli 13 km² površja. Ob najvišjih poplavah v današnjih hidroloških razmerah, ki sežejo do nadmorske višine 460 m, je prostornina poplavne vode okoli 144 milijonov m³, kar je 4,2-krat manj v primerjavi s poplavami do nadmorske višine 495 m in 2,7-krat manj v primerjavi s poplavami do nadmorske višine 480 m. V današnjih hidroloških razmerah je ob najvišjih poplavah poplavljenega okoli 11 km² površja. Površina poplavljenega površja ob poplavah



Slika 83: Primerjava granulometričnih značilnosti sedimenta iz zatrepne doline Malni in udornice Mrzli dol.

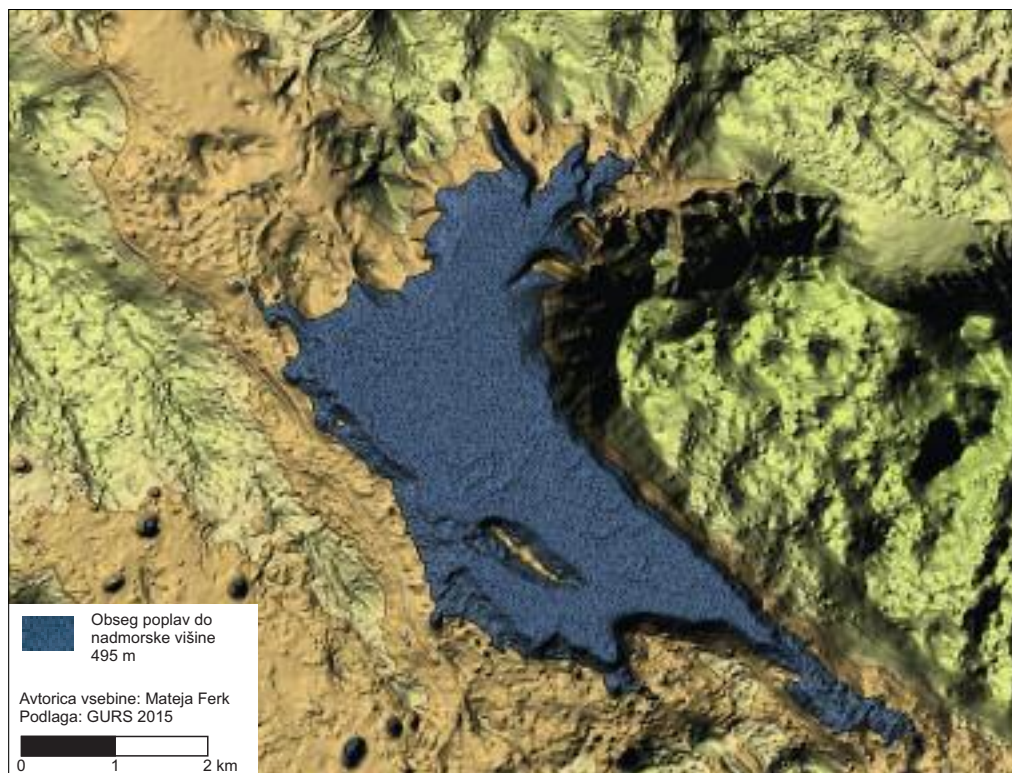
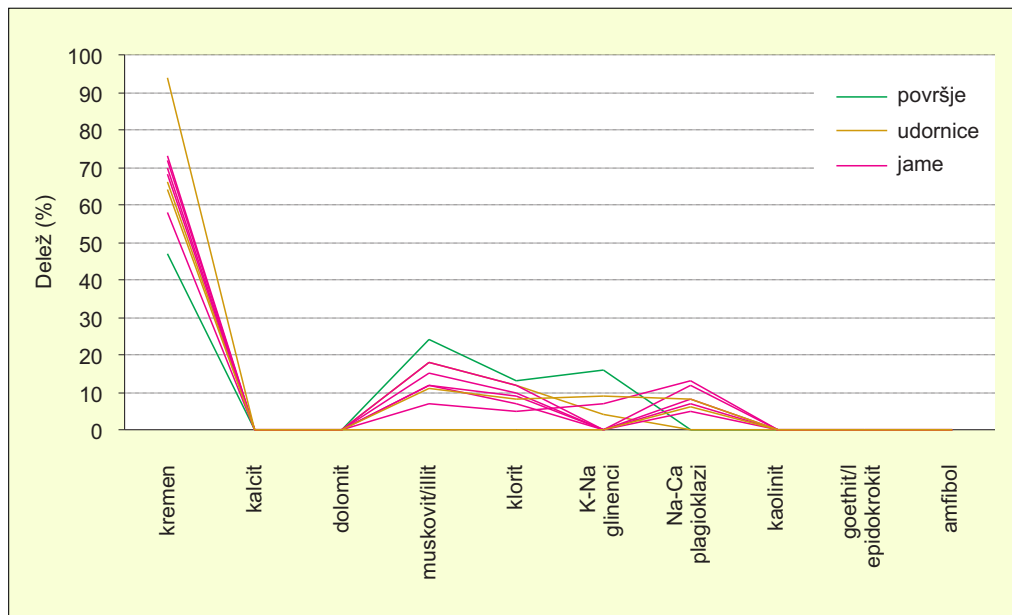
do nadmorske višine 495 m bi bila približno 1,5-krat večja od poplavljenega površja v recentnih razmerah (slika 85), ob poplavih do nadmorske višine 480 pa 1,2-krat večja.

Preglednica 61: Hidrometrične lastnosti poplav na različnih nadmorskih višinah na Planinskem polju.

nadmorska višina poplav (m)	prostornina (m ³)	površina jezera (km ²)	površina poplavljenega ozemlja (km ²)
450	39.576.133	9,83	9,84
460	143.837.089	10,91	10,97
480	381.789.471	13,05	13,22
495	602.062.337	16,87	17,14

Slika 84: Rezultati mineraloških analiz sedimentov na Planinskem polju. ► zgoraj

Slika 85: Obseg paleopoplav do nadmorske višine 495 m na Planinskem polju. ► spodaj



6 RAZLAGA REZULTATOV

Območje, kjer sem preučevala sledi višjih poplav v preteklosti, je obsegalo Pivško kotlino, Cerkiško in Planinsko kraško polje ter kraško površje in jame med njimi (poglavja 3, 4 in 5). Na območju sem z morfološko analizo (poglavje 2.1) prepoznala površinske in podzemne reliefne oblike, značilne za paleopoplave. Paleopoplave dokazujejo predvsem najdbe drobnnozrnatih sedimentov z vodoravno stratigrafijo, ki so na površju ohranjeni kot akumulacijske terase (poglavje 2.2), v jamah pa drobnnozrnati laminirani sedimenti zapolnjujejo dele jamskih rogov (poglavje 2.3). Sedimenti so na višjih nadmorskih višinah, kot jih dosežejo najvišje poplave v današnjih hidroloških razmerah. Tovrstni sedimenti in z njimi povezane reliefne oblike so sledi višjih poplav v preteklosti oziroma sledi paleopoplav (Kochel in Baker 1982; Baker 1987; House s sodelavci 2001 v: Baker 2003).

Z morfometrično analizo (poglavje 2.4) preučevanih oblik sem pridobila podatke o njihovih metričnih lastnostih, na podlagi česar sem na vseh preučevanih območjih, tako na površju kot v jamah, ugotovila značilne nadmorske višine geomorfoloških sledi paleopoplav.

Drobnnozrnato gradivo na površju in v jamah, ki sem ga prepoznali kot paleopoplavni sediment, je bilo petrološko analizirano v laboratorijih (poglavje 2.5), da bi dokazala, da se je gradivo odlagalo ob poplavih. Tako sem ugotovila, katere oblike so nastale ob paleopoplavah.

Z modeliranjem poplav (poglavje 2.6) sem zračunala hidrometrične lastnosti paleopoplav.

Kronološka razlaga paleopoplav temelji na morfokronološki analizi (poglavje 2.7) sige v jamah, ki je odložena nad in pod poplavno ilovico.

S sintezo (poglavje 2.8) rezultatov opravljenih analiz sem razložila čas pojavljanja poplav, njihovo morfolodinamiko ter izpostavila nekatere vzroke za njihovo pojavljanje.

6.1 PIVŠKA KOTLINA

V Pivški kotlini so ostanki višje uravnave precej obsežni in izraziti (poglavje 5.1.1). Ohranjeni so med Rakitnikom na jugu, Staro vasjo in Postojno na vzhodu, Hraščami na zahodu in Zagonom na severu. Skupaj obsegajo 2,15 km².

Recentna poplavna ravnica in ostanki višjih uravnav so v Spodnji Pivški kotlini, v Zgornji Pivški kotlini pa jih ni. Odsotnost teras je rezultat povsem drugačnih procesov na karbonatnih kamninah (Gams 2004; Ford in Williams 2007; Dreybrodt in Kaufmann 2009).

Tekoče vode z meandriranjem (Hickin 2003) predstavljajo svoje struge po poplavnih ravninah (Kladnik, Lovrenčak in Orožen Adamič 2005, 238), pri čemer z bočno in globinsko erozijo (Robert 2003) ter akumulacijo znotraj svojih strug (Markham in Thorne 1992; Rice 2006), gradivo nenehno predstavljajo (Lewin 1978; Marriott 2006). Večje delce voda premika z rinjenjem, kotaljenjem in poskakovanjem, drobnejše pa v suspenziji (Knighton 1998; Nanson in Gibling 2003; Syvitski 2003). Značilne poplavne reliefne oblike na površju so poplavne ravnice (Kladnik, Lovrenčak in Orožen Adamič 2005, 301) ob vodotokih in vodoravno odložene plasti drobnnozrnatih sedimentov (Nanson in Croke 1992; Aslan 2003; Nanson in Gibling 2003; Marriott 2006; Anderson in Anderson 2010; Warburton 2011), ki so bile v ospredju mojih raziskav.

V nižjih delih Spodnje Pivške kotline je ob Pivki in Nanoščici poplavna (Kladnik, Lovrenčak in Orožen Adamič 2005) ravnica na nadmorski višini 515 m, kjer se v današnjih hidroloških razmerah ob poplavih odlaga drobnnozrnato gradivo iz suspenzije. Nad recentno poplavno ravnico so ostanki uravnav v obliki teras na nadmorski višini 533 do 535 m (slika 9).

Rečne terase so uravnani deli površja, ki so jih oblikovali vodotoki, preden so z erozijo poglobili dolinska dna (Harden 2006; Pavšič 2006). Od višjega ali nižjega okoliškega površja so rečne terase ločene z ježami. Teras v več ravneh predstavljajo posamezna obdobja zarezovanja vodotokov z vmesnimi obdobji stabilizacije vrezovanja, ko je dolinsko dno bilo daljši čas na določeni nadmorski višini ali obdobji, ko je prišlo do ponovne akumulacije gradiva (angleško *aggradation*) na poplavni ravnici ob vodotokih

(Harden 2006). Terasse nastanejo, če se spremeni pretok ali količina transportiranega gradiva, s čimer se poveča erozijska sposobnost vodotoka. To je lahko posledica znižanja erozijske baze ali zmanjšanja količine gradiva, ki je na voljo za transport, oziroma povečanega odtoka (Harden 2006; Wolman in Leopold 2013).

V današnjih hidroloških razmerah so struge vodotokov poglobljene od 1 do 4 m v poplavno ravnico na višini 515 m. Ob nizkem do srednjem vodostaju je tok omejen na rečne struge, kjer se po skalnem rečnem koritu prenašata pesek in prod. Prod ima premer tudi do 20 cm. Ker flišni prodniki hitro mehansko razpadajo (Zorn 2008), je prenos večjih prodnikov sorazmerno kratek, kar se kaže v njihovi slabi zaobljenosti. Ob višjem vodostaju reki prestopita bregove rečnih korit in se razljuje po poplavni ravnici, kjer se iz suspenzije odlaga drobnozrnato gradivo. Ob najvišjih poplavah se voda dvigne do 5 m nad poplavno ravnico.

V preteklosti, ko so bile hidrološko aktivne višje uravnave, so delovali enaki mehanizmi prenosa in sedimentacije gradiva kot danes. Ostanki najvišje uravnave na nadmorski višini med 533 in 535 m so nastali kot poplavna ravnica, po kateri sta se ob poplavah razlivali Pivka in Nanoščica. Kasneje sta si z globinsko in bočno erozijo poglobili strugi in dno kotline, pri čemer je bilo erodiranega večina gradiva, ki je gradilo nekdanjo poplavno ravnico. Vodotoki so se zarezali do današnje ravni, v najnižjem delu kotline pa se oblikuje najmlajša, hidrološko aktivna poplavna ravnica na nadmorski višini 515 m.

Drobnozrnati sedimenti nad najvišjo današnjo znano ravnijo kraške vode v Pivški kotlini so tudi v Postojnski jami, Hauptmanovem kevdrcu in Spodmolu v Koliševki (poglavje 5.1.3). Sicer so drobnnozrnati sedimenti zapolnjevali še številne druge jame, ne samo v ponornem delu kotline, ampak tudi v Zgornji Pivški kotlini (Brodar 1952; 1956; 1975; Osole 1975), a so bili ob arheoloških izkopavanjih v preteklosti skoraj povsod povsem odstranjeni ali premešani. Postojnska jama, ki skupaj z Otoško, Črno, Magdaleno in Pivka jamo tvori Postojnski jamski sistem, je paragenetska oziroma epifreatična jama v dveh etažah (Gams 1965; 1966; Gospodarič 1976; Kataster jam IZRK 2014). Višja etaža je hidrološko neaktivna, po spodnji odteka voda iz Pivške kotline proti Planinskemu polju na severovzhodu (Šerko 1946; Gams 1966; Habič 1985; 1989; Kogovšek 1999; Kogovšek s sodelavci 2010).

Višjo etažo, ki je današnje poplave ne dosežejo, sem podrobneje morfografsko in morfološko analizirala. Vhod v zgornjo etažo je na nadmorski višini 529 m in se postopno spušča proti končnemu delu Postojnske jame pri Veliki gori, kjer je dno rova na nadmorski višini 522 m. Ker se zgornja etaža uporablja za jamski turizem, so med izgradnjo turistične infrastrukture posegali tudi v oblikovanost dna. Z analizo primarnih jamskih oblik v vhodnem delu zgornje etaže sem prepoznala skalne zajede v stenah rova, ki so značilne oblike za jame, zapolnjene s sedimenti (Farrant in Smart 2011), saj nastajajo na stiku naplavin in skalne stene rova. Drobnozrnati sedimenti so zapolnjevali vhod v jamo vsaj do nadmorske višine 532 m. Nad njimi je bil grušč, ki je vhod povsem zatrpal. Ob vznožju Velike gore so drobnnozrnati sedimenti rov zapolnjevali okoli 1 m višje od današnjega dna, torej do nadmorske višine 523 m. Če upoštevam višino drobnnozrnatih naplavin, ki je zapolnjevala glavni rov zgornje etaže, se v zračni razdalji 1,3 km od vhoda v jamo do Velike gore, absolutna nadmorska višina naplavin zniža za 9 m.

Današnji ponor Pivke je na nadmorski višini 511 m. Ob najvišjih poplavah seže voda na vhodu v jamo do nadmorske višine 520 m. Vodni rovi v bližini dvorane Velika gora so na nadmorski višini okoli 502 m, ob najvišjih poplavah se voda dvigne do nadmorske višine okoli 510 m (Gospodarič 1976). To pomeni, da se v zračni razdalji 1,3 km od ponora do območja pod Veliko goro višina aktivnega jamskega rova in gladina podzemne vode ob recentnih poplavah prav tako zniža za 9 do 10 m (Gospodarič 1976; Kataster jam IZRK 2014).

Gladina podzemne vode (Kladnik, Lovrenčak in Orožen Adamič 2005; Ford 2006; Major 2006; Ward 2006) je nagnjena proti najnižji točki iztoka, ki je erozijska baza kraškega vodonosnika (Klimchouk s sodelavci 2000). V primeru Postojnskega krasa je erozijska baza podzemne vode gladina vode na Planinskem polju. Nagnjenost gladine vode je hidravlični gradient (Hickin 2006; Ford in Williams 2007), ki je vektor, katerega dolžina je enaka spremembi hidravličnega potenciala na enoto dolžine in ima smer proti največjemu naraščanju hidravličnega potenciala (Pavšič 2006). Hidravlični gradient

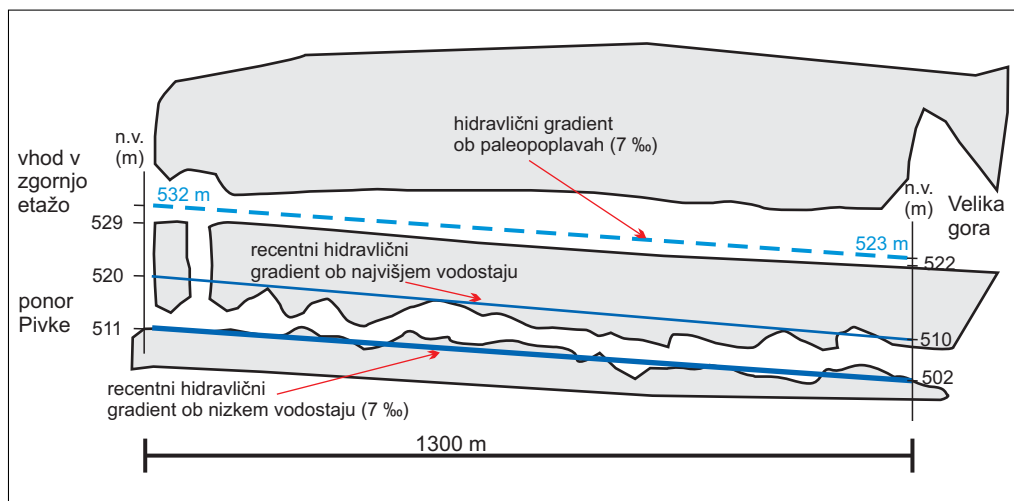
izračunamo kot razmerje med višinsko razliko in vodoravno razdaljo med dvema točkama na gladini podzemne vode in ga izrazimo z deležem (% ali ‰). V primeru Postojnske jame je hidravlični gradient v recentnih hidroloških razmerah med ponorom in končnim delom Postojnske jame pri Veliki gori okoli 7 ‰ (slika 86). Takšnemu gradientu ustrezajo tudi ohranjene poplavne naplavine v glavnem rovu zgornje etaže Postojnske jame med vhodom in dvorano Velika gora (poglavje 5.1.3).

Zaradi (1) ujemanja recentnega hidravličnega gradienta z gradientom sledi drobnaznatih naplavin v hidrološko neaktivni, zgornji etaži Postojnske jame, ter zaradi (2) odvisnosti hidravličnega gradienta od hidravlične prevodnosti kraškega vodonosnika (Brenčič 1994; Dreybrodt, Gabrovšek in Romanov 2005; Ford in Williams 2007; Stepišnik 2010), za katero sem predpostavila, da je na območju Postojnske jame primerljiva z razmerami v preteklosti (Habič 1973; 1984; Šebela 1998), sem domnevala, da je bil hidravlični gradient ob paleopoplavah primerljiv današnjemu (slika 86). Pri primerjavi nadmorskih višin drobnaznatih sedimentov v Postojnski jami sem zato izhajala iz pričakovanega hidravličnega gradienta ob paleopoplavah, ki je bil v preteklosti tako kot danes enak 7 ‰.

Drobnaznate naplavine v Postojnski jami so po vsej dolžini glavnega rova zgornje etaže in v stranskih rovih, ki se odcepijo iz njega. V glavnem rovu so bile zgornje plasti naplavin antropogeno odstranjene in premešane zaradi gradnje turistične infrastrukture. V stranskih rovih so drobnaznati sedimenti dobro ohranjeni, a v veliki meri prekriti s sigo, kar otežuje njihovo preučevanje. V zgornji etaži Postojnske jame sem podrobneje analizirala ohranjene dele drobnaznatih sedimentov zlasti v stranskih rovih.

Glede na absolutno nadmorsko višino (preglednica 62), ne glede na hidravlični gradient in oddaljenost od ponornega roba, so najvišje odloženi drobnaznati sedimenti v Spodnjem Tartarju, kjer so na nadmorski višini 532 m. Do nadmorske višine 530 m je odložen sediment v Rovu novih podpisov, Pisanem rovu in Zgornjem Tartarju. Na nadmorski višini 529 m je sediment v Rovu brez imena. Pod Veliko goro sem analizirala sediment z nadmorske višine 520 m.

Višjih drobnaznatih naplavin v Postojnski jami, ki naj bi segle do nadmorske višine 540 m in jih omejujejo nekateri pretekli raziskovalci (Brodar 1966; 1969; Gospodarič 1976), nisem našla. Sledi naplavin so sicer ponekod opazne med plastmi sige v stalaktitih ali posameznih zaplatah med podpornimi bloki, vendar ni opazna laminiranost sedimentov, niti ni mogoče rekonstruirati sklenjene, povezane ravni naplavin. Ker so te naplavine slabo ohranjene in je njihov izvor vprašljiv (na primer lahko bi bile v jamo sprane skozi razpoke v stropu), teh sedimentov v nadaljnjih raziskavah nisem obravnavala.



Slika 86: Hidravlični gradient kraškega vodonosnika na območju Postojnske jame in možni hidravlični gradient ob paleopoplavah (prirejeno po Gospodariču (1976)).

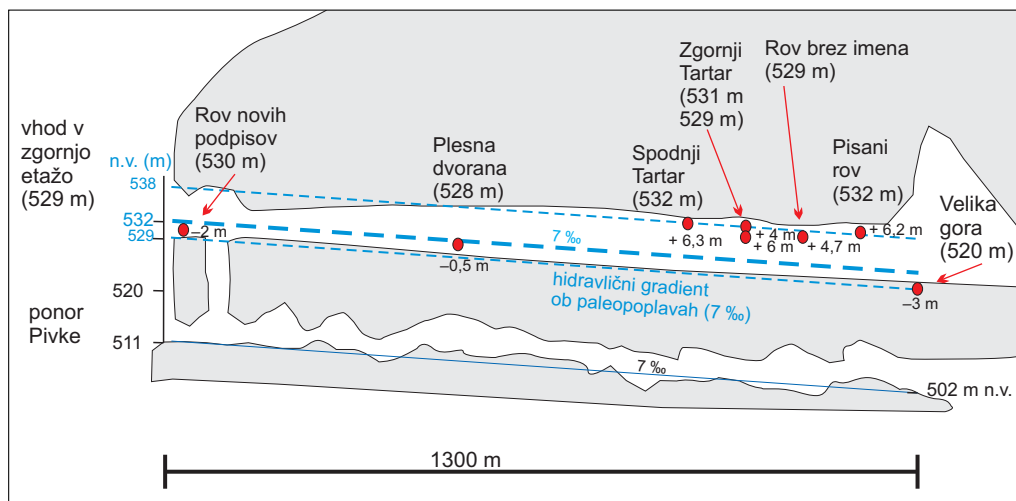
Ob upoštevanju možnega hidravličnega gradienta paleopoplav (slika 86), kjer bi bila gladina vode na vhodu v jamo na nadmorski višini 532 m, je najvišje odložen drobnnozrnati sediment v Spodnjem Tartarju, kjer je 6,3 m nad predvideno gladino podzemne vode. Sediment v Pisanem rovu je 6,2 m nad predvideno gladino podzemne vode, v Zgornjem Tartarju 6 m, Rovu brez imena 4,7 m in v Plesni dvorani 0,5 m nad predvideno gladino podzemne vode ob paleopoplavah. V Rovu novih podpisov je drobnnozrnati sediment 2 m, pri Veliki gori pa 3 m nižje od predvidene gladine podzemne vode ob paleopoplavah (slika 87).

Glede na nadmorsko višino drobnnozrnatih sedimentov in ob upoštevanju predvidenega hidravličnega gradienta podzemne vode ob paleopoplavah (preglednica 62), bi analizirane sedimente lahko v grobem razvrstili v dve skupini. Na višji ravni so sedimenti v Spodnjem in Zgornjem Tartarju, Pisanem rovu in Rovu brez imena, na nižji pa v Plesni dvorani, Rovu novih podpisov in v dvorani pri Veliki gori (slika 87).

Zunaj Postojnske jame sem prepoznala drobnnozrnate sedimente v Hauptmanovem kevdrcu (poglavje 5.1.3.8), kjer so na nadmorski višini do 534 m. Z analizo primarnih jamskih oblik sem ugotovila, da je bila jama zapolnjena z naplavinami do nadmorske višine 536 m. Ker je jama od Postojnske jame oddaljena 200 m in je nadmorska višina naplavin okoli 2 m višje od naplavin v vhodnem delu Postojnske jame, bi ti sedimenti lahko pripadali starejšemu obdobju paleopoplav. Te naplavine sem podrobneje obravnavala in jih primerjala z naplavinami v Postojnski jami.

Drobnnozrnate sedimente sem prepoznala tudi v Spodmolu v Koliševki (poglavje 5.1.3.9), kjer so na nadmorski višini 545 m. Ker so odloženi višje od sedimentov v Postojnski jami, sem predvidevala, da ne gre za sledi hkratnih poplav, temveč da so ostanek še starejših poplav.

Drobnnozrnate naplavine zapolnjujejo tudi dna nekaterih udornic (poglavje 5.1.2) na območju nad Postojnsko jamo (Stepišnik 2004; 2010). Uravnana dna udornic so na nadmorskih višinah od okoli 500 do 545 m. Višina naplavin v udornicah upada z oddaljenostjo od ponorne roba Pivške kotline proti severovzhodu, kakor tudi naplavine v jamah in hidravlični gradient podzemne vode. Najbližja ponornemu robu je udornica Stara Apnenica, v kateri je drobnnozrnato gradivo odloženo do nadmorske višine 553 m; poglobljeni del dna je uravnani na nadmorski višini 545 m. Bolj oddaljeni sta Velika in Mala Jeršanova dolina, ki imata dna zapolnjena s drobnnozrnatimi sedimenti in sta na nadmorski višini 540 m. Udornici Dolga dolina in Drča dolina imata dno iz drobnnozrnatega gradiva uravnani na nadmorski višini od 523 do 530 m. Najbolj oddaljena udornica, Vodni dol, ima dno iz drobnnozrnatega gradiva na nadmorski



Slika 87: Prezek Postojnske jame z absolutnimi in relativnimi nadmorskimi višinami poplavnih sedimentov glede na predvideni hidravlični gradient ob paleopoplavah (prirejeno po Gospodariču (1976)).

višini 497 m. Primerjava nadmorskih višin naplavin v udornicah in jamah je pokazala, da so naplavine v udornicah od 7 do 14 m nad naplavinami v najbližjih jamskih rovih. Če pa upoštevamo sledi starejših akumulacijskih faz v Postojnski jami (Brodar 1966; Gospodarič 1976), se vsaj v primeru udornic Velika in Mala Jeršanova dolina, višina naplavin ujema z najvišjimi sledmi poplav v Pisanem rovu Postojnske jame (Stepišnik 2004; 2010).

Ker so naplavine v udornicah v splošnem na višjih nadmorskih višinah od obravnavanih naplavin v jamah, se je gradivo v udornicah najverjetneje odlagalo ob še starejših poplavnih dogodkih, kot sem jih preučevala v tej raziskavi. Ker pa so v drobnozrnatem gradivu v dnu udornic aktivne in neaktivne sufozijske kotanje, ki kažejo na spiranje gradiva v podzemlju, sklepam, da je po odložitvi gradiva v udornicah še občasno prihajalo do intenzivnejšega odnašanja gradiva izpod njih. To pa je znak bližine vodne gladine v podzemlju (Stepišnik 2010). V današnjih razmerah poteka spiranje pod udornico Vodni dol, ki ima v dnu aktivne sufozijske kotanje. Kraška voda doseže vsaj višino okoli 492 m (Kataster jam IZRK 2014), kar je 5 m pod dnom udornice. Poglobljeni del dna v Stari Apnenici kaže, da je prišlo po odložitvi drobnozrnatega gradiva do višine 553 m, do spiranja gradiva izpod udornice, v času, ko so bili hidrološko aktivni rovi Otoške jame in Zgornjega Tartarja (Gospodarič 1976; Kataster jam IZRK 2014) ter do uravnavanja gradiva na višini 545 m (Stepišnik 2004; 2010). Danes seže gladina kraške vode na območju do nadmorske višine okoli 510 m (Gospodarič 1976; Kataster jam IZRK 2014), kar je 35 m nižje od dna udornice.

Ker je Postojnski kras odtočni sistem vode iz Pivške kotline (Šerko 1946; Gams 1965; 1966; Gospodarič 1976; Habič 1985; 1989; Kogovšek 1999; Stepišnik 2004; Kogovšek s sodelavci 2010), so hidrološke razmere na površju Pivške kotline in v podzemlju Postojnskega krasa soodvisne. Predpostavljam, da je v času, ko je bila hidrološko aktivna zgornja etaža Postojnske jame, kjer je bilo na vhodu odloženo drobnozrnato gradivo vsaj do nadmorske višine 532 m, segala gladina vode v Pivški kotlini prav tako vsaj do nadmorske višine 532 m.

Drobnozrnato gradivo, ki gradi ohranjene dele višje uravnave v Pivški kotlini oziroma terase na nadmorski višini 533 do 535 m ter gradivo v preučevanih jamskih rovih Postojnske jame, Hauptmanovega kevdra in Spodmola v Koliševki sem vzorčila za petrološke analize, da bi dokazala, da se je gradivo odlagalo ob poplavah. Za primerjavo sem vzorčila tudi sedimente v udornicah in na površju nad Postojnsko jamo. Petrološke analize so obsegale rentgensko difrakcijo in rentgensko fluorescenco ter granulometrično analizo sedimentov.

Z rentgensko difrakcijo je bila določena mineraloška zgradba sedimentov, na podlagi česar sem sklepala o izvornem območju sedimentov.

Osnovni minerali drobnozrnatih sedimentov, ki gradijo terase v Pivški kotlini (poglavje 5.1.1), so kremen, muskovit in illit, klorit ter Na-Ca-plagioklazi. K-Na-glinenci in kaolinit so le v nekaterih vzorcih. Takšna mineraloška zgradba je značilna za flišno kaminsko podlago (Buser s sodelavci 1967; Orehek 1970; Zupan Hajna 1992; 1998; Zupan Hajna s sodelavci 2008b), vendar v analiziranih sedimentih ni mineralov kalcita, ki jih je v flišnih kamninah Pivške kotline sicer povprečno okoli 17 % (Orehek 1970). Ker so minerali kalcita topni v vodi, se pri eroziji in presedimentiranju flišne preperine njihov delež zmanjšuje (Plummer, Wigley in Parkhurst 1978; Plummer, Parkhurst in Wigley 1979; Lovrenčak 1994; Gunn 2004; Ford in Williams 2007). Mineralna sestava analiziranih sedimentov kaže na to, da je drobnozrnato gradivo, ki gradi terasi v Pivški kotlini, presedimentirano oziroma alohtonega izvora.

Podobno mineraloško zgradbo imajo tudi sedimenti v udornicah (Stepišnik 2004) in na površju Postojnskega krasa (poglavje 5.1.2), v katerih prevladujejo kremen, muskovit in illit. Ob kloritu in Na-Ca-plagioklazih, so še minerali K-Na-glinencev. Mineraloška zgradba sedimentov kaže, da gre za alohtone sedimente, saj tovrstnih mineralov ni v apnenčasti podlagi Postojnskega krasa (Buser s sodelavci 1967; Habič 1973; 1984; Šebela 1998; Stepišnik 2004; Pleničar, Ogorelec in Novak 2009). Mineraloška sestava vseh analiziranih sedimentov kaže na flišni izvor gradiva (Buser s sodelavci 1967; Orehek 1970; Zupan Hajna 1992; 1998; Zupan Hajna s sodelavci 2008b).

Med minerali, ki gradijo vzorčene drobnozrnate naplavine v Postojnski jami in Hauptmanovem kevdru (poglavje 5.1.3) prevladuje kremen, manj je muskovita in illita ter klorita. V sedimentih se pojavljajo

še minerali Na-Ca-plagioklazov, K-Na-glinencev ter kalcit in kaolinit. Mineraloška sestava sedimentov kaže na alohton izvor sedimentov (Buser s sodelavci 1967; Habič 1973; 1984; Šebela 1998; Stepišnik 2004; Pleničar, Ogorelec in Novak 2009). Minerali analiziranih sedimentov so značilni za flišna porečja (Buser s sodelavci 1967; Orehek 1970; Zupan Hajna 1992; 1998; Zupan Hajna s sodelavci 2008b). Od sedimentov na površju Pivške kotline in Postojnskega krasa se razlikujejo po vsebnosti kalcitnih mineralov, kar pa je značilno za jamske sedimente, saj se v jami izloča siga, katere delci se primešajo alohtonim sedimentom šele v jami (Zupan Hajna s sodelavci 2008b).

Mineraloška sestava sedimentov v Spodmolu v Koliševki (poglavje 5.1.3.9) se precej razlikuje od ostalih sedimentov v jamah ter od sedimentov na površju. V zgornjem delu prereza izrazito prevladuje kalcit (94 %), kar kaže, da gre za razpadlo sigo (Zupan Hajna 1992; 1998). Na podlagi tega sem sklepala, da je sediment avtohtonega izvora in ni prinesen od drugod. Sediment tudi ne vsebuje Na-Ca-plagioklazov in K-Na-glinencev, ki bi kazali na flišni izvor (Orehek 1970; Zupan Hajna s sodelavci 2008b). Zaradi krajevnega izvora mineralov v sedimentu, sem Spodmol v Koliševki izločila iz nadaljnjih raziskav.

Razlike v mineraloški sestavi sedimentov s površja, udornic in jam ob Pivški kotlini, so posledica različne preperelosti (Zupan Hajna s sodelavci 2008b), vendar so razlike premajhne, da bi omogočale podrobnejšo razlago diageneze sedimentov (Tucker 2001; Mahler, Personne in Lynch 2007; Wright 2007; Egli, Mirabella in Sartori 2008).

Z rentgensko fluorescenco je bila določena kemijska sestava sedimentov, na podlagi česar sem sklepala o izvoru in poteku diageneze sedimentov (poglavje 5.1). Osnovna kemijska sestava sedimentov na površju Pivške kotline in Postojnskega krasa ter v jamah kaže na prevlado SiO_2 , Al_2O_3 in Fe_2O_3 . Prisotne so še spojine MgO , CaO , K_2O in TiO_2 . Mineraloške značilnosti analiziranih sedimentov kažejo na skupen izvor sedimentov v flišni kamninski podlagi (Orehek 1970). Zlasti Fe_2O_3 in Al_2O_3 sodijo med nemobilne spojine (Hudson 1995; Olson 2006), ki najdlje ostanejo v *in situ* preperini. Če bi gradivo v terasah preperevalo na mestu, in ne bi bilo presedimentirano, bi moral biti delež teh spojin bistveno večji kot v alohtonih sedimentih v udornicah in jamah. Ker so deleži teh spojin v vseh analiziranih sedimentih podobni, sklepam, da so bili sedimenti v terasah na površju in sedimenti vzorcev iz jam prineseni iz flišnega zaledja.

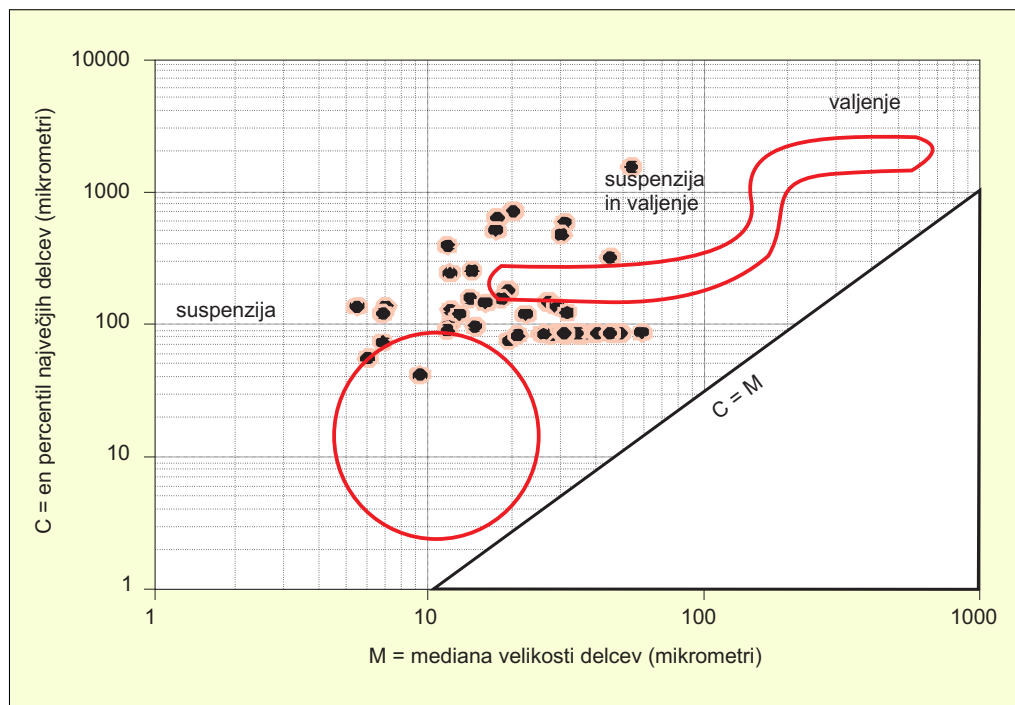
Z granulometrično analizo so bili določeni deleži peščene, meljaste in glinene frakcije v vzorcih sedimentov, da sem dokazala, kateri sedimenti so bili odloženi ob poplavih (poglavje 5.1). Na podlagi ameriške teksturne klasifikacije (Wentworth 1922) sem jih razvrstila v teksturne razrede. Analizirani sedimenti se po Plasterju (1992) uvrščajo predvsem med meljasto ilovico, nekaj sedimentov tudi med meljasto glineno ilovico, peščeno ilovico in ilovico (poglavje 5.1.4). Da bi določila način prenosa in sedimentacijske okoliščine, sem rezultate granulometrične analize prikazala na granulometričnem diagramu (Pavšič 2006, 97). Granulometrični diagram (angleško *CM patterns*) je definiral Passega (1957; 1964). Temelji na primerjavi vrednosti mediane in zgornjega percentila velikosti delcev (Vijayakumar, Vasudevan in Pruthiviraj 2011; Xiao, Li in Chen 2013). Vse analize vzorčenega gradiva so pokazale sedimentacijo iz suspenzije (slika 88). Obravnavani sedimenti so torej poplavna ilovica. Drobnozrnato gradivo v suspenziji se lahko prenaša na zelo dolge razdalje ne glede na dinamiko vodnega toka, za njegovo odlaganje iz suspenzije pa je nujno umirjeno vodno telo in to ne glede na globino vode (Potter 2003). Do usedanja namreč prihaja zaradi razlik v gostoti raztopine oziroma, ker je specifična masa zrn drobnozrnatega gradiva v suspenziji večja od specifične mase vode. Posledično se delci usedajo pod vplivom sile teže. Na sedimentacijske okoliščine vplivajo še velikost, oblika in specifična masa delcev (vrsta kamnin) ter viskoznost in gostota, torej posredno tudi temperatura vode (Bloesch 2004).

Na sedimentacijo gradiva, ki gradi ostanke višje uravnave v Pivški kotlini, ob paleopoplavih lahko sklepamo tudi z analizo granulometričnih značilnosti flišne matične podlage, ki jo sestavljajo plasti peščenjakov in laporovcev (Orehek 1970; Buser s sodelavci 1967). Ob preperevanju fliša ostane v preperini groba peščena frakcija. Ker je v sedimentih na uravninah zanemarljivo malo peščene frakcije, sklepamo, da so to alohtone flišne naplavine, ki so bile presedimentirane iz flišnega zaledja, in ne

gre za *in situ* preperino. Ker sedimente sestavlja izključno drobna frakcija, se je gradivo lahko odlagalo zgolj v stoječi vodi (Potter 2003; Bloesch 2004).

Tudi laminiranost drobnozrnatega sedimenta kaže, da so preučevane oblike v Pivški kotlini sledi paleopoplav, saj je posebej značilna za poplavna sedimentacijska okolja (Nanson in Croke 1992; Aslan 2003; Bridge 2003; Nanson in Gibling 2003; Potter 2003; Bloesch 2004; Harden 2006; Marriott 2006; Ford in Williams 2007; Anderson in Anderson 2010). Lamine so na površju in udornicah slabše ohranjene kot v jamah, kar je posledica bioturbacije in preperevanja sedimentov pod vplivom zunanjih okoljskih vplivov (Bridge 2003; Gilbert 2003; Potter 2003; Harden 2006; Wright 2007; Egli, Mirabella in Sartori 2008; Saarnisto in Ojala 2009; Robinson in Moses 2011; Hall, Thorn in Summer 2012). Prav tako so lamine slabše ohranjene v vhodnih delih jam, kjer so sedimenti pod vplivom zunanjih vremenskih vplivov in delujejo procesi zmrzovanja oziroma krioturbacije (Troll 1944; Woldstedt 1954; Natek 2007; French 2011). Ne glede na stopnjo ohranjenosti, pa je dejstvo, da so lamine v skoraj vseh preučevanih prerezhih sedimentov, kar nedvomno potrjuje rezultate ostalih analiz, namreč, da so bili sedimenti odloženi ob poplavah.

Na podlagi morfoloških, morfometričnih in petroloških analiz sklepam, da so uravnave v Spodnji Pivški kotlini, ki so ohranjene v terasah na nadmorskih višinah 533 do 535 m, ostanki nekdanje poplavne ravnice. Dokler je vodni tok, ki prečka poplavno ravnico, omejen na svojo strugo, potekajo intenzivni strugotvorni procesi (Bizjak 2003; Černuta 2010), ko pa vodotoki prestopijo bregove in se razlijejo po poplavni ravnici, se vodi zaradi povečanega trenja zmanjša hitrost, njena transportna moč pa upade (Nanson in Young 1981; Anderson in Anderson 2010). Ko se hitrost vodnega toka zmanjša pod umiritevno hitrost (Knighton 1998), se začne odlaganje lebdečih plavin, ki se prenašajo v suspenziji (Nanson in Gibling 2003). Poplavne ravnice (angleško *flood plain*) nastanejo z vodoravno sedimentacijo drob-



Slika 88: Grafični prikaz rezultatov granulometričnih analiz vseh analiziranih vzorcev drobnozrnatega sedimenta v preučevanem delu porečja kraške Ljubljane.

nozrnatega gradiva iz suspenzije ob poplavah (Nanson in Croke 1992; Aslan 2003; Bridge 2003; Marriott 2006; Anderson in Anderson 2010). Ker ostanke uravnave gradijo drobnnozmatni laminirani sedimenti, ki so se odlagali iz suspenzije, sklepam, da gre za ostanke akumulacijskih teras (angleško *depositional, fill, aggradational terrace*) (Kladnik, Lovrenčak in Orožen Adamič 2005, 31), ki so ostanki nekdanje poplavne ravnice (Harden 2006). Iz tega sledi, da so v preteklosti poplave v Pivški kotlini segle vsaj do nadmorske višine 535 m.

Z analizami sem prav tako dokazala, da so bili iz poplavne vode odloženi drobnnozmatni sedimenti v obravnavanih delih Postojnske jame in v Hauptmanovem kevdrcu (poglavje 5.1.3). Ker je poplavna ilovica v Postojnski jami do nadmorske višine 532 m in 534 m v Hauptmanovem kevdrcu, sklepam, da so v preteklosti poplave na ponornem robu Pivške kotline segale vsaj do nadmorske višine od 532 oziroma 534 m.

Ker je Postojnski kras, vključno s Postojnsko jamo, odtočni hidrološki sistem za vodo iz Pivške kotline (Šerko 1946; Gams 1965; 1966; Gospodarič 1976; Habič 1985; 1989; Kogovšek 1999; Stepišnik 2004; Kogovšek s sodelavci 2010), je bila sočasno z višjimi poplavami v Postojnski jami in Hauptmanovem kevdrcu, sorazmerno enako visoko tudi gladina poplavne vode v Pivški kotlini. Na površju in v jamah so sledi paleopoplav na primerljivih nadmorskih višinah, s čimer je dokazano, da so bile sočasno hidrološko aktivne. To bi lahko kazalo tudi na sočasnost njihovega nastanka, vendar pridobljeni podatki še ne omogočajo zanesljive razlage morfogenetske povezanosti poplavnih sedimentov na površju in v jamah.

Z uporabo geografskih informacijskih sistemov sem modelirala obseg in višino paleopoplav v Pivški kotlini (poglavje 5.1.5). Izračunala sem prostornino paleopoplav ob upoštevanju današnje oblike površja. Izračunala sem tudi površino poplavljenega površja ob višjih poplavah.

Poplave do nadmorske višine od 533 do 535 m bi imele prostornino okoli 170 do 220 milijonov m³. Površina poplavljenega površja bi bila od 23,2 do 26,7 km². Ob najvišjih poplavah v današnjih hidroloških razmerah, ki sežejo do nadmorske višine 520 m, je prostornina poplavne vode okoli 7 milijonov m³, kar je od 24- do 31-krat manj v primerjavi z najvišjo ugotovljeno ravno paleopoplav. V današnjih hidroloških razmerah je ob najvišjih poplavah poplavljenega 3,64 km² površja. Površina poplavljenega površja ob poplavah do nadmorske višine 535 m pa bi bila približno 7-krat večja, kot ob najvišjih današnjih poplavah.

Upoštevati moramo, da je bila prostornina poplavne vode ob paleopoplavah manjša od izračunane, saj so takrat velik del današnjega dna Pivške kotline zapolnjevale naplavine. To pomeni, da količina vode, ki je bila potrebna, da se je gladina vode ob poplavah dvignila do nadmorske višine 535 m, ni bila 31-krat večja od količine vode, ki poplavlja v recentnih razmerah, temveč je jakost poplav (Baker 2003; Komar 2003 v: Syvitski 2003; DFO 2009; Frantar 2009, Anderson in Anderson 2010) lahko bila podobna današnji.

Za gladino podzemne vode (Ford 2006; Major 2006; Ward 2006) je značilno, da je nagnjena proti največji vrednosti hidravličnega potenciala (Klimchouk s sodelavci 2000; Dreybrodt, Gabrovšek in Romanov 2005), ki je v primeru Postojnskega krasa določen z nadmorsko višino gladine vode na Planinskem polju (Gams 1965; 1966; Habič 1973; 1984; 1985; 1989; Gospodarič 1976; Kogovšek 1999; Kogovšek s sodelavci 2010; Kataster jam IZRK 2014). Za Postojnsko jamo sem glede na dostopne podatke o višini podzemne vode izračunala hidravlični gradient (Brenčič 1994; Hickin 2006; Ford in Williams 2007) okoli 7 ‰, med vhodnim delom in končnim delom v okolici dvorane Velika gora (Gospodarič 1976; Kogovšek 1999; Kataster jam IZRK 2014). Predpostavljam, da je bil ob paleopoplavah primerljiv hidravlični gradient (sliki 86 in 87), na podlagi katerega sem primerjala relativno nadmorsko višino analiziranih sedimentov v Postojnski jami.

Glede na predvideni hidravlični gradient ob paleopoplavah lahko poplavne sedimente in sigo ob njih razvrstim po relativni nadmorski višini od najvišjih do najnižjih (preglednica 62).

V Pivški kotlini sem določila ostanke najvišje poplavne ravnice na nadmorski višini od 533 do 535 m ter alohtone poplavne sedimente v Postojnski jami in Hauptmanovem kevdrcu do nadmorske višine 532 oziroma 534 m. Za časovno opredelitev pojavljanja paleopoplav sem z morfokronološko metodo

analizirala sigo v Postojnski jami (poglavje 5.1.3), ki je odložena na in pod obravnavanimi poplavnimi sedimenti. Vzorci sige so bili datirani z radiometričnima analizama ^{14}C in U-Th (preglednica 62).

Preglednica 62: Rezultati datacijskih analiz in relativna nadmorska višina analiziranih sedimentov glede na predviden hidravlični gradient ob paleopoplavah.

jamski rov	absolutna nadmorska višina (m)	relativna nadmorska višina glede na hidravlični gradient (m)	oddaljenost od vhoda (m)	starost (let pred sedanostjo)
Spodnji Tartar	532	+6,3	900	14.740 ± 50
Pisani rov	530	+6,2	1200	> 43.500
Zgornji Tartar 1	531	+6,0	1000	39.720 ± 310
Rov brez imena	529	+4,7	1100	> 43.500
Zgornji Tartar 2	529	+4,0	1000	9010 ± 40
Plesna dvorana 1	528	+0,5	500	7590 ± 40
Plesna dvorana 2	529	+0,5	500	7210 ± 40
Rov novih podpisov 1	530	-2,0	0	32.360 ± 180
Rov novih podpisov 2	530	-2,0	0	30.330 ± 160
Rov novih podpisov 3	530	-2,0	0	28.720 ± 140
Velika gora 1	520	-3,0	1300	> 43.500 < 150.000
Velika gora 2	520	-3,0	1300	10.930 ± 50

Datacije sige so pokazale, da so najstarejši poplavni sedimenti, ki so starejši od 43.500 let, v dnu prereza pod datirano sigo v Pisanem rovu, Rovu brez imena in v dvorani Velika gora. V vseh treh prerzih najstarejšo sigo prekriva mlajša poplavna ilovica.

Siga, ki prekriva poplavno ilovico na nadmorski višini 530 m v Zgornjem Tartarju in je odložena nad vsemi ostalimi klastičnimi sedimenti, je stara 39.700 let. Ker nad sigo ni sledi mlajših poplav, sklepam, da vsaj od 39.700 let pred sedanostjo gladina podzemne vode ni več segla do takšne nadmorske višine (slika 89). Ker so sedimenti v Rovu brez imena in Pisanem rovu glede na predvideno gladino podzemne vode ob paleopoplavah odloženi višje od sedimentov v Zgornjem Tartarju, sklepam, da so poplavni sedimenti v rovih prav tako starejši od 39.700 let. Takšno sklepanje dopuščajo rezultati datacij sige, ki je odložena nad vsemi ostalimi sedimenti v Spodnjem Tartarju, saj kažejo na to, da je poplavna ilovica pod sigo zagotovo starejša od 14.700 let. Siga, ki prekriva ostale sedimente v Pisanem rovu in Rovu brez imena ni bila datirana zaradi kontaminacije s sajami.

Siga, ki prekriva poplavne sedimente v nižjem delu Zgornjega Tartarja na nadmorski višini 529 m, je stara okoli 9000 let. To pomeni, da so poplavni sedimenti starejši od sige. Ker nad sigo ni sledi poplavnih sedimentov, sklepam, da vsaj od 9000 let pred sedanostjo poplave niso več segle do takšne nadmorske višine (slika 89).

V Plesni dvorani so poplavni sedimenti odloženi do nadmorske višine 528 m in prekriti z 1 do 5 cm debelo sigovo skorjo. Datacije sige, vzorčene na različnih delih jamskega rova, so pokazale, da je siga stara okoli 7200 do 7600 let. Ker nad sigo ni sledi poplavnih sedimentov, sklepam, da od okoli 7200 let pred sedanostjo poplave niso več segle v Plesno dvorano. Med plastmi sige je kratka prekinitev rasti sige s primesjo ilovnatnega gradiva, ki bi lahko kazalo na morebitno kratkotrajno motnjo zaradi poplav. Sedimenta je premalo za podrobnejše analize. Tovrstno motnjo bi lahko povzročilo zastajanje avtogene vode in premeščanje alohtonega gradiva znotraj jamskega rova (Baker s sodelavci 1993; Zupan Hajna 2003, Ford in Williams 2007). Da omenjena motnja v odlaganju sige ni posledica poplav, ki bi segale do tolikšne nadmorske višine, kaže tudi datacija sige, ki prekriva poplavne sedimente pod Veliko goro. Starost sige je bila določena na 10.900 let. Ker nad njo ni sledi poplavnih sedimentov, sklepam,

da od 10.900 let pred sedanostjo poplave niso več segle do tolikšne nadmorske višine (slika 89). Glede na predvideni hidravlični gradient ob paleopoplavah so analizirani sedimenti pod Veliko goro okoli 3,5 m nižje od sedimentov v Plesni dvorani, zato bi ob poplavih, ki bi zalile Plesno dvorano, morale biti poplavljeni tudi območje vzorčenja sedimentov pod Veliko goro. Ker pod Veliko goro ni mlajših sledi poplav vsaj od 10.900 let pred sedanostjo, je motnja v odlaganju sige v Plesni dvorani lahko posledica krajevnih razmer, in je omejena na ožje območje Plesne dvorane.

Najbolj podrobno sem lahko opredelila starost poplavnih sedimentov v Rovu novih podpisov (poglavje 5.1.3.1). Ker se v zgornjem delu prereza menjavajo plasti poplavnih sedimentov in sige, sem z datacijami najvišjih treh plasti sige, določila ožji časovni okvir zadnjih poplavnih dogodkov, ki so v rovu segli do nadmorske višine 530 m. Datacije so pokazale, da je najnižja plast sige, ki prekriva debelejšo plast poplavne ilovice, stara 32.400 let, srednja plast sige je stara 30.300 let, siga na vrhu prereza, ki prekriva vse sedimente, pa je stara 28.700 let. Sklepam, da se je glavnina poplavne ilovice odložila v obdobju pred več kot 32.400 leti. V obdobju pred 32.400 do 30.300 leti ter pred 30.300 do 28.700 leti se je ponovilo odlaganje poplavne ilovice do nadmorske višine 530 m, kar pomeni, da so do okoli 28.700 let pred sedanostjo poplave v Pivški kotlini še segale vsaj do nadmorske višine 530 m. Če primerjamo rezultate z datacijami v Zgornjem Tartarju, ki je glede na predvideni hidravlični gradient ob paleopoplavah okoli 8 m višje od Rova novih podpisov, sklepam, da so bili višji deli Zgornjega Tartarja v času odlaganja poplavnih sedimentov v Rovu novih podpisov že hidrološko neaktivni.

Rezultati, ki sem jih pridobila z raziskavo kažejo, da je v kvartarju bilo več obdobj, ko so poplave v Pivški kotlini segale do višjih nadmorskih višin od današnjih poplav ter da je absolutna nadmorska višina, ki so jo dosegle poplave, postopno upadala.

Pred več kot 39.700 leti so poplave na vhodu v Postojnsko jamo segle vsaj do nadmorske višine 538 m (slika 89). Mlajših sledi poplav, ki bi segle do tolikšne nadmorske višine nisem prepoznali. Sklepam, da je segla gladina poplavne vode tudi v Pivški kotlini vsaj do nadmorske višine 538 m. To pomeni, da je bila obsežna poplavna ravnica, katere ostanki so ohranjeni v najvišjih terasah na nadmorski višini 533 do 535 m, prav tako hidrološko aktivna. V tem obdobju so se najverjetneje odlagali tudi poplavni sedimenti v Hauptmanovem kevdrcu, ki so na nadmorski višini 534 m.

Do pred 28.700 leti so poplave ob vhodu v Postojnsko jamo segle vsaj do nadmorske višine 530 m (slika 89). Nisem pa zasledila sledi mlajših poplav, ki bi segle do tolikšne nadmorske višine. Sklepam, da je takrat bila tudi Pivška kotlina poplavljen vsaj do nadmorske višine 530 m. Na podlagi ugotovitev ne morem neposredno določiti ali je bila takrat najvišja poplavna ravnica še hidrološko aktivna ali ne. Bi pa na sočasno aktivnost oblik lahko sklepala ob upoštevanju analogije z današnjimi medsebojnimi razmerji nadmorskih višin ob poplavih.

Od 10.900 let pred sedanostjo poplave na vhodu v Postojnsko jamo najverjetneje niso več presegle nadmorske višine 529 m (slika 89). Zato ob poplavih do te nadmorske višine ne morem sklepati o procesih na najvišji uravnavi (533 do 535 m).

Rezultati kažejo, da je bila dinamika poplav v preteklosti podobna današnjim, saj se je laminirana poplavna ilovica odlagala ob poplavih (Nanson in Gibling 2003; Anderson in Anderson 2010; Warburton 2011). Takšni procesi so značilni tudi za recentne hidrološke razmere v Pivški kotlini in podzemlju Postojnskega krasa (Gams 1966; Gospodarič in Habič 1966; Gospodarič 1976; Kataster jam IZRK 2014). Ugotovitve so v nasprotju z nekaterimi starejšimi razlagami sedimentov v Pivški kotlini (Brodar 1950; 1960; 1966; 1969; Melik 1951; 1955), v katerih so predpostavljali trajno ojezeritev Pivške kotline.

6.2 CERKNIŠKO POLJE

V pobočjih nad Cerkniškim poljem ni uravnav ali teras, ki bi kazale na višje poplave v preteklosti (poglavje 5.2.1). Manjšo zaplato vodoravno odloženih drobnozrnatih sedimentov, ki jih najvišje poplave v recentnih razmerah ne dosežejo, sem prepoznala le nad ponornim robom Cerkniškega polja v Jamskem zalivu. Uravnani sedimenti so v dnu plitve kotanje, ki je glede na morfološke značilnosti najverjetneje

del brezstropne jame. Gradivo sem v nadaljnjih analizah podrobneje obravnavala in ga primerjala s sedimenti iz udornic in jam. Zaplata sedimenta obsega 300 m²; odloženi so do nadmorske višine 575 m.

Drobnozrnati sedimenti zapolnjujejo tudi dna udornic Veliki in Mali Kamojstnik ter Globoki dol v ponornem zaledju Cerkniškega polja (poglavje 5.2.2). Največ drobnozrnatih sedimentov je v Globokem dolu, kjer je zapolnjeno dno do nadmorske višine 565 m. V osrednjem delu dna udornice je le-to uravnano na nadmorski višini 555 m. Na območju udornice se v podzemlju gladina vode dvigne do nadmorske višine med 530 in 545 m (Gospodarič 1969a; 1969b; 1970b; 1970c; Kataster jam IZRK 2014). To je 10 m pod dnom, zaradi česar prihaja do spiranja drobnozrnatega gradiva izpod udornice (Stepišnik 2010). Na to kažejo sufozijske kotanje na vzhodnem delu dna udornice.

Drobnozrnate sedimente sem prepoznala tudi v Jami pod cesto, ki je v severozahodnem ponornem zaledju Cerkniškega polja (poglavje 5.2.3). Dno jame je zapolnjeno z drobnozrnatimi sedimenti do nadmorske višine 575 m, na podlagi česar sem sklepala, da so poplave v preteklosti segle vsaj do nadmorske višine 575 m. Ostanki drobnozrnatih sedimentov so sicer tudi v razpokah sten in stropa, ki je do 5 m visok. V današnjih hidroloških razmerah se gladina kraške vode v podzemlju na tem območju dvigne največ do nadmorske višine okoli 553 m (Gospodarič 1969a; 1969b; 1970b; 1970c; Kataster jam IZRK 2014).

Da bi dokazala, da se je drobnozrnato gradivo, ki sem ga prepoznala na površju, v udornicah in jamah ob Cerkniškem polju do nadmorske višine 575 m, odlagalo ob poplavih, sem gradivo vzorčila za petrološke analize, ki so obsegale rentgensko difrakcijo in granulometrično analizo sedimentov.

Z Rentgensko difrakcijo je bila določena mineraloška zgradba sedimentov. Rezultati (poglavje 5.2) so pokazali, da sedimenti vsebujejo povprečno 55 % kremena ter muskovit in illit, klorit in kalcit. Ker teh mineralov ni v matični podlagi preučevanega območja (Buser s sodelavci 1967), je sediment alohtonega izvora.

Mineraloška zgradba sedimentov je podobna sedimentom iz Križne jame (Zupan Hajna s sodelavci 2008a), katere hidrološko zaledje je na območju Bloške planote. Kakor v sedimentih v ponornem zaledju Cerkniškega polja, tudi v sedimentih v Križni jami prevladujejo minerali kremena, prisotni pa so še minerali muskovita in illita ter klorita. Glede na kamnine v hidrološkem zaledju Cerkniškega polja bi minerali kremena lahko izvirali iz dolomitov z roženci karnijske stopnje (Buser s sodelavci 1967; Šušteršič, 1978; Pleničar, Ogorelec in Novak 2009), ki so značilni za povirje Cerkniščice na območju naselja Kremenca, ali z območja Bloške planote (Buser s sodelavci 1967; Pleničar, Ogorelec in Novak 2009).

Manjši delež mineraloške zgradbe, od 4 do 8 %, predstavljajo minerali Na-Ca-plagioklazov, ki so tudi v sedimentih Križne jame (Zupan Hajna s sodelavci 2008a), in K-Na-glinencev. Ti minerali izvirajo iz magmatskih kamnin, ki jih ni v hidrološkem zaledju Cerkniškega polja (Buser s sodelavci 1967; Pleničar, Ogorelec in Novak 2009). Najbližje kamnine v okolici Cerkniškega polja, ki vsebujejo tudi minerale magmatskih kamnin, so eocenski fliši v Pivški kotlini in zaplata eocenskega fliša na območju Kališ pri Logatcu (Buser s sodelavci 1967). V porečje vod Cerkniškega polja bi ti minerali lahko bili prineseni z vetrom, saj deflacija flišnih kamnin poteka tudi v recentnih okoljskih razmerah (Lovrenčak 1994; Zorn 2008), utemeljeno pa lahko sklepamo, da je potekala tudi v preteklosti (Osle 1963; Marković s sodelavci 2008; Marković s sodelavci 2009; Habertlah s sodelavci 2010).

Z granulometrično analizo so bili določeni deleži peščene, meljaste in glinene frakcije v vzorcih sedimentov, s čimer sem dokazala, kateri sedimenti so bili odloženi ob poplavih. Na podlagi ameriške teksturne klasifikacije (Wentworth 1922) sem jih razvrstila v teksturne razrede. Analizirani sedimenti so po Plasterju (1992) predvsem meljasta ilovica, eden analiziranih sedimentov pa je meljasta glina (poglavje 5.2.4). Da bi določila način prenosa in sedimentacijske okoliščine, sem rezultate granulometrične analize prikazala na granulometričnem diagramu (poglavje 5.2.4).

Granulometrične analize sedimentov so pokazale, da so se vsi analizirani sedimenti ob Cerkniškem polju odlagali iz suspenzije (Hicks 2006; Young 2006; Anderson in Anderson 2010; Roy in Lamarre 2011; Warburton 2011), s čimer sem dokazala, da so poplave na območju Cerkniškega polja v preteklosti segle vsaj do nadmorske višine 575 m.

Na periodične poplave do nadmorske višine 575 m kaže laminiranost poplavne ilovice, ki je značilna za poplavne sedimente (Bull 1981; Springer in Kite 1997; House s sodelavci 2002; Ford in Williams 2007; Farrant in Smart 2011), čeprav na podlagi dosedanjih raziskav ni mogoče rekonstruirati pogostosti paleopoplav (Kochel in Baker 1982; Baker 1987; Springer 2002; Wohl 2002 v: Wohl 2006). Četudi je bil del gradiva v hidrološko zaledje Cerkniškega polja prinesen z vetrom, laminiranost analiziranih sedimentov dokazuje, da je bilo gradivo presedimentirano oziroma, da je bil zadnji transportni medij voda, ki je sediment prenašala v suspenziji.

Rezultati pridobljeni z morfološkimi, morfometričnimi in petrološkimi analizami kažejo, da so poplave v preteklosti segle vsaj do nadmorske višine 575 m, kar je 22 m višje, kot sežejo najvišje poplave v recentnih hidroloških razmerah. Ker je na obrobju Cerkniškega polja ohranjenih premalo poplavnih sedimentov, na temelju dosedanjih raziskav ni mogoče podrobneje opredeliti morfogeneze ostankov reliefnih oblik, ki so nastale ob paleopoplavah.

Hidrometrične lastnosti paleopoplav na Cerkniškem polju sem izračunala z uporabo geografskih informacijskih sistemov (poglavje 5.2.5). Modelirala sem obseg poplav, ki bi segle do nadmorske višine, do katere sem dokazala sledi paleopoplav. Izračunala sem, kakšno prostornino bi imele višje poplave, ob upoštevanju današnje oblike površja. Izračunala sem tudi površino poplavljenega površja ob višjih poplavah.

Poplava z nadmorsko višino 575 m bi imela prostornino okoli 1330 milijonov m³. Površina poplavljenega površja bi bila 58,1 km².

Ob najvišjih poplavah v današnjih hidroloških razmerah, ki sežejo do nadmorske višine 553 m, je prostornina poplavne vode okoli 291 milijonov m³, kar je 4,6-krat manj v primerjavi s poplavami do nadmorske višine 575 m.

V današnjih hidroloških razmerah je ob najvišjih poplavah poplavljenega 34,3 km² površja. Površina poplavljenega površja ob poplavah do nadmorske višine 575 m bi bila približno 1,7-krat večja od poplavljenega površja v recentnih razmerah.

Ker na Cerkniškem polju in njegovi neposredni okolici ni sledi obsežnejših akumulacij, na podlagi katerih bi lahko sklepali, da je bilo v preteklosti dno zapolnjeno s sedimenti do višjih nadmorskih višin, predvidevam, da je minimalna napaka izračunov prostornine in površine poplavljenega površja ob paleopoplavah zaradi upoštevanja današnjega reliefa. Na podlagi tega sklepam, da je bila jakost poplav (Baker 2003; Komar 2003 v: Syvitski 2003; DFO 2009; Frantar 2009, Anderson in Anderson 2010) v preteklosti večja, čeprav pridobljeni podatki ne zadoščajo za podrobnejšo rekonstrukcijo jakosti paleopoplav (Baker, Kochel in Patton 1988; House s sodelavci 2002; Wohl 2006; DFO 2009; Frantar 2009).

Morfokronološko razlago stratigrafije sedimentov na Cerkniškem polju so v preteklosti opredelili na podlagi relativnih in numeričnih kronoloških analiz (Šercelj 1970; 1973; 1974; Gospodarič 1977 v: Zupan 1991; Gospodarič in Habič 1978; Gospodarič 1981). Sinteza numeričnih (Gospodarič 1977 v: Zupan 1991; Gospodarič in Habič 1978; Gospodarič 1981) in relativnih (Šercelj 1974) morfokronoloških raziskav Cerkniškega polja kaže, da naj bi bilo polje trajno ojezerjeno pred 50.000 do 30.000 leti ter v toplih obdobjih mlajšega Würma in v zgodnjem obdobju holocena, česar pa natančneje kronološko ne določijo. V raziskavah ne navajajo razlogov za razlago naplavin na polju kot sedimente trajnih ojezeritev. Na podlagi rezultatov te raziskave pa prisotnosti jezerskih sedimentov na Cerkniškem polju ne morem niti potrditi niti zanikati, ker nisem analizirala enakih sedimentov kot raziskovalci pred menoj. Kljub temu analize sedimentov v ponornem delu polja kažejo, da so se sedimenti v preteklosti odlagali ob periodičnih poplavah.

Na podlagi speleoloških raziskav ponornega dela Cerkniškega polja je Gospodarič (1969b; 1970b; 1970c) menil, da je bil v preteklosti odtok vode s polja na nadmorski višini okoli 560 m gladina vode ob poplavah pa naj bi segala še višje. Opazil je tudi manjše zaplate drobnozrnatih sedimentov na pobočjih Javornikov, ki bi naj segali več deset metrov nad dno polja, vendar jih ni podrobneje preučeval. V pobočjih Javornikov sem na nekaj mestih zasledila ostanke drobnozrnatih sedimentov v škrapljah in razpokah, vendar z izjemo gradiva nad Jamskim zalivom, sedimenti niso bili ohranjeni v primarni legi. Sedimentov, ki niso v primarni legi, v raziskavi nisem podrobneje obravnavala zaradi negotovega izvora in stratigrafske lege.

Na Cerkniškem polju je bila v preteklosti opravljena ena numerična datacija s ^{14}C radiometrično metodo (Gospodarič in Habič 1978), s katero so določili starost vršaja Cerkniščice na več kot 55.000 let. Ker je bil domet metode v preteklosti največ do okoli 40.000 let, in je bila šele v zadnjem desetletju dosežena zadovoljiva točnost do starosti okoli 50.000–55.000 let (Hajdas 2008), je točnost datacije vršaja vprašljiva. Nekaj numeričnih datacij sige je opravil Gospodarič (1977 v: Zupan 1991) v nadaljevanju ponornega sistema Cerkniškega polja, in sicer v Zelških jamah. Na podlagi rezultatov datacij sige je sklepal, da je bil do pred 9000 leti Južni rov Zelških jam, ki je v recentnih razmerah hidrološko neaktiven, trajno hidrološko aktiven. Iz tega sledi, da je bila raven kraške vode vsaj 5 m nad današnjo, ob poplavih pa najverjetneje še višja.

Habič in Gospodarič (1978) sta ojezeritve na Cerkniškem polju v preteklosti razlagala na podlagi primerjav s starejšimi preučevanji Pivške kotline (Brodar 1960; 1966; 1967; 1969) in jih označila kot trajne ojezeritve v toplejših dobah. Drugačno razlago je podal Šercelj (1970), ki je s palinološkimi analizami ugotovil, da je bila vlažnost tal v hladnih obdobjih kljub nižji količini padavin, višja kot v toplejših obdobjih. Razmere je pojasnjeval z znižanjem evapotranspiracije in izhlapevanja, zaradi redkejšega rastlinskega pokrova v hladnejših obdobjih.

Rezultati kažejo, da je bila dinamika poplav v preteklosti podobna današnjim, saj se je laminirana poplavna ilovica odlagala ob poplavih, tako kot poteka sedimentacija poplavne ilovice v današnjih hidroloških razmerah (Gospodarič 1969a; 1969b; 1970b; 1970c; Kataster jam IZRK 2014). Predvidevam, da višje poplave niso bile posledica enkratnega ekstremnega dogodka (Šušteršič, Šušteršič in Stepišnik 2003; Šušteršič in Šušteršič 2003) in da ni šlo za trajno ojezeritev (Gospodarič in Habič 1978), temveč so bile poplave periodičen pojav, podoben današnjemu, pač skladno s takratnimi paleoekološkimi razmerami.

6.3 PLANINSKO POLJE

Na površju Planinskega polja so sledi paleopoplav (poglavje 5.3.1), ki so segale višje od recentnih poplav, v zatrepni dolini Malni, ki je v zaledju izvira Malenščice na jugozahodni strani polja. Zatrepna dolina je dolga 900 m in široka od 50 do 100 m. V recentnih hidroloških razmerah so dejavni izviri na severni strani doline na nadmorski višini 448 m, ob najvišjih poplavih do višine 460 m. To pomeni, da seže gladina podzemne vode na območju največ do nadmorske višine okoli 460 m. Južni del dna zatrepne doline je zapolnjen z drobnozrnatimi sedimenti, ki jih sledimo ob vznožju pobočij, kjer prekrivajo melišča do nadmorske višine 495 m. V osrednjem delu je v dnu manjša uravnava na nadmorski višini 480 m. Z meritvami električne upornosti tal (Stepišnik s sodelavci 2012) je bilo ugotovljeno, da debelina sedimentov v dnu zatrepne doline presega 22 m.

Drobnozrnate sedimente sem prepoznala tudi v dnu udornice Mrzli dol (Stepišnik 2010), ki je 150 m zahodno od zatrepne doline Malni (poglavje 5.3.2). Sedimenti v dnu so uravnani na nadmorski višini 495 m (Stepišnik 2010). Z meritvami električne upornosti tal je Stepišnik (2010) izmeril, da je globina sedimenta v dnu okoli 5 m.

Drobnozrnati sedimenti na višji nadmorski višini, kot jo doseže najvišja gladina kraške vode v današnjih hidroloških razmerah (Kataster jam IZRK 2014), so ohranjeni tudi v jamah (poglavje 5.3.3) na jugozahodni izvorni strani Planinskega polja (Gospodarič 1976; Šušteršič, Šušteršič in Stepišnik 2003; Zupan Hajna s sodelavci 2008a; Stepišnik s sodelavci 2012). Največ jih je v najvišjih stranskih rovih Planinske jame, medtem ko so sledi drobnozrnatih sedimentov slabo ohranjene v glavnem pretočnem rovu.

Najvišje odložene drobnozrnate sedimente sem prepoznali v Pivškem rokavu za Zadnjim stebrom, kjer je ob desnem bregu Pivke okoli 20 m visok nasip naplavin, ki seže do nadmorske višine 495 m. V spodnjem delu je grušč, ki naj bi izviral iz območja Planinske koliševke (Gospodarič in Pavlovec 1974; Gospodarič 1976), zgoraj pa je laminiran drobnozrnat sediment, ki ga ponekod prekriva nekaj sige. Do nadmorske višine 495 m so odloženi tudi drobnozrnati sedimenti v stranskih rovih Katernov rov in Tiha

jama. V Pivškem rokavu pred Zadnjim stebrom sem v kratkem stranskem rovu našla 7 m visok nasip drobnnozrnatih sedimentov, ki sežejo do nadmorske višine 480 m. Južno od sotočja Pivke in Raka je Rudolfov rov, kjer je nad ostalimi naplavinami (Gospodarič 1976) do nadmorske višine 475 m odložen laminiran drobnnozrnat sediment (Kataster jam IZRK 2014).

V recentnih hidroloških razmerah seže gladina kraške vode ob najvišjih poplavah do nadmorske višine okoli 470 m v pritočnih sifonih Pivškega in Rakovega rokava Planinske jame (Gospodarič 1976; Kataster jam IZRK 2014) ter do nadmorske višine 458 m ob izviru Unice na vhodu v Planinsko jamo (Arhiv hidroloških podatkov 2011). Drobnnozrnate naplavine v stranskih rovih so odložene do 37 m višje kot seže najvišja gladina kraške vode v današnjih hidroloških razmerah.

Da bi dokazala, da so se drobnnozrnati sedimenti v preteklosti odlagali iz poplavne vode, so bili vzorčeni in petrološko analizirani (poglavje 5.3). Vzorčila sem gradivo v zatrepni dolini Malni, udornici Mrzli dol ter na treh lokacijah v Planinski jami: (1) za Zadnjim stebrom na nadmorski višini 495 m, (2) pred Zadnjim stebrom na nadmorski višini 480 m in (3) v Rudolfovem rovu na nadmorski višini 475 m. Analize so obsegale rentgensko difrakcijo in granulometrično analizo sedimentov.

Z rentgensko difrakcijo je bila določena mineraloška zgradba sedimentov (poglavje 5.3), ki je pokazala, da vsebujejo sedimenti največ mineralov kremenca, povprečno okoli 60 %. Prisotni so še minerali muskovita in illita, klorita, v posameznih vzorcih je še nekaj odstotkov K-Na-glinencev in Na-Ca-plagioklazov. Ker mineralov ni v matični podlagi preučevanega območja (Buser s sodelavci 1967; Pleničar, Ogorelec in Novak 2009), lahko sklenem, da gre za alohtono gradivo, ki ni nastalo *in situ* (Župan Hajna s sodelavci 2008a).

Z granulometrično analizo so bili določeni deleži peščene, meljaste in glinene frakcije v vzorcih sedimentov. Dokazujem, da so bili sedimenti odloženi ob poplavah. Na podlagi ameriške teksturne klasifikacije (Wentworth 1922) sem jih razvrstila v teksturne razrede. Analizirani sedimenti se po Plasterju (1992) uvrščajo med meljasto ilovico (poglavje 5.3.4). Da bi določila način prenosa in sedimentacijske okoliščine, sem rezultate granulometrične analize prikazala na granulometričnem diagramu (poglavje 5.3.4). Granulometrične analize sedimentov so pokazale, da so se vsi analizirani sedimenti odlagali iz suspenzije (Hicks 2006; Young 2006; Anderson in Anderson 2010; Roy in Lamarre 2011; Warburton 2011). Tudi laminiranost analiziranih drobnnozrnatih sedimentov je značilna za poplavne sedimente (Bull 1981; Springer in Kite 1997; House s sodelavci 2002; Ford in Williams 2007; Farrant in Smart 2011). Iz tega sledi, da je gladina vode ob paleopoplavah (Kochel in Baker 1982; Baker 1987; Springer 2002; Wohl 2002 v: Wohl 2006) na Planinskem polju segala vsaj do nadmorske višine 495 m, s čimer sem dokazala obstoj višjih poplav v preteklosti.

Rezultati raziskav se ujemajo z nekaterimi starejšimi raziskavami, kjer so prav tako identificirali poplavno ilovico v Planinski jami do nadmorske višine 495 m (Gospodarič 1976; Šušteršič, Šušteršič in Stepišnik 2003; Stepišnik s sodelavci 2012).

Rezultati pridobljeni z morfografskimi, morfometričnimi in petrološkimi analizami kažejo, da so poplave v preteklosti segale vsaj do nadmorske višine 495 m, kar je 35 m višje kot sežejo najvišje poplave, ki jih poznamo v današnjih hidroloških razmerah.

Ker se je poplavna ilovica odlagala na primerljivih nadmorskih višinah na površju ter v udornicah in jamah (Stepišnik 2010; Stepišnik s sodelavci 2012, Kataster jam IZRK 2014), sklepam, da je bilo poplavljenno celotno Planinsko polje. Nisem zasledila sledi poplav, ki bi presegle nadmorsko višino 495 m. To ustreza nadmorski višini najnižjega dela oboda Planinskega polja pri Grčarevcu, ki je na nadmorski višini 500 m, in predstavlja najvišjo točko, do katere bi poplave na polju lahko segle, preden bi voda začela površinsko odtekati proti Logatcu. Najnižji del oboda je bil morfografsko analiziran, vendar tam nisem zasledila sledi paleopoplav ali morebitnega površinskega iztoka.

Z uporabo geografskih informacijskih sistemov sem izračunala hidrometrične lastnosti paleopoplav na Planinskem polju (poglavje 5.3.5). Modelirala sem obseg poplav, ki bi segle do nadmorskih višin, do katerih sem dokazala sledi paleopoplav. Izračunala sem prostornino poplav ob upoštevanju današnje oblike površja. Izračunala sem tudi površino poplavljenega površja.

Poplave do nadmorske višine 495 m bi imele prostornino okoli 602 milijonov m³, poplavljenega bi bilo okoli 17 km² površja. Poplave do nadmorske višine 480 m bi imele prostornino 382 milijonov m³, poplavljenega pa bi bilo okoli 13 km² površja.

Ob najvišjih poplavah v današnjih hidroloških razmerah, ki sežejo do nadmorske višine 460 m, je prostornina poplavne vode okoli 144 milijonov m³, kar je 4,2-krat manj v primerjavi s poplavami do nadmorske višine 495 m in 2,7-krat manj v primerjavi s poplavami do nadmorske višine 480 m.

V današnjih hidroloških razmerah je ob najvišjih poplavah poplavljenega okoli 11 km² površja. Površina poplavljenega površja ob poplavah do nadmorske višine 495 m bi bila približno 1,5-krat večja od poplavljenega površja v recentnih razmerah, ob poplavah do nadmorske višine 480 pa 1,2-krat večja.

Na Planinskem polju ni sledi obsežnejših akumulacij, ki bi v preteklosti zapolnjevale dno polja do višjih nadmorskih višin. Zato je ob upoštevanju današnje izoblikovanosti površja, napaka izračuna prostornine in površine poplavljenega površja ob paleopoplavah zanemarljiva. Sicer smemo sklepati, da je bila jakost paleopoplav (Baker 2003; Komar 2003 v: Syvitski 2003; DFO 2009; Frantar 2009; Anderson in Anderson 2010) v preteklosti večja, čeprav pridobljeni podatki ne zadoščajo za podrobnejšo rekonstrukcijo njihove jakosti (Baker, Kochel in Patton 1988; House s sodelavci 2002; Wohl 2006; DFO 2009; Frantar 2009).

Na Planinskem polju sem prepoznala sledi paleopoplav, ki so segle do nadmorske višine 495 m. Primerjava rezultatov lastnih analiz in rezultatov drugih morfokronoloških raziskav, ki so temeljile na relativnih in numeričnih datacijskih metodah (Gospodarič in Pavlovec 1974; Gospodarič 1976; 1982a; 1982b; Šebela in Sasowsky 1999; Šušteršič, Šušteršič in Stepišnik 2003; Zupan Hajna s sodelavci 2008a; 2008b; Zupan Hajna, Mihevc in Prelovšek 2010; Stepišnik s sodelavci 2012) kaže, da je bila Planinska jama v razvojnih fazah večkrat poplavljena vsaj do nadmorske višine od 480 do 495 m (Gospodarič 1976; Šebela in Sasowsky 1999; Zupan Hajna s sodelavci 2008a; 2008b; Zupan Hajna, Mihevc in Prelovšek 2010; Stepišnik s sodelavci 2012).

Glede na ohranjenost in stratigrafsko lego poplavne ilovice v zatrepni dolini Malni, v kateri so še zmeraj dobro ohranjene lamine (Bridge 2003; Gilbert 2003; Potter 2003; Harden 2006; Egli, Mirabella in Sartori 2008; Saarnisto in Ojala 2009; Robinson in Moses 2011), poplavna ilovica pa je stratigrafsko odložena nad vsemi ostalimi plastmi sedimentov (Gams 1966; Stepišnik s sodelavci 2012), sklepam, da se je poplavna ilovica v Malnih odlagala v enem od najmlajših obdobj poplav, kar se ujema z ugotovitvami Stepišnika s sodelavci (2012), ki so poplavno ilovico v Malnih z numerično datacijo časovno uvrstili v obdobje pred okoli 5700 leti.

Rezultati kažejo, da je bila dinamika poplav v preteklosti podobna današnjim, saj se je laminirana poplavna ilovica odlagala ob poplavah (Nanson in Gibling 2003; Anderson in Anderson 2010; Warburton 2011), kakor poteka sedimentacija poplavne ilovice v današnjih hidroloških razmerah (Gospodarič 1976; Stepišnik s sodelavci 2012; Kataster jam IZRK 2014). Zato utemeljeno sklepam, da so bile višje poplave v preteklosti periodičen pojav, ki je bil odvisen od vsakokratnih paleoekoloških razmer (Kochel in Baker 1982; Baker 1987; Springer 2002; Wohl 2002 v: Wohl 2006; Anderson in Anderson 2010).

6.4 SKUPNE ZNAČILNOSTI PALEOPOPNAV V POREČJU LJUBLJANICE IN VZROKI ZANJE

Skupne značilnosti paleopoplav, ki sem jih preučevala v porečju Ljubljane na primerih Pivške kotline, Cerkniškega in Planinskega polja, kažejo, da sta bila obseg in višina poplav na celotnem preučevanem območju v preteklosti večja, kot jih dosežejo največje znane poplave v recentnih hidroloških razmerah.

Med cilji raziskave je bilo prepoznati sledi paleopoplav na površju in v podzemlju ter prostorsko dokumentirati njihov prostorski in višinski obseg.

Možne sledi paleopoplav, ki sem jih prepoznala z morfološko analizo, sem morfometrično analizirala in ugotovila, da so poplave v Pivški kotlini v preteklosti segale vsaj do nadmorske višine 535 m,

kar je 15 m nad današnjimi poplavami. Na Cerkniskem polju so segale do nadmorske višine 575 m, kar je 22 m nad višino današnjih poplav. Na Planinskem polju so segale do nadmorske višine 495 m, kar je 35 m nad višino današnjih poplav.

Nadaljnji cilj raziskave je bil, ugotoviti izvor in velikostno sestavo drobnnozrnatega gradiva, ki gradi sledi paleopoplav ter tako dokazati, katere oblike so nastale ob paleopoplavah.

Drobnnozrnate sedimente, ki gradijo oblike, katere sem prepoznala kot možne sledi paleopoplav, so bile analizirane s petrološkimi analizami v laboratorijih. Z metodo rentgenske difrakcije je bil analiziran izvor gradiva in ugotovljeno, da gradivo izvira iz okoliške kamninske podlage ali iz hidrološkega zaledja. Z metodo rentgenske fluorescence je bila analizirana kemijska sestava sedimentov in ugotovljeno, da so tudi sedimenti, ki imajo enako osnovno kemijsko zgradbo kot okoliška kamninska podlaga, presedimentirani in niso preperinski ostanek matične podlage. Z granulometrično metodo je bila ugotovljena velikostna sestava delcev v analiziranih vzorcih sedimentov, ki kaže na to, da se je gradivo odlagalo iz suspenzije (slika 88).

Na podlagi rezultatov morfoloških, morfometričnih in petroloških analiz sem razložila morfogenezo preučevanih oblik in tako določila tiste reliefne oblike, ki so nastale ob poplavah, s čimer sem dokazala obstoj in prostorski obseg paleopoplav v porečju Ljubljane.

Cilj raziskave je bil tudi izračunati hidrometrične lastnosti paleopoplav.

Hidrometrične lastnosti paleopoplav sem izračunala z modeliranjem višine in obsega paleopoplav. Prostornina najvišjih ugotovljenih paleopoplav v Pivški kotlini je bila 31 krat večja, površina poplavljenega površja pa 6-krat večja od današnjih poplav. Prostornina najvišjih ugotovljenih paleopoplav na Cerkniskem polju je bila 4,6-krat večja, površina poplavljenega površja pa 1,7-krat večja od današnjih poplav. Prostornina najvišjih ugotovljenih paleopoplav na Planinskem polju je bila 4,2-krat večja, površina poplavljenega površja pa 1,5-krat večja od današnjih poplav.

Naslednji cilj raziskave je bil časovno predeliti obdobje pojavljanja paleopoplav.

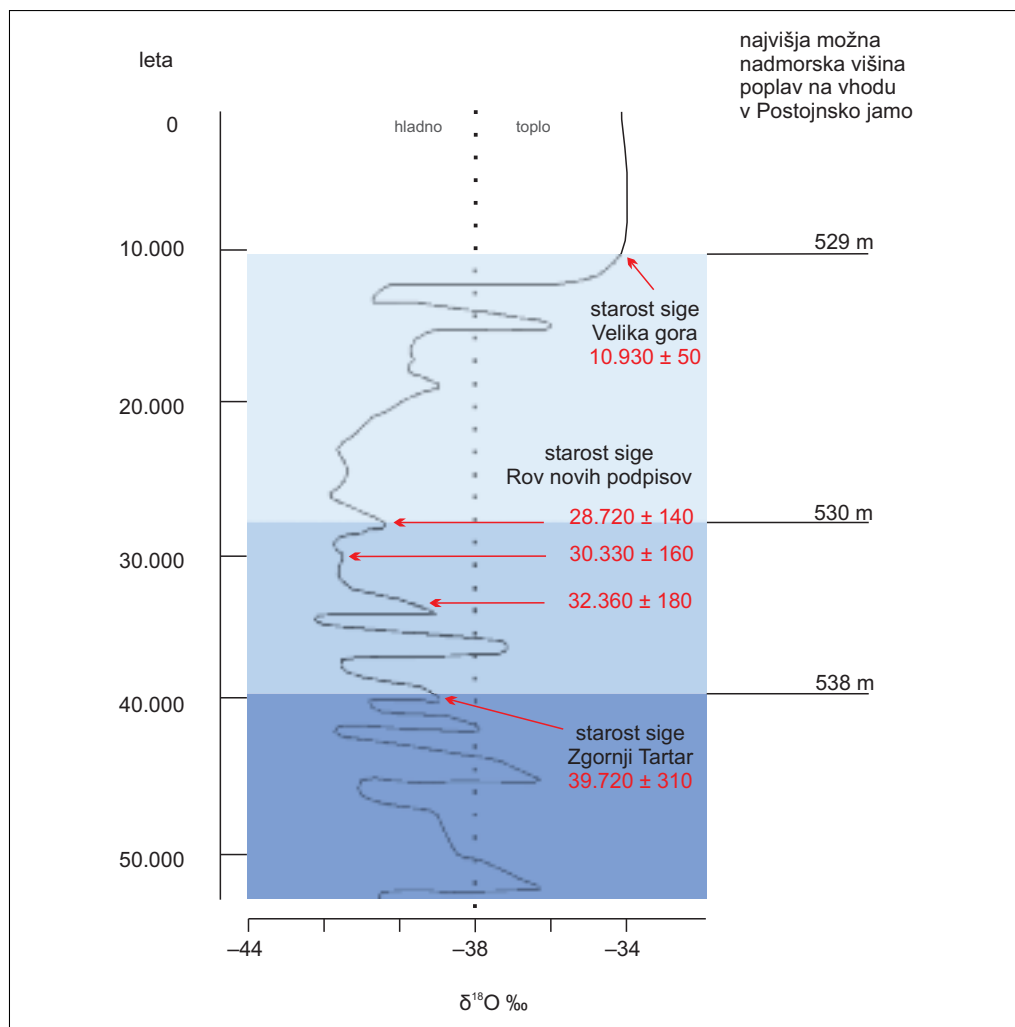
Na podlagi morfo-kronološki analiz sem za Pivško kotlino lahko ločila tri obdobja, v katerih se je višina paleopoplav zmanjševala (slika 89). Do pred 39.700 leti (do sredine MIS 3) so poplave na vhodu v Postojnsko jamo lahko segle vsaj do nadmorske višine 538 m. Do pred 28.700 leti (do zadnje faze MIS 3) so poplave na vhodu v Postojnsko jamo segle do nadmorske višine 530 m. Do pred 10.900 leti (do zgodnjega holocena) so poplave na vhodu v Postojnsko jamo lahko segle največ do nadmorske višine 529 m.

Najtočnejši časovni okvir pojavljanja paleopoplav v Pivški kotlini sem ugotovila na podlagi datacij sige med poplavno ilovico na nadmorski višini 530 m v Rovu novih podpisov v Postojnski jami. Paleopoplave so se pojavljale v daljšem časovnem obdobju do pred 32.400 leti, v katerem je bilo odložene okoli 45 cm drobnnozrnate poplavne ilovice. Sledilo je odlaganje sige. V naslednjem časovnem razdobju (približno 2000 let) pred 32.400 do 30.300 leti, se je ponovilo odlaganje poplavne ilovice, ki je je 10 cm. Odlaganje je ponovno prekinilo odlaganje sige. Zadnje razdobje, ko se je na tej nadmorski višini odlagala poplavna ilovica, je trajalo približno 1600 let – pred 30.300 do 28.700 leti. Za tem je sedimente prekrila siga nad katero ni drugih sledi akumulacije ali erozije sedimentov (to obenem pomeni, da hiatus sedimentacije v Rovu novih podpisov traja že več kot 28.000 let). Glede na izračunani teoretični sedimentacijski stopnji odlaganja najvišje in najmlajše ter srednje plasti poplavne ilovice med datiranimi plastmi sige, sklepam, da bi bilo za sedimentacijo 45 cm debele plasti poplavnih sedimentov potrebnih od 3600 do 9000 let; teoretična hitrost usedanja sedimenta je torej med 0,05 in 0,125 mm/leto. Če izključimo morebitna daljša obdobja sedimentacijskih hiatusov (struktura sedimentacijskih sekvenc ne kaže na prekinitve), bi se obdobje visokih poplav začelo že pred okoli 36.000 do 41.000 let pred sedanostjo ali prej. Z gotovostjo pa lahko trdimo, da od 28.700 let pred sedanostjo poplave v Rovu novih podpisov niso več segle do nadmorske višine 530 m ali več.

V drugih preučevanih jamskih rovih poplavni sedimenti in sige med njimi niso ohranjeni na tako primeren način, torej kot zvezno menjavanje poplavne ilovice in sige, zato tako podrobne časovne razlage niso bile mogoče.

Rezultati preteklih morfokronoloških raziskav na Cerkniškem polju (Gospodarič 1977 v: Zupan 1991; Šercelj 1974; Gospodarič in Habič 1978; Gospodarič 1981) kažejo, da naj bi bilo polje poplavljeno v obdobju pred 55.000 leti, med 50.000 do 30.000 leti pred sedanostjo ter v več mlajših obdobjih s toplejšim podnebjem. Zaradi nezanesljivosti in krajšega dometa radioogljikove metode je pravilnost datacij vprašljiva (v času, ko so analize opravili, je bil domet metode največ 40.000 let; Hajdas 2008).

V okviru raziskave sem našla premalo potencialnih vzorčnih območij za podrobnejše analize. Kljub temu, da se časovno obdobje pojavljanja paleopoplav v Pivški kotlini, približno ujema s starejšimi razlagami za Cerkniško polje (zlasti z domnevnim obdobjem poplavljenosti polja med 50.000 do 30.000 leti



Slika 89: Kronološka razlaga najvišjih možnih paleopoplav na vhodu v Postojnsko jamo na podlagi datacij sige iz Postojnske jame (krivulja izotopov prirejena po NGRIP members (2004)).

pred sedanostjo), reinterpretacija morfo-kronološkega razvoja, ki so ga predstavili v preteklosti, in časovna opredelitev paleopoplav, še ni mogoča.

Na podlagi raziskav lahko potrdim ugotovitve starejših morfo-kronoloških raziskav na Planinskem polju (Gospodarič 1976; Šebela in Sasowsky 1999; Zupan Hajna s sodelavci 2008a; 2008b), da je bilo v preteklosti več obdobj, ko so se pojavljale bistveno višje poplave od današnjih. Razlaga podnebnih in paleoekoloških razmer, v katerih so se pojavljale paleopoplave, še ni mogoča zaradi pomanjkanja novih kronoloških podatkov. Stepišnik in sodelavci (2012) so opravili datacijo sige med poplavno ilovico na nadmorski višini 495 m v stranskem rovu Tiha jama v Planinski jami, ki je pokazala, da so se poplave do nadmorske višine 495 m pojavljale še v času pred okoli 5700 leti, kar pomeni, da paleopoplave niso bile vezane izključno na pleistocen. Kljub temu podrobnejša opredelitev obdobj pojavljanja paleopoplav in njihove odvisnosti od vsakokratnih paleoekoloških razmer še ni mogoča.

Krivilje globalnih paleopodnebnih sprememb temeljijo na izotopskih analizah globokomorskih sedimentov, fosilnega ledu (slika 89) ter analizah magnetne susceptibilnosti puhlice (Tungsheng s sodelavci 1985; Denton in Hughes 1986; Turk in Verbič 1993; NGRIP members 2004; Denton s sodelavci 2005; Ogrin 2005; Šibrava 2010; Mather 2011).

Paleopodnebnе raziskave z različnih delov Evrope se med seboj razlikujejo in so pogosto bolj posledica regionalnih ali krajevnih razmer (Zolyomi 1953; Lona 1957; Lüdi in Studer 1959; Alley s sodelavci 1997; Starkel 2002; Voelker 2002; Magny s sodelavci 2003; Mayewski s sodelavci 2004; Moreno s sodelavci 2004; Seppä s sodelavci 2007; Marković s sodelavci 2008; 2009; Veres s sodelavci 2008; Bordon s sodelavci 2009; Combourieu Nebout s sodelavci 2009, Bordon in Levermann 2010; Smalley s sodelavci 2010). Na regionalni in krajevni ravni raziskave pogosto temeljijo na izotopskih analizah rečnih in jezerskih sedimentov ter sige, termoluminescenci, paleomagnetizmu in radiometričnih metodah, palinoloških ter dendrokronoloških analizah (Magny s sodelavci 2003; Constantin Nebout s sodelavci 2007; Zupan Hajna s sodelavci 2008a; 2008b; Zupan Hajna, Mihevc in Prelovšek 2010; Sanders in Ostermann 2011).

Novejše raziskave v Sloveniji, ki obsegajo tudi razlago paleopodnebnih razmer poznega pleistocena, so bile opravljene na primeru jamskega paleolitskega najdišča Divje Babe 1 (Turk 2007). Na podlagi oblikovanosti grušča, kjer so opazovali sledi zmrzali ali korozije, so sklepali na temperaturo ter vlažnost v preučevanih plasteh jamskih sedimentov v prerezu, ki so ga s standardno elektronsko spinsko resonanco (ESR) datirali v obdobje pred 120.000 do 35.000 leti. Ugotovili so, da je bilo obdobje pred 70.000 do 55.000 leti hladno do mrzlo ter vlažno. Takšne podnebne razmere bi z vidika intenzivnosti hidro-geomorfnih procesov lahko bile ugodne za pojavljanje izrazitejših poplav (French 2011; Hall, Thorn in Summer 2012). Kronološko se teza ujema s sicer pogojno verodostojnimi morfo-kronološkimi ugotovitvami preteklih raziskav na Cerkniškem polju (Šercelj 1974; Gospodarič in Habič 1978), po katerih bi naj do pred okoli 55.000 leti potekalo odlaganje pretežno jezerskih sedimentov. Kaže pa, da njihovo sklepanje o paleoekoloških razmerah v času odlaganja drobnozrnatih sedimentov, kar so povezovali s toplimi obdobji (Šercelj 1974; Gospodarič in Habič 1978), ni bilo pravilno. V obdobju pred 50.000 do 38.000–40.000 leti so v Divjih babah 1 (Turk 2007) ugotovili izrazito menjavanje temperatur (zelo hladnih in zelo toplih obdobj) ter količine padavin (suhih in vlažnih obdobj), sledilo naj bi mu zmernejše interstadialno podnebje, ki je trajalo do naslednje izrazitejše ohlavitve. Prav za to obdobje prehoda od izrazito nestanovitnih podnebnih razmer z veliki temperaturnimi in padavinskimi nihanjem do zmernejšega interstadialnega obdobja, sem za Pivško kotlino dokazala pojavljanje paleopoplav z večjo jakostjo. Spremenljivost podnebja tega obdobja onemogoča nedvoumne sklepe o odvisnosti paleopoplav od specifičnih paleoekoloških značilnosti, to je njihovo vzročno-posledično zvezo s toplejšim ali hladnejšim podnebjem. Spremenljivost paleopodnebnih oziroma paleoekoloških dejavnikov samih bi bilo mogoče razlagati kot okrepitevni dejavnik jakosti paleopoplav.

Obdobje izrazitejše ohlavitve povezujejo z viškom zadnje poledenitve (LGM) pred 20.000 leti (Peyron s sodelavci 1998; Mather 2011), ko naj bi zgornjo plast sedimentov v Divjih babah 1 preoblikovali krioturbacijski procesi (Turk 2007). Vendar je treba poudariti, da so vprašljive vse paleopodnebnе razlage,

ki izhajajo iz predpostavke, da krioturbatni pojavi v jamskih sedimentih pripadajo hladnejšim obdobjem. Za kraška območja, zlasti jamske vhode in kraške kotanje, je namreč značilno, da poteka intenzivna krioturbacija tudi v recentnih, torej v interstadialnih podnebnih razmerah (Mihevc 2009).

Na Dinarskem krasu so ob globalnih in regionalnih podnebnih značilnostih zelo pomembne mikropodnebnne spremembe, predvsem zaradi kraškega reliefa, za katerega so značilne kraške kotanje, ki so praviloma hladnejše od okolice (Ogrin, Sinjur in Ogron 2006; Prelovšek 2010). V današnjih podnebnih razmerah so bile na kraških poljih izmerjene rekordno nizke temperature: $-34,5^{\circ}\text{C}$ na Babnem polju (Prelovšek 2010), $-41,8^{\circ}\text{C}$ na Velikem polju pri Igmanu v Bosni in Hercegovini (Rodić 1987). Hall, Thorn in Summer (2012) pa so ugotovili, da lahko v severnem delu Kanade tudi v zimskih razmerah, ko so temperature pod ničlo, poteka korozija v prisojnih legah, če je kamninska podlaga dovolj vlažna. To nedvomno kaže, da je pri razlagah paleopodnebnih razmer, še zlasti v kraških pokrajinah, nujno treba upoštevati čim več različnih dejavnikov, da se izognemo napakam.

Morfokronološke analize, ki sem jih opravila v Pivški kotlini, so pokazale, da so do pred okoli 39.700 leti poplave lahko segle do okoli 18 m višje od recentnih poplav, do pred 28.700 leti pa okoli 10 m višje od recentnih poplav. Primerjava rezultatov te raziskave s paleopodnebno rekonstrukcijo Turka (2007) kaže, da so bila hladna in vlažna obdobja ugodna za pojavljanje obsežnih poplav, vendar ne izključno, saj so na dinamiko poplav lahko vplivala tudi večja podnebna nihanja (Veres s sodelavci 2008). Prav tako še ne moremo zadovoljivo pojasniti, zakaj od 28.700 let pred sedanostjo poplave v Pivški kotlini niso več segle do tako visokih nadmorskih višin kot v obdobjih pred tem oziroma, zakaj kasneje ni več prišlo do tako izrazite akumulacije.

Za podrobno časovno opredelitev višjih rečnih teras v Pivški kotlini, bo v prihodnje nujno neposredno datiranje sedimentov akumulacijskih teras, na primer z optično stimulirano luminescenco (angleško *Optically stimulated luminescence* – OSL) (Huntley, Godfrey-Smith in Thewalt 1985; Preusser s sodelavci 2008).

Na višji vodostaj v starejših hladnih obdobjih, kot v času zadnjega viška poledenitve in mlajših obdobjih kažejo tudi raziskave rečnih in koluvialnih (melišča) sedimentov pri Innsbrucku v Avstriji (Sanders in Ostermann 2011). Ugotovili so, da so se v obdobju pred 36.300 do 31.900 leti, ko je bilo podnebje hladno, na območju pa so prevladovali periglacialni procesi (Fliri 1973; Klasen s sodelavci 2007), ob reki Inn v jezerskem okolju odlagali drobnozrnati sedimenti, ki so ohranjeni v najvišji akumulacijski terasi. Do tolikšne nadmorske višine gladina vode ni več segla v nobeni mlajši fazi. To obdobje visokega vodostaja ob reki Inn se povsem ujema s časovno razlago paleopoplav v Pivški kotlini. Od okoli 30.000 let pred sedanostjo sta potekala intenzivnejši prenos in odlaganje proda iz stranskih dolin pritokov Inna (Fliri 1973; Patzelt in Resch 1986). Nad prodom je v glavni dolini odloženo morensko gradivo Innskega ledenika, ki je bilo datirano na 24.000–21.500 let (Patzelt in Resch 1986). Po umiku ledenika je sledilo obdobje intenzivnega odlaganja rečnih naplavin, a do nižjih nadmorskih višin kot v starejši akumulacijski terasi. Odlaganje je bilo sprva hitrejše, od 17.000 let pred sedanostjo, ko se je na območju ponovno razširil gozd, pa se je hitrost odlaganja zmanjševala vse do holocena, ko se je začela močna erozija starejših naplavin in poglobljanje vodotokov. Sanders in Ostermann (2011) ugotavljata, da so obdobja pospešene akumulacije pobočnega gradiva in rečnih naplavin v nižjih delih porečja močno odvisna od pogostosti zmrzovanja in taljenja (Peltier 1950; Hallet, Walden in Stubbs 1991; Matsouka 2001; Hall in Andre 2003); kar sta Hals in Roering (2005) opredelila kot meliščno okno (angleško *talus window*). Zmrzalno preperevanje naj bi bilo najučinkovitejše pri temperaturah med -3° in -6°C (Murton, Peterson in Ozouf 2006). Rezultati morfokronoloških analiz kažejo, da so bila za nastanek obsežnejših poplav najverjetneje najprimernejša hladna obdobja z redkejšim rastjem, če je bilo dovolj padavin, pomemben dejavnik pa so še izraziti prehodi med glaciali in interglaciali ter stadiali in interstadiali, ko je prihajalo do hitrih okoljskih sprememb (Hall, Thorn in Summer 2012; Heckmann s sodelavci 2008; Sanders in Ostermann 2011).

Poplave do nadmorske višine 495 m na Planinskem polju, kar je 35 m nad recentnimi poplavami, ki so se pojavljale še pred okoli 5700 leti (Stepišnik s sodelavci 2012), ustrezajo hladnejšemu obdobju

pred 6000 do 5000 leti (Mayewski s sodelavci 2004), ko naj bi se podnebje severovzhodnega Sredozemlja ohladilo predvsem zaradi zimskih vdorov polarnih zračnih gmot. Toda podnebne spremembe v holocenu imajo manjša nihanja od pleistocenskih, zato se vsiljuje misel, da so na višino poplav vplivali še drugi dejavniki.

Pri paleopodnebnih razlagah za območje zahodne in jugozahodne Slovenije moramo upoštevati, da je bila v času največjega poledenitvenega viška gladina Jadranskega morja za okoli 120 m nižja in je bilo območje severnega Jadrana kopno (Ogrinc s sodelavci 2012). Po višku poledenitve se je morje sprva dvigalo za okoli 10 mm na leto (Amorosi s sodelavci 1999 v: Ogrinc s sodelavci 2012). Največji obseg je imelo pred 5000 leti, ko je prekrivalo tudi lagune pri Benetkah in Gradežu ter segalo 50 km daleč v notranjost po delti reke Pad (Bortolami s sodelavci 1977 v: Ogrinc s sodelavci 2012; Marocco 1991 v: Ogrinc s sodelavci 2012). Kakšen učinek, če sploh, bi imelo hitro dviganje morske gladine na višje poplave v porečju kraške Ljubljane, kjer so Stepišnik in sodelavci (2012) ugotovili, da so se izjemno visoke poplave na Planinskem polju pojavljale še pred 5700 leti, še ne moremo pojasniti. Zlasti, ker porečje Ljubljane sodi k Črnomoškemu povodju in ni neposredno hidrološko vezano na Jadransko morje. Dejstvo pa omenjam, ker bi prostorska razporeditev morja in kopnega v takšni bližini lahko vplivala na količino ali razporeditev padavin in prevladujoče smeri gibanja zračnih gmot na preučevanem območju. Transgresija morja v Tržaškem zalivu je trajala od 9000 do 6000 let pred sedanjostjo (Ogrinc s sodelavci 2012).

Paleoekološke raziskave holocenskih razmer v porečju Ljubljane kažejo, da bi lahko imel kot preoblikovalec naravnega okolja pomembno vlogo tudi človek (Šercelj 1967; 1973; 1974; Andrič 2001; 2003; Budja 2007; Velušček 2010). Andričeva (2001; 2003) je s palinološkimi analizami na Cerkniškem polju ugotovila, da se je pred 7000 leti delež gozdnega rastja nenadno zmanjšal, kar je razlagala kot posledico sprememb hidroloških razmer (dolgotrajnejše poplave zaradi povečane količine padavin) ali posledico antropogenega požiganja in odstranjevanja gozdnega rastja s polja.

Cilj raziskave je bil tudi opredeliti dinamiko paleopoplav in določiti možne vzroke za njihovo pojavljanje.

Na podlagi rezultatov predhodnih analiz sem razložila morfodinamiko paleopoplav, ki kaže, da je bila dinamika poplav v preteklosti podobna današnjim, saj so se laminirani drobnozrnati sedimenti odlagali ob poplavah (Nanson in Croke 1992; Aslan 2003; Bridge 2003; Nanson in Gibling 2003; Potter 2003; Bloesch 2004; Harden 2006; Marriott 2006; Ford in Williams 2007; Anderson in Anderson 2010; Warburton 2011). Če bi se preučevalo drobnozrnato gradivo odlagalo ob trajnih ozezeritvah, bi se velikost delcev morala dolvodno zmanjševati (Young 2006). Granulometrične analize so pokazale, da se velikosti delcev zgolj minimalno razlikujejo, pri čemer razlike niso vezane na prostorsko različne lokacije, saj se minimalne razlike pojavljajo tudi znotraj posameznih vrtin. Sedimentacija drobnozrnatih laminiranih sedimentov je značilna tudi za recentne hidrološke razmere v Pivški kotlini in na kraških poljih Notranjske (Gams 1966; Gospodarič in Habič 1966; Gospodarič 1969a; 1969b; 1970b; 1970c; 1976; Kogovšek s sodelavci 2010; Kataster jam IZRK 2014). Na območju Slovenije v današnjih hidroloških razmerah ni trajno ozezerjenih kraških polj. Na območju Dinarskega gorstva so trajno ozezerjena le nekatera kraška polja v neposredni bližini Jadranskega morja (Habič 1987). Laminiranost gradiva dokazuje periodično ponavljanje poplav (Bull 1981; Springer in Kite 1997; House s sodelavci 2002; Nanson in Gibling 2003; Ford in Williams 2007; Anderson in Anderson 2010; Farrant in Smart 2011; Warburton 2011). Globina oziroma debelina laminiranih sedimentov, ki je od nekaj centimetrov do več metrov, je dokaz mnogih periodičnih poplavnih dogodkov (Starkel 2002). Na podlagi rezultatov sem dokazala, da so se v preteklosti v porečju Ljubljane pojavljale višje poplave, kot jih poznamo v današnjih hidroloških razmerah.

Možnih vzrokov za pojavljanje višjih poplav v preteklosti je več. V literaturi se je najbolj izpostavljalo: (1) prepustnost ponorov in (2) nastanek udornic, poleg tega pa še (3) tektoniko, (4) podnebje in (5) človeka.

V preteklosti so poplave na kraških poljih razlagali s preprosto enačbo vodne bilance (Bonacci 1987a; 1987b; Ford in Williams 2007), ki temelji na razmerju med pritokom in odtokom vode ter nihanju višine vodne gladine na polju. Poplave so razlagali kot posledico manjše prepustnosti ponorov v primerjavi z izviri (Breznik 1961; 1998; Gams 1965; 1966; Ravnik 1976). A poplave na kraških poljih so posledica nihanja gladine podzemne vode v krasu (Ford in Williams 2007) in niso vezane na posamezne kanale ter njihovo prepustnost. S preučevanjem nihanja gladine podzemne vode v porečju kraške Ljubljane so (Turk 2008; Turk in Gabrovšek 2009) dokazali, da so poplave na Planinskem polju posledica dviga gladine podzemne vode v ponornem zaledju. Ugotovili so, da se z oddaljenostjo od ponorov na robu polja, nihanje gladine podzemne vode vse bolj povečuje, pri čemer se oblikujejo obsežne podzemne poplave, ki se gorvodno razširijo tudi na Planinsko polje. Torej poplave niso vezane le na kraška polja, ampak so le odraz hidroloških razmer v širšem kraškem območju.

Kot možni vzrok večjih hidroloških sprememb v kraških sistemih, se v literaturi pogosto omenjajo udornice (Gams 1965; Habič 1973; 1984; Šebela 1998; Šušteršič 1968; 1973; 1998; 2000; 2002). Nastanek udornic nad hidrološko aktivnimi jamskimi rovi naj bi povzročil zaježitev pretočnih kanalov in poplave gorvodno v sistemu (Habič 1973; Šušteršič 1968; 1973; Gospodarič in Pavlovec 1974). Prav tako naj bi se zaradi tvorbe udornic in zamašitve nekaterih jamskih rogov vodni tok preusmeril ter oblikoval obhodne rove (Habič 1973; Šušteršič 1968; 1973; Gospodarič in Pavlovec 1974; Šebela 1996). Vendar kraški vodonosnik ni sistem pretočnih cevi, kot je kraško hidrologijo razlagal Katzer (1909), ampak je nihanje gladine podzemne vode znotraj kraško-razpoklinske prepustnosti kraškega vodonosnika enakomerno (Ford in Williams 2007), hidravlični gradient (Hickin 2006; Ford in Williams 2007) pa se spreminja zaradi različne prepustnosti kraškega vodonosnika (Klimchouk s sodelavci 2000; Hicki, 2006). Stepišnik (2004; 2010) je ugotovil, da udornice ne nastanejo nenadno, ampak postopno. Največje udornice se oblikujejo nad hidrološko aktivnimi jamskimi rovi, kjer voda sproti odnaša podorno gradivo, kar je v nasprotju s predstavo o delovanju udornic kot preprek za pretok (Habič 1973; Šušteršič 1968; 1973; Gospodarič in Pavlovec 1974). Udornica ne nastane, ko tok v podzemlju ni dovolj koncentriran in ni sposoben dovolj hitro odnašati gradiva ali pa ko proces ne traja dovolj dolgo preden se gladina podzemne vode zniža. Mnogi jamski rovi se zaključijo s podorom, a na površju udara ni videti (Gospodarič 1968; Brenčič 1994; Ford in Williams 2007). Zato lahko sklepamo, da nastanek udornic nima dovolj velikega vpliva na skupno prepustnost kraškega vodonosnika, da bi na večjem območju gorvodno lahko povzročil bistveno višje nihanje gladine podzemne vode in posledično višje poplave v hidrološkem zaledju. Ugotovljeno je bilo, da je v območju podorov zaradi zastajanja vode gladina kraške vode krajevno dvignjena. To pomeni, da je v območju podora zelo velik padec vode na enoto razdalje, saj gladina vode na relativno kratki razdalji med začetkom podora in koncem podora upade za nekaj metrov (Stepišnik 2010). Takšni primeri so dostopni človeku, na primer Martelov podor v Postojnski jami predstavlja ob visokih vodah zaježitev, tako da se vode prek vrha podora prelivajo v Kraigherjevo dvorano, kjer je gladina vode šest metrov nižja (Habič 1984). Kljub temu je gladina kraške vode ob velikih podorih pod udornicami dvignjena le za nekaj metrov in ne more vplivati na poplave velikih razsežnosti v zaledju. Ob nenadnejših dogodkih bi se sicer lahko pojavila krajevno zvišana gladina podzemne vode (Šušteršič 2006), kjer bi se podzemnemu toku zaradi povečanega gradienta od okoliškega lahko precej povečala transportna moč, a tudi takšni pojavi so krajevnega značaja (Farrant in Smart 2011; Despaigne in Stock 2005).

Ker je porečje Ljubljane v tektonsko aktivnem območju in ga prečka več močnejših prelomnih con (Buser s sodelavci 1967; Pleničar 1970; Placer 1981; Šebela 1998), ki so vplivale na razvoj podzemnih in površinskih kraških oblik (Gams 1965; Gospodarič 1976; Šebela 1996; 1998; Stepišnik 2004; 2010), je kot možni vzrok sprememb v nihanju gladine podzemne vode v preteklosti, treba upoštevati tudi tektoniko. Pri razumevanju vplivov tektonike na morfološke procese je pomemben časovni vidik delovanja procesov (Forti 2004). Ker je bila najbolj detajlna morfokronološka razlaga paleopoplav mogoča v Pivški kotlini, je za to območje najlažje predpostaviti možne učinke tektonskih sprememb v pokrajini. Nimamo podrobnih podatkov o dinamiki neotektonskih procesov v porečju Ljubljane, zato je možna

le aplikacija novejših geoloških raziskav na Ljubljanskem barju (Brenčič 2007), ki je erozijska baza celotnega porečja kraške Ljubljanice. Raziskave so pokazale, da je bilo neotektonsko pogrezanje v holocenu od 1,24 do 1,36 m/1000 let (Brenčič 2007). Če te rezultate primerjamo s časom, ki bi bil na voljo glede na ugotovljena obdobja pojavljanja paleopoplav, se pokaže, da bi se Ljubljansko barje, od pred 28.700 leti, ko so poplave v Pivški kotlini segle vsaj do nadmorske višine 530, do danes posedlo za 35,6 do 39 m. Od pred 10.900 leti, ko so poplave v Pivški kotlini lahko nazadnje še segle do nadmorske višine 529 m, bi se Barje lahko pogreznilo za 13,5 do 14,8 m. Ker je nadmorska višina, ki jo dosežejo današnje poplave, zgolj 10 m nižja od višine paleopoplav, vpliva neotektonskega grezanja Ljubljanskega barja na spreminjajočo se raven paleopoplav ne moremo izključiti.

Med najočitnejše dejavnike, ki vplivajo na dinamiko in intenzivnost procesov v pokrajini, lahko uvrstimo podnebne razmere in njihovo spreminjanje (Alley s sodelavci 1997; Starkel 2002; Mayewski s sodelavci 2004; Audra s sodelavci 2007; Hughes, Gibbard in Woodward 2007; Šibrava 2010; Turk in Turk 2010; Böse s sodelavci 2012). Neposredni učinki sprememb podnebja obsegajo predvsem spremembe temperatur in količin padavin (Šercelj 1970; Sasowsky in Mylroie 2007; Seppa s sodelavci 2007; Gornitz 2009; Miracle, Lenardić in Brajković 2010). Pri vsakem od štirih možnih scenarijev, (1) toplo-vlažno, (2) toplo-suho, (3) hladno-vlažno in (4) hladno-suho bi se dinamika in součinkovanje procesov odvijalo drugače, kar bi se pokazalo v različnih okoljskih razmerah. Podnebne spremembe so v pokrajini najbolj očitne v spremembah rastlinskega pokrova. Tem spremembam se prilagajajo geomorfni procesi (Goudie 2006): preperevanje, erozija, akumulacija. Ker je bila v preteklosti v Pivški kotlini poplavna ravnica na bistveno višji nadmorski višini, predvidevam, da je potekalo intenzivnejše sproščanje gradiva v porečjih, ki so presegali zmogljivost vodotokov, da bi gradivo odplavili iz sistema (Zorn 2008). Zaradi tega je prihajalo do odlaganja gradiva v porečju. Preperevanje je ključni omejevalni dejavnik, ki vpliva na vse ostale procese v porečju, od stopnje sproščanja gradiva do akumulacije znotraj porečja in odplavljanja gradiva iz porečja (Syvitski 2003), saj je prav od hitrosti preperevanja odvisno, koliko gradiva bo na razpolago za transport (Zorn 2008).

Dinamika sproščanja, premeščanja in odplavljanja gradiva v porečjih je močno odvisna od rastja (Seppa s sodelavci 2007; Miracle, Lenardić in Brajković 2010). Rastje z evapotranspiracijo pomembno vpliva na zadrževanje padavinske vode (Seppa s sodelavci 2007; Miracle, Lenardić in Brajković 2010), zaradi česar kljub znižanju absolutne količine padavin v hladnejših obdobjih, lahko prihaja do poplav, ker je bilo v hladnejših obdobjih rastja manj. V porečju kraške Ljubljanice je na ta način Šercelj (1970) razlagal rezultate palinoloških analiz na Cerkniškem polju, kjer je ugotovil večjo talno vlažnost v hladnejših obdobjih kot v toplih.

Vpliv evapotranspiracije je razviden tudi iz izračuna pretokov s hidrološkim modelom MIKE 11 (DHI Software 2007), ki sem ga pridobila na ARSO. Pretok Ljubljanice bi se v primerjavi z današnjim povečal za 33 %, če bi bila evapotranspiracija enaka nič. V hladnih obdobjih iz porečja odteče več vode zaradi dolgotrajno zamrznjenih tal, ki preprečujejo infiltracijo padavinske vode (Dingman 1975; Molnau in Vernon 1983). Pomemben dejavnik poplav je še taljenje snega v toplem delu leta (Etzelmüller in Hagen 2006), v hladnejših podnebnih pa tudi taljenje zamrznjenih vodotokov, kjer prihaja do zajezi-tev z ledom (angleško *ice dam*), ki lahko povzročijo poplave velikih razsežnosti (Bond in Lotti 1995; Björnsson 2006; Wohl 2006). Z vidika geomorfnih procesov, bi bilo zato hladno in vlažno podnebje, ugodno za pojavljanje poplav z večjo jakostjo.

Paleopodnebne in paleoekološke rekonstrukcije mlajšega pleistocena (Leridon 2008; Kotova in Makhortykh 2010; Sanders in Ostermann 2011; Šibrava 2010; Böse s sodelavci 2012) in holocena (Alley s sodelavci 1997; Starkel 2002; Magny s sodelavci 2003; Mayewski s sodelavci 2004; Seferiades 2007; Seppa s sodelavci 2007; Sridhar 2007; Berger in Guilaine 2009; Peev 2009; Kotova in Matkhortykh 2010) se med seboj razlikujejo, saj so bile kljub splošnim globalnim podnebnim trendom, razmere na regionalni ravni odločujoč dejavnik za razmere na krajevni ravni (Šibrava 2010; Mather 2011; Williams 2011). Do protislovnih sklepov o paleopodnebnih razmerah so prišli tudi raziskovalci v Sloveniji. Starejše razlage paleopodnebnih razmer (Brodar 1952; 1960; 1966; 1967; Šifer 1959; Šercelj 1963;

1967; 1970; 1974) so izhajale iz klasične tridelne členitve würma (Penck in Brückner 1909; Woldstedt 1962; Gross 1964), pri čemer so enake procese pojasnjevali z različnimi podnebnimi okoliščinami, v ospredju pa je bila splošna predpostavka, da so bila hladna obdobja sušna, topla pa vlažna. Vendar raziskave kažejo, da so bile podnebne razmere v Evropi in območju Sloveniji bližnjih držav različne (Zolyomi 1953; Lona 1957; Lüdi in Studer 1959; Alley s sodelavci 1997; Starkel 2002; Voelker 2002; Magny s sodelavci 2003; Mayewski s sodelavci 2004; Moreno s sodelavci 2004; Seppä s sodelavci 2007; Marković s sodelavci 2008; 2009; Veres s sodelavci 2008; Bordon s sodelavci 2009; Combourieu Nebout s sodelavci 2009; Bordon in Levermann 2010; Smalley s sodelavci 2010). Prihajalo je do različnih sprememb okoljskih razmer in odstopanj od bolj globalnih, včasih tudi regionalnih, podnebnih trendov (Turk in Turk 2010; Turk 2007). Ker za Slovenijo še nimamo podnebne krivulje in je zanesljivih, numerično datiranih podatkov premalo, rezultatov raziskave ne morem zanesljivo umestiti v paleookoljske razmere. Tako bi bilo tudi neprimerno sklepati o podnebnih značilnostih, ki so privedle do višjih poplav.

Približno od obdobja neolitizacije pred okoli 8000 leti, je pomemben dejavnik preoblikovanja okoljskih razmer tudi delovanje človeka (Šercelj 1973; Budja 2007; Leridon 2008; Zupan Hajna, Mihevc in Prelovšek 2010), ki pospešuje ali zavira dinamiko geomorfnih procesov. Tako kot podnebne spremembe, se tudi dejavnost človeka v pokrajini najbolj kaže v spremenjeni rabi tal, to pa posredno vpliva na dinamiko in intenzivnost geomorfnih procesov (Gabrovec, Komac in Zorn 2012). Na območjih z manjšo reliefno energijo, kakršna je značilna tudi za Pivško kotlino, je raba tal med najpomembnejšimi dejavniki, ki vplivajo na sproščanje gradiva (Syvitski 2003). Zaradi odstranjevanja rastja se je na takšnih območjih povečalo sproščanje gradiva za več kot dvakrat (Douglas 1993; Syvitski 2003). V Sredozemlju na antropogeno pogojeno sproščanje in odplavljanje gradiva odpade 75 % vsega sproščenega gradiva. Visoko stopnjo odzivnosti na antropogene vplive pripisujejo ranljivosti kraške pokrajine s tankim slojem prsti (Woodward 1995 v: Syvitski 2003). Vpliv človeka na količino transportiranega gradiva v modernem obdobju je poznan (Milliman, Qin in Ren 1987; Hu s sodelavci 2001 v: Syvitski 2003), mnogo raziskav pa obravnava tudi antropogene okoljske spremembe v preteklosti, zlasti v obdobju neolitizacije v začetku holocena (Seferiades 2007; Leridon 2008; Berger in Guilaine 2009; Peev 2009; Arnaud-Fassetta s sodelavci 2010; Kotova in Makhortykh 2010).

Na podlagi rezultatov sem kot možen vzrok izključila omejeno prepustnost ponorov in nastajanje udornic. V kolikšni meri bi na paleopoplave lahko vplivali tektonika in podnebne razmere ter dejavnost človeka v holocenu, še ni mogoče ugotoviti. Vsekakor bi na pojavljanje višjih poplav v preteklosti lahko vplivalo tudi več dejavnikov hkrati (Gospodarič in Habič 1978; Kranjc in Lovrenčak 1981; Milanović 1981; Lopez-Chicano s sodelavci 2002; Ford in Williams 2007; Turk in Gabrovšek 2009).

Sklenem lahko, da so višje poplave na preučevanem območju v preteklosti nedvomno bile. Dokazala sem, da so preučevane oblike nastale ob periodičnih poplavah v preteklosti, kar je v nasprotju s starejšimi ugotovitvami, ki so predpostavljale, da so bila kraška polja v določenih obdobjih pleistocena trajno ojezerjena. Imamo pa premalo podatkov, predvsem paleookoljskih, da bi lahko poplave bolj z gotovostjo uvrstila v širši podnebni in paleookoljski kontekst ter navedla vzroke za njihovo pojavljanje. To bo mogoče, ko bo za to območje izdelana podrobnejša paleopodnebna in paleookoljska rekonstrukcija.

7 SKLEP

Za porečje Ljubljane je značilna kraška hidrologija in s tem tudi periodične poplave (Gams 1965; 1966; Gospodarič in Habič 1978; Kogovšek s sodelavci 1999; Kogovšek in Petrič 2004; Petrič in Šebela 2005). Toda na površju in v jamah najdemo oblike, značilne za poplavna okolja (Bull 1981; Kochel in Baker 1982; Springer in Kite 1997; House s sodelavci 2002; Ford in Williams 2007; Farrant in Smart 2011) na bistveno višjih nadmorskih višinah, kot jih dosežejo vode ob današnjih poplavah (Arhiv hidroloških podatkov 2011). Za te oblike sem predpostavila, da kažejo na pojavljanje višjih poplav v preteklosti – na paleopoplave.

Morfogeneza porečja Ljubljane ali njegovih delov je bila obravnavana v več raziskavah (Rus 1925; Melik 1928; 1951; 1955; Brodar 1952; 1960; 1966; 1967; 1969; Šercelj 1974; Gospodarič 1976; Gospodarič in Habič 1978). Starejše razlage morfogenetskega razvoja porečja so temeljile na predpostavkah o dinamiki procesov v določenih paleoekoloških razmerah (Grund 1903; Katzer 1909; Penck in Brückner 1909; Cvijić 1918; Milanković 1941; Woldstedt 1962; Gross 1964; Frenzel 1967). Te predpostavke so bile kasneje spremenjene, dopolnjene ali povsem ovržene (Ford in Williams 2007; Brenčič 1994; Turk in Verbič 1993; Mihevc 1996.; Mihevc in Zupan Hajna 1996; Mihevc, Slabe in Šebela 1998; Klimchouk s sodelavci 2000; Farrant in Smart 2011; Stepišnik 2004; 2010; Despain in Stock 2005; Goudie 2006; Hellstrom 2006; Hickin 2006; Hajdas 2008; Anderson in Anderson 2010; Šibrava 2010). Poznejše morfokronološke raziskave so bile usmerjene predvsem v preučevanje najstarejših hidro-geomorfnihih faz razvoja jam (Gospodarič 1976; 1981; Zupan 1991; Zupan Hajna s sodelavci 2008a; 2008b; Zupan Hajna, Mihevc in Prelovšek 2010), pri tem pa niso obravnavali sedimentov v stratigrafsko najvišjih legah, ki so odraz najmlajših geomorfnihih razvojnih faz. Prvič so jih podrobneje preučili Stepišnik s sodelavci (2012) ter ugotovili, da je poplavna ilovica v jamah in na površju odložena do več deset metrov višje nadmorske višine kot jo dosežejo poplave v recentnih hidroloških razmerah. Na podlagi datacije sige v Planinski jami so ugotovili, da se je poplavna ilovica do tolíkšne višine odlagala še pred okoli 5700 leti.

S to raziskavo sem hotela dokazati, da so se v porečju Ljubljane v preteklosti pojavljale poplave do višjih nadmorskih višin, kot jih dosežejo poplave v recentnih hidroloških razmerah. Da sem sledi paleopoplav lahko podrobneje preučila, sem raziskovalno območje omejila na osrednji del porečja, ki obsega Pivško kotlino, Cerkniško in Planinsko polje ter območja med njimi.

Z morfološko in morfometrično analizo sem prepoznala sledi paleopoplav in določila njihov obseg. V Pivški kotlini sem nad recentno poplavno ravnicco na nadmorski višini 515 m prepoznala ostanke uravnave, ki predstavljajo višjo rečno teraso na nadmorski višini 533 do 535 m. Drobnozrnati sedimenti nad danes najvišjo znano ravnicco kraške vode so ohranjeni tudi v Postojnski jami in Hauptmanovem kevdrcu na nadmorskih višinah do 534 m. Ob Cerkniškem polju ostankov višjih uravnave na površju nisem prepoznala; ostanki drobnozrnatih sedimentov so ohranjeni le ponekod med razpokami in škrapljami. Največja zaplata sedimentov je nad ponornim robom Jamskega zaliva, na nadmorski višini 575 m, kar je 22 m nad najvišjimi recentnimi poplavami. Nad najvišjo gladino podzemne vode so v današnjih hidroloških razmerah ohranjeni drobnozrnati sedimenti še v Jami pod cesto, kjer so na nadmorski višini 575 m.

S petrološkimi analizami, ki so obsegale rentgensko difrakcijo, rentgensko fluorescenco in granulometrično analizo, sem ugotovila lastnosti drobnozrnatega gradiva in določila tiste oblike, ki so nastale ob paleopoplavah. Na podlagi predhodnih analiz sem razložila morfogenezo preučevanih oblik. Višje uravnave v Pivški kotlini predstavljajo akumulacijske terase, ki so ostanki nekdanje poplavne ravnice. Iz tega izhaja, da so v preteklosti poplave v Pivški kotlini segle vsaj do nadmorske višine 535 m. Ob poplavah so se odlagali tudi sedimenti v Postojnski jami in v Hauptmanovem kevdrcu. Ker sem poplavno ilovico zasledila do nadmorske višine 532 m v Postojnski jami in 534 m v Hauptmanovem kevdrcu, sklepam, da so poplave v podzemlju ponornega dela Pivške kotline segale vsaj do nadmorske višine od 532 do 534 m oziroma do 14 m nad današnjo raven. Čeprav sem na površju in v jamah prepoznala sledi paleopoplav do primerljivih nadmorskih višin, pridobljeni podatki še ne omogočajo zanesljive razlage morfogenetske povezanosti poplavnih sedimentov na površju in v jamah.

Tudi sedimenti s površja in iz jam ob Cerkniškem polju so se odlagali ob poplavah, s čimer sem dokazala, da so poplave v preteklosti segle vsaj do nadmorske višine 575 m oziroma do 22 m nad današnjo raven. Ker je na obrobju Cerkniškega polja ohranjenih premalo poplavnih sedimentov, ni mogoče podrobneje opredeliti morfogeneze ostankov reliefnih oblik, ki so nastale ob paleopoplavah.

Rezultati so pokazali, da je gladina vode na Planinskem polju in v zaledju izvirov ob paleopoplavah segala vsaj do nadmorske višine 495 m oziroma do 35 m nad današnjo raven, s čimer sem dokazala obstoj višjih poplav v preteklosti. Ker se je poplavna ilovica odlagala na primerljivih nadmorskih višinah na površju in v udornicah ter jamah (Stepišnik 2010; Stepišnik s sodelavci 2012, Kataster jam IZRK 2014), sklepam, da je bilo poplavljenno celotno dno polja.

Z uporabo geografskih informacijskih sistemov sem izmerila hidrometrične lastnosti paleopoplav. Modelirala sem obseg in višino paleopoplav ter izračunala, kakšno prostornino bi imele višje poplave ob upoštevanju današnje oblike površja, ter kakšna je bila površina poplavljenega površja ob višjih poplavah:

- prostornina najvišjih ugotovljenih poplav v Pivški kotlini bi bila 31-krat večja, površina poplavljenega površja pa 7-krat večja od današnjih poplav;
- prostornina najvišjih ugotovljenih poplav na Cerkniškem polju bi bila 4,6-krat večja, površina poplavljenega površja pa 1,7-krat večja od današnjih poplav.
- prostornina najvišjih ugotovljenih poplav na Planinskem polju bi bila 4,2-krat večja, površina poplavljenega površja pa 1,5-krat večja od današnjih poplav.

V kolikor pa upoštevamo, da je bila Pivška kotlina ob paleopoplavah zapolnjena s sedimenti do ravni najvišjih uravnav, bi bila prostornina najvišjih ugotovljenih poplav in površina poplavljenega površja, glede na razmerje v spremembah jakosti med današnjimi in paleopoplavami, primerljiva s Cerkniškim in Planinskim poljem.

Z morfokronološko analizo sem časovno opredelila obdobja pojavljanja paleopoplav v Pivški kotlini. Datacije sige iz Postojnske jame so pokazale, da je bilo v kvartarju več obdobij, ko so poplave v Pivški kotlini segale do višjih nadmorskih višin od današnjih poplav ter, da je absolutna nadmorska višina, ki so jo dosegle poplave postopno upadala.

Pred več kot 39.700 leti so poplave na vhodu v Postojnsko jamo segle vsaj do nadmorske višine 538 m oziroma 18 m nad današnjo raven. Mlajših sledi poplav, ki bi segle do tolikšne nadmorske višine nisem prepoznala. Sklepam, da je takrat gladina poplavnne vode tudi v Pivški kotlini segala vsaj do nadmorske višine 538 m. To pomeni, da je bila hidrološko aktivna obsežna poplavna ravnica, katere ostanki so ohranjeni v najvišji terasi na nadmorski višini 533 do 535 m. V tem obdobju so se najverjetneje odlagali tudi poplaverni sedimenti v Hauptmanovem kevdrcu, kjer so ohranjeni na nadmorski višini 534 m.

Do pred 28.700 leti so poplave ob vhodu v Postojnsko jamo segle vsaj do nadmorske višine 530 m oziroma 10 m nad današnjo raven. Nisem zasledila mlajših sledi poplav, ki bi segle do tolikšne nadmorske višine. Predvidevam, da je bila takrat tudi Pivška kotlina poplavljenega vsaj do nadmorske višine 530 m. Na podlagi ugotovitev ne morem sklepati ali je bila takrat najvišja poplavna ravnica na nadmorski višini 533 do 535 m še hidrološko aktivna ali ne, čeprav bi analogija z razmerami ob današnjih poplavah to dopuščala.

Od 10.900 let pred sedanostjo poplave na vhodu v Postojnsko jamo najverjetneje niso več presegle nadmorske višine 529 m kar bi bilo 9 m nad današnjo ravnino. Ob poplavah do te nadmorske višine ne morem sklepati o procesih na najvišjih uravninah v Pivški kotlini.

Časovna opredelitev paleopoplav na Cerkniškem in Planinskem polju temelji na sintezi lastnih in preteklih morfokronoloških raziskav (Gospodarič 1976; 1981; Gospodarič 1977 v: Zupan 1991; Šercelj 1974; Gospodarič in Habič 1978; Šebela in Sasowsky 1999; Šušteršič, Šušteršič in Stepišnik 2003; Zupan Hajna s sodelavci 2008a; 2008b; Stepišnik s sodelavci 2012). Cerkniško polje naj bi bilo občasno ali trajno poplavljenno v obdobju od 50.000 do 30.000 leti pred sedanostjo ter v več mlajših obdobjih s toplejšim podnebjem. Za Cerkniško polje reinterpretacija morfokronološkega razvoja, ki so ga predstavili v preteklosti, danes še ni mogoča, saj je bilo na območju prepoznanih premalo potencialnih vzorčnih območij.

Na območju Planinskega polja je bilo v preteklosti več obdobij, ko so poplave segle do nadmorske višine od 480 do 495 m. Glede na ohranjenost in stratigrafsko lego poplavne ilovice v zatrepni dolini Malni pa lahko sklepam, da so se poplave do nadmorske višine 495 m pojavljale še v enem od najmlajših obdobij poplav, kar potrjujejo najnovejše morfokronološke raziskave (Stepišnik s sodelavci 2012), kjer so ugotovili, da so se poplave na Planinskem polju do nadmorske višine 495 m oziroma 35 m nad današnjo raven pojavljale še v času pred okrog 5700 leti.

Morfodinamiko paleopoplav sem razložila s sintezo rezultatov predhodnih analiz. Granulometrične analize so pokazale, da se je sediment, ki gradi preučevane oblike, odlagal iz suspenzije ob mirujoči vodi, toda ne v razmerah trajne ojezeritve. Velikosti delcev se namreč razlikujejo minimalno in brez vsakršnega prostorskega reda, ki bi lahko kazal na postopno zmanjševanje povprečne velikosti delcev dolvodno z oddaljevanjem od pritokov v jezero (Young 2006). Iz tega izhaja, da je bila dinamika paleopoplav podobna dinamiki današnjih poplav, čeprav so paleopoplave segle do višje nadmorske višine. Ob paleopoplavah so se laminirani drobnozrnati sedimenti odlagali iz suspenzije ob poplavah, kar je značilno tudi za recentne hidrološke razmere v Pivški kotlini in na kraških poljih Notranjske. V današnjih hidroloških razmerah na območju Slovenije ni trajno ojezerjenih kraških polj. Na območju Dinarskega gorstva pa so trajno ojezerjena zgolj posamezna kraška polja v neposredni bližini Jadranskega morja (Habič 1987). Laminiranost gradiva dokazuje periodično ponavljanje poplav, globina oziroma debelina laminiranih sedimentov (od nekaj centimetrov do več metrov) pa je dokaz mnogih periodičnih poplavnih dogodkov.

Možnih vzrokov za pojavljanje višjih poplav v preteklosti je več. V preteklosti najbolj izpostavljena vzroka, prepustnost ponorov in nastanek udornic, lahko izključimo. Dokazano je namreč, da poplave niso vezane le na kraška polja, temveč so posledica hidroloških razmer v širšem kraškem zaledju (Ford in Williams 2007; Turk 2008; Turk in Gabrovšek 2009). Gladina podzemne vode ob velikih podorih pod udornicami pa je le krajevno dvignjena za nekaj metrov in ne more vplivati na poplave velikih razsežnosti v zaledju (Habič 1984; Farrant in Smart 2011; Šušteršič 2006; Stepišnik 2010).

Možen vzrok sprememb v nihanju gladine podzemne vode v preteklosti bi lahko bil v neotektonski aktivnosti Pivške kotline, Notranjskega podolja ali Ljubljanskega barja (Pleničar 1970; Placer 1981; Šebela 1998; Brenčič 2007), vendar je meritev in podatkov premalo, da bi vpliv tektonike na paleopoplave lahko zadovoljivo razložili.

Paleopoplave so bile zagotovo podvržene učinkom podnebnih sprememb, ki s povprečno temperaturo in padavinami neposredno vplivajo na geomorfne procese (Šerclj 1970; Sasowsky in Mylroie 2007; Seppa s sodelavci 2007; Gornitz 2009; Miracle, Lenardić in Brajković 2010). Učinkujejo tudi na rastje, kateremu se ti procesi prilagajajo (Goudie 2006). Na podlagi rezultatov sklepam, da je v preteklosti potekalo intenzivno sproščanje gradiva v porečjih, ki je preseglo zmožnost vodotokov, da bi gradivo odplovili iz sistema (Zorn 2008), zaradi česar je prihajalo do odlaganja gradiva v porečju in višjih poplav. Z vidika geomorfni procesov, bi bilo za pojavljanje poplav z večjo jakostjo najugodnejše hladno in vlažno podnebje.

Približno od neolitizacije pred okoli 8000 leti je pomemben dejavnik preoblikovanja okoljskih razmer tudi človek (Šerclj 1973; Budja 2007; Leridon 2008), ki pospešuje ali zavira dinamiko geomorfni procesov. Tako kot podnebne spremembe, se tudi dejavnost človeka v pokrajini najbolj kaže v spremenjeni rabi tal, kar vpliva na dinamiko geomorfni procesov (Syvitski 2005; Zorn 2008; Koppes in Montgomery 2009). Med najpomembnejšimi učinki delovanja človeka na geomorfne procese je odstranjevanje rastja, kar poveča hitrost in količino sproščanja gradiva (Milliman, Qin in Ren 1987; Douglas 1993; Woodward 1995 v: Syvitski 2003; Hu s sodelavci 2001 v: Syvitski 2003; Syvitski 2003; Gabrovec, Komac in Zorn 2012).

Rezultati raziskave so pokazali, da se je hidro-geomorfni sistem porečja Ljubljanske oblikoval v več fazah, v katerih se je dinamika procesov spreminjala. Analize preučevanih poplavnih oblik so pokazale, da je bila dinamika paleopoplav podobna današnjim: ob periodičnih poplavah se je na površju in v podzemlju odlagala poplavna ilovica. To je v nasprotju z ugotovitvami predhodnih raziskav, v katerih

so predpostavljali, da so bila kraška polja v preteklosti trajno ojezerjena (Melik 1951; 1955; Brodar 1952; 1960; 1966; 1967; 1969; Šercelj 1974; Gospodarič in Habič 1978). Raziskava je tudi pokazala, da so poplavni sedimenti v višjih stratigrafskih legah mlajši, kot se je predvidevalo do sedaj (Zupan 1991; Šebela in Sasowsky 1999; Zupan Hajna s sodelavci 2008a; 2008b; Zupan Hajna, Mihevc in Prelovšek 2010).

Pokazala sem, da so se v kvartarju v porečju kraške Ljubljane pojavljale višje poplave, kot jih poznamo v recentnih hidroloških razmerah.

Z vidika intenzivnosti geomorfni procesov bi za pojavljanje poplav, višjih od današnjih, bilo najugodnejše hladno in vlažno podnebje z intenzivnim preperevanjem, redko rastje pa bi le malo sproščenega gradiva zadržalo v povirnih delih (Warburton 2011), s čimer bi ga veliko prešlo v vodotoke. Toda na jakost poplav vpliva predvsem količina padavin, ki pa ni nujno vezana na hladna ali topla podnebja (Lopez-Chicano s sodelavci 2002; Ford in Williams 2007; Turk 2008; Turk in Gabrovšek 2009). Na jakost poplav vplivajo še številni drugi dejavniki, ki so neodvisni od podnebnih razmer, kot sta tektonika (Farant in Smart 2011; Forti 2004; Despaigne in Stock 2005) in človek (Gams s sodelavci 1993; Sorriso Valvo 1993; Gams in Gabrovec 1999; Parise in Wasowski 2000; Parise 2003; Seferiades 2007; Leridon 2008; Berger in Guilaine 2009; Peev 2009; Arnaud-Fassetta s sodelavci 2010; Kotova in Makhortykh 2010). Za umestitev paleopoplav v širši paleoekološki kontekst je za območje severnega dela Dinarskega gorstva trenutno še premalo zanesljivih in med seboj povezanih podatkov (Turk in Verbič 1993). Sklepanje na podnebne značilnosti tega dela Slovenije na podlagi paleopodnebnih in paleoekoloških rekonstrukcij iz bližnjih območij (Ferrera 1999; Monegato s sodelavci 2007; Turk 2007; Veres 2008; Rind 2009), pa bi bilo neprimerno, saj se rezultati med seboj precej razlikujejo.

8 VIRI IN LITERATURA

- Alley, R. B., Mayewski, P. A., Sowers, T., Stuiver, M., Taylor, K. C., Clark, P. U. 1997: Holocene climatic instability: A prominent, widespread event 8200 yr ago. *Geology* 25-6.
- Anderson, R. S., Anderson, S. P. 2010: *Geomorphology: The mechanics and chemistry of landscapes*. Cambridge.
- Andrič, M. 2001: The Holocene vegetation dynamics and the formation of Neolithic and present-day Slovenian landscape. *Documenta Praehistorica* 28.
- Andrič, M., Willis, K. J. 2003: The phytogeographical regions of Slovenia: a consequence of natural environmental variation or prehistoric human activity. *Journal of Ecology* 91.
- Arhiv hidroloških podatkov 2011. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana. Medmrežje: <http://www.arso.gov.si> (10. 10. 2013).
- Arnaud-Fassetta, G., Carcaud, N., Castanet, C., Salvador, P. G. 2010: Fluvatile palaeoenvironments in archeological position, methodological approach and global change – Hydrological risk issues. *Quaternary International* 216.
- Aslan, A. 2003: Floodplain sediments. *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*. Dordrecht.
- Audra, P., Bini, A., Gabrovšek, F., Häuselmann, P., Hobléa, F., Jeannin, P. Y., Kunaver, J., Monbaron, M., Šušteršič, F., Tognini, P., Trimmel, H., Wildberger, A. 2007: Cave and Karst evolution in the Alps and their reation to Paleoclimate and Paleotopography. *Acta Carsologica* 36-1.
- Auler, A. S., Smart, P. L., Wang, X., Pilo, L. B., Edwards, R. L. 2009: Cyclic sedimentation in Brazilian caves: mechanisms and palaeoenvironmental significance. *Geomorphology* 106.
- Baker, A., Smart, P. L., Edwards, R. L., Richards, D. A. 1993: Annual growth banding in a cave stalagmite. *Nature* 364.
- Baker, V. R. 1987: Paleoflood hydrology and extraordinary flood events. *Journal of Hydrology* 96.
- Baker, V. R. 2003: Floods and other catastrophic events. *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*. Dordrecht.
- Baker, V. R. 2008: Paleoflood hydrology: Origin, progress, prospects. *Geomorphology* 101.
- Baker, V. R., Kochel, R. C., Patton, P. C. 1988: *Flood Geomorphology*. New York.
- Baker, V. R., Benito, G., Rudoy, A. N. 1993: Paleohydrology of late Pleistocene superflooding, Altai Mountains, Siberia. *Science* 259.
- Berger, J.-F., Guilaine, J. 2009: The 8200 cal BP abrupt environmental change and the Neolithic transition: A Mediterranean perspective. *Quaternary International* 200.
- Beta Analytic Report 1-3, 2011–2012. Miami.
- Bidovec, M. 2007: Pretekli posegi na Cerkniškem polju. *Novice Notranjskega regijskega parka 1-2*.
- Bizjak, A. 2003: Sintezni postopek ocenjevanja hidromorfološkega stanja rečnih koridorjev, razvit z analizo stanja na reki Dragonji. Doktorsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Björnsson, H. 2006: Ice dam, Glacier dam. *Encyclopedia of Geomorphology*. London.
- Bloesch, J. 2004: Sedimentation and lake sediment formation. *The Lake Handbook Limnology and Limnetic Ecology*. Oxford.
- Bognar, A. 1986: Geomorfološke i inženjersko-geomorfološke osobine Kričkog brda. *Geografski glasnik* 48-1.
- Bonacci, O. 1987a: Karst hydrology: with special reference to the Dinaric karst. Berlin.
- Bonacci, O. 1987b: Karst hydrology and water resources – past, present and future. *Water for the Future: Hydrology in Perspective* 164.
- Bonacci, O. 2013: Ecohydrology of karst poljes and their vulnerability. *Ecohydrology Workshop*, Livno, 2. 10. 2013. Livno.
- Bond, G. C., Lotti, R. 1995: Iceberg discharges into the North Atlantic on millennial time scales during the last glaciation. *Science* 267.

- Bordon, A., Levermann, A. 2010: The 8.2 ka event: Abrupt transition of the subpolar gyre toward a modern North Atlantic circulation. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 11-6.
- Bordon, A., Peyron, O., Lezine, A. M., Brewer, S., Fouache, E. 2009: Pollen-inferred Late-Glacial and Holocene climate in southern Balkans (Lake Maliq). *Quaternary International* 200.
- Borsato, A., Quinif, Y., Bini, A., Dublyansky, Y. 2003: Open-system alpine speleothems: implications for U-series dating and paleoclimate reconstructions. *Studi Trentini di Scienze Naturali – Acta Geologica* 80.
- Bosch, R., White, W. B. 2007: Lithofacies and transport of clastic sediments in karstic aquifers. *Studies of Cave Sediments*. Dordrecht.
- Böse, M., Lüthgens, C., Lee, J. R., Rose, J. 2012: Quaternary glaciations of northern Europe. *Quaternary Science Reviews* 44.
- Brandova, D. 2011: The Chemical Basis for Dating: Dating Anthropogenic and Natural Changes in a Fragile Alpine Environment. *Bergün*.
- Brenčič, M. 1994: O zgodnjih stopnjah zakrasevanja – oris teoretičnih predpostavk. *Naše jame* 36.
- Brenčič, M. 2007: Subsidence rate of Ljubljansko barje in Holocene. *Geologija* 50-2.
- Brenčič, M. 2008: Vode Ljubljanskega barja in njegovega obrobja. *Ljubljansko barje; Neživi svet, rastlinstvo, živalstvo, zgodovina in naravovarstvo*. Ljubljana.
- Breznik, M. 1961: Akumulacija na Cerkniškem in Planinskem polju. *Geologija* 7.
- Breznik, M. 1998: Storage reservoirs and deep wells in karst regions. *Rotterdam*.
- Bridge, J. S. 2003: Sediment transport by unidirectional water flows. *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*. Dordrecht.
- Brodar, M. 1969: Nove paleolitske najdbe v Postojnski jami. *Arheološki vestnik* 20.
- Brodar, M. 1990: Sestavljanje odbitkov iz paleolitskih najdišč Jama v Lozi, Ovčja jama in Županov spodmol. *Arheološki vestnik* 41.
- Brodar, M. 1995: Maljšepaleolitska postaja Podrisovec. *Arheološki vestnik* 46.
- Brodar, M. 1996: Vilharjeva jama v Risovcu blizu Postojne. *Arheološki vestnik* 47.
- Brodar, S. 1950: Prerez paleolitika na slovenskih tleh. *Arheološki vestnik* 1-2.
- Brodar, S. 1951: Otoška jama, paleolitska postaja. *Razprave* 1-4.
- Brodar, S. 1952: Prispevek k stratigrafiji kraških jam Pivške kotline, posebej Parske Golobine. *Geografski vestnik* 24.
- Brodar, S. 1954: Paleolitsko izkopavanje v Županovem spodmolu. Poročila prazgodovinske sekcije SAZU za l. 1952. *Letopis SAZU* 1952–53.
- Brodar, S. 1956: Ein Beitrag zum Karstpaläolithikum im Nordwesten Jugoslawiens. *Actes du 4 Congrès International du Quaternaire* 2.
- Brodar, S. 1960: Periglacialni pojavi v sedimentih slovenskih jam. *Geografski vestnik* 32.
- Brodar, S. 1966: Pleistocenski sedimenti in paleolitska najdišča v Postojnski jami. *Acta carsologica* 4.
- Brodar, S. 1967: Razčlenitev pleistocena. *Arheološki vestnik* 18.
- Brodar, S. 1970: Risovec pri Postojni. *Varstvo spomenikov* 13–14.
- Brodar, S. 1975: Betalov spodmol – Ponovno zatočišče ledenodobnega človeka. *Proteus* 37-6.
- Bronk Ramsey, C. J., van der Plicht, J., Weninger, B. 2001: Wiggle matching radiocarbon dates. *Radiocarbon* 43.
- Brown, T. G. 2011: Dating Surfaces and Sediments. *The SAGE Handbook of Geomorphology*. Los Angeles.
- Bruthans, J., Zeman, O. 2003: Factors controlling exokarst morphology and sediment transport through caves: comparison of carbonate and salt karst. *Acta Carsologica* 32.
- Budja, M. 2007: The 8200 calBP 'climate event' and the process of neolithisation in south-eastern Europe. *Documenta Praehistorica* 34.
- Bull, P. A. 1981: Some fine-grained sedimentation phenomena in caves. *Earth Surface Processes and Landforms* 6-1.
- Buser, S. 1965: Geološka zgradba južnega dela Ljubljanskega barja in njegovega obrobja. *Geologija* 8.

- Buser, S., Ferjančič, L., Grad, K., Turnšek, D., Mencej, Z., Orehek, A., Pavlovec, R., Pleničar, M., Prestor, M., Rijavec, J., Šribar, L. 1967: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Postojna. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Cegnar, T. 1998: Temperatura zraka. Geografski atlas Slovenije. Ljubljana.
- Church, M. 2011: Observations and Experiments. The SAGE Handbook of Geomorphology. Los Angeles.
- Clarke, G. K. C., Leverington, D. W., Teller, J. T., Dyke, A. S. 2004: Paleohydraulics of the last outburst flood from glacial Lake Agassiz and the 8200 BP cold event. *Quaternary Science Reviews* 23.
- Clarke, G., Leverington, D., Teller, J., Dyke, A. 2003: Superlakes, megafloods, and abrupt climate change. *Science* 301.
- Combourieu Nebout, N., Peyron, O., Dormoy, I., Desprat, S., Beaudouin, C., Kotthoff, U., Marret, F. 2009: Rapid climatic variability in the west Mediterranean during the last 25,000 years from high resolution pollen data. *Climate of the Past* 5-3.
- Constantin, S., Bojar, A. V., Lauritzen, S. E., Lundberg, J. 2007: Holocene and Late Pleistocene climate in the sub-Mediterranean continental environment: A speleothem record from Poleva Cave (Southern Carpathians, Romania). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 243.
- Cooke, H. B. S. 1973: Pleistocene Chronology: Long or Short? *Quaternary Research* 3.
- Cvijić, J. 1895: Karst, Geografska monografija. Beograd.
- Cvijić, J. 1918: Hydrographie souterraine et evolution morphologique du karst. *Recueil des travaux de l'institute de géographie alpine* 6-4.
- Čar, J. 1982: Geološka zgradba požiralnega obrobja Planinskega polja. *Acta carsologica* 10.
- Čar, J., Gospodarič, R. 1984: O geologiji krasa med Postojno, Planino in Cerknico. *Acta carsologica* 12.
- Černuta, L. 2010: Rečni meandri na kraških poljih. *Dela* 34.
- Dahlin, T., Loke, M. H. 1998: Resolution of 2D Wenner resistivity imaging as assessed by numerical modelling. *Journal of Applied Geophysics* 38.
- Daniels, F., Alberty, R. A. 1966: Physical Chemistry. New York.
- Davis, W. M. 1899: The geographical cycle. *Geographical Journal* 14.
- Demek, J. (ur). 1972: Manual of detailed geomorphological mapping. Praga.
- Demek, J. 1976: Handbuch der geomorphologischen Detailkartierung. Dunaj.
- Denton, G. H., Alley, R. B., Comer, G. C., Broecker, W. S. 2005: The role of seasonality in abrupt climate change. *Quaternary Science Reviews* 24.
- Denton, G. H., Hughes, T. J. 1986: Global ice-sheet system interlocked by sea level. *Quaternary Research* 26.
- Despain, J. D., Stock, G. M. 2005: Geomorphic history of Crystal Cave, Southern Sierra Nevada, California. *Journal of Cave and Karst Studies* 67.
- DFO 2009: Dartmouth Flood Observatory. Global Flood Detection, Mapping, and Measurement. Medmrežje: <http://floodobservatory.colorado.edu/> (15. 12. 2013).
- DHI Software 2007: A Modelling System for Rivers and Channels. Reference Manual.
- Dingman, S. I. 1975: Hydrologic Effects of Frozen Ground. Special Report 218. Hanover.
- Douglas, J. 1993: Man, vegetation and the sediment yield of rivers. *Nature* 215.
- Dreybrodt, W., Gabrovšek, F., Romanov, D. 2005: Processes of speleogenesis: A modeling approach. Ljubljana.
- Dreybrodt, W., Kaufmann, G. 2009: Physics and chemistry of dissolution on subaerially exposed soluble rocks by flowing water films. Karst rock features, Karren sculpturing. Ljubljana.
- Drole, F. 2013: Najvišje izmerjene poplave v Pivški kotlini. Osebni vir, 3. 3. 2013. Ljubljana.
- EarthImager 2003: 2D Resistivity and IP Inversion Software Instruction Manual. Version 1.2.0. Austin, Advanced Geosciences Inc.
- Edwards, L. S. 1977: A modified pseudosection for resistivity and induced-polarization. *Geophysics* 42.
- Egli, M., Mirabella, A., Sartori, G. 2008: The role of climate and vegetation in weathering and clay mineral formation in late Quaternary soils of the Swiss and Italian Alps. *Geomorphology* 102.

- Etzelmler, B., Hagen, J. O. 2006: Deglaciation. *Encyclopedia of Geomorphology*. London.
- Fairchild, I. J., Baker, A. 2012: *Speleothem Science, From Process to Past Environments*. Oxford.
- Farrant, A. R., Smart, P. L. 2011: Role of sediment in speleogenesis; sedimentation and paragenesis. *Geomorphology* 134-1.
- Ferk, M. 2009: Morfogenez kotline Rakov Škocjan. Diplomsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Ferk, M. 2011: Morfogenez kotline Rakov Škocjan. *Geografski vestnik* 83-1.
- Ferk, M., Stepišnik, U. 2011: Geomorfološke značilnosti Rakovega Škocjana. *Georitem* 17. Ljubljana.
- Ferk, M., Zorn, M. 2015: Kras – večpomenski izraz z mednarodno veljavo. *Kronika* 63-3.
- Ferrera, I. 1999: Tropical climates at the Last Glacial Maximum: A new synthesis of terrestrial palaeoclimate data. 1 Vegetation, lake-levels and geochemistry. *Climate Dynamics* 15.
- Firbas, F. 1923: Pollenanalytische Untersuchungen einiger Moore der Ostalpen. *Lotos* 71.
- Fliri, F. 1973: Beiträge zur Geschichte der alpinen Würmvereisung: Forschungen am Bänderon von Baumkirchen (Inntal, Nordtirol). *Zeitschrift für Geomorphologie* 16.
- Ford, D. C. 2006: Cave. *Encyclopedia of Geomorphology*. London.
- Ford, D. C., Ewers, R. O. 1978: The development of limestone cave systems in the dimensions of length and depth. *Canadian Journal of Earth Science* 15.
- Ford, D. C., Gospodarič, R. 1989: U series dating studies of Ursus spelaeus deposits in Križna jama, Slovenija. *Acta carsologica* 18.
- Ford, D. C., Hill, C. A. 1999: Dating of Speleothems in Kartchner Caverns, Arizona. *Journal of Cave and Karst Studies* 61-2.
- Ford, D., Williams, P. 2007: *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Chichester.
- Forti, P. 2004: Paleotectonics from speleothems. *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. New York.
- Franke, H. W., Geyh, M. A. 1971: ¹⁴C Datierungen von Kalksinter aus Slowenischen Höhlen. *Der Aufschluss* 22, 7-8.
- Frantar, P. 2009: Poplave po svetu leta 2008. *Ujma* 23.
- French, H. 2011: Periglacial Environments. *The SAGE Handbook of Geomorphology*. Los Angeles.
- Frenzel, B. 1967: Die Klimaschwankungen des Eiszeitalters. Braunschweig.
- Freund, G. 1956a: Betalov spodmol und Parska golobina. *Forschungen und Fortschritte* 30-6.
- Freund, G. 1956b: Probleme des Paläolithikums in Jugoslawien. *Oviedo*.
- Gabrovec, M., Komac, B., Zorn, M. 2012: Vpliv sprememb rabe tal na geomorfne procese v zadnjih stoletjih na primeru Zgornjega Posočja. *Dolgoročne spremembe okolja* 1. Ljubljana.
- Gams, I. 1965: H kvartarni geomorfogenezi ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerkniškim poljem. *Geografski vestnik* 37.
- Gams, I. 1966: K hidrologiji ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerkniškim poljem. *Acta carsologica* 4.
- Gams, I. 1968: Prispevek k vprašanju starosti Postojnske jame. *Naše jame* 9.
- Gams, I. 1970: Maksimiranost kraških podzemeljskih pretokov na primeru ozemlja med Cerkniškim in Planinskim poljem. *Acta carsologica* 5.
- Gams, I. 1979: Raziskovanje poplavnih področij v Sloveniji – Poplave na Planinskem polju. *Elaborat, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU*. Ljubljana.
- Gams, I. 2004: Kras v Sloveniji v prostoru in času. Ljubljana.
- Gams, I. 2005: Tectonics impact on poljes and minor basins (Case studies of Dinaric Karst). *Acta carsologica* 34-1.
- Gams, I., Gabrovec, M. 1999: Land use and human impact in the Dinaric karst. *International Journal of Speleology* 28 B, 1-4.
- Gams, I., Natek, K. 1981: Geomorfološka karta 1 : 100.000 in razvoj reliefa v Litijski kotlini. *Geografski zbornik* 21.
- Gams, I., Nicod, J., Julian, M., Anthony, E., Sauro, U. 1993: Environmental change and human impacts in the Mediterranean karsts of France, Italy and the Dinaric region. *Catena* 25.

- Geyh, M. A. 1970: Zeitliche Abgrenzung von Klimaänderungen mit ^{14}C -Daten von Kalksinter und organischen Substanzen. Beihefte zum geologischen Jahrbuch 98.
- Gilbert, R. 2003: Lacustrine sedimentation. *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*. Dordrecht.
- Godwin, H. 1962: Half-life of Radiocarbon. *Nature* 195.
- Gornitz, V. 2009: *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments*. New York.
- Gospodarič, R. 1963: K poznavanju Postojnske jame – Pisani rov. Naše jame 4.
- Gospodarič, R. 1964: Sledovi tektonskih premikov iz ledene dobe v Postojnski jami. Naše jame 5.
- Gospodarič, R. 1968: Podrti kapniki v Postojnski jami. Naše jame 9.
- Gospodarič, R. 1969a: Prirodne akumulacije v jamah porečja Ljubljane. Krš Jugoslavije 6.
- Gospodarič, R. 1969b: Raziskovanje Velike in Male Karlovice. Naše jame 10.
- Gospodarič, R. 1969c: Speleološki procesi v Postojnski jami iz mlajšega pleistocena. Naše jame 10.
- Gospodarič, R. 1970a: Hidrogeologija Cerkniškega polja in okolice. Magistrsko delo. Naravoslovna tehniška fakulteta Univerze v Zagrebu. Zagreb.
- Gospodarič, R. 1970b: O nekaterih ponorih ob Cerkniškem jezeru. Naše jame 12.
- Gospodarič, R. 1970c: Speleološke raziskave Cerkniškega jamskega sistema. *Acta carsologica* 5.
- Gospodarič, R., 1971: Prvi podatki o absolutni starosti sige v Postojnski jami na podlagi ^{14}C . Naše jame 13.
- Gospodarič, R. 1976: Razvoj jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem v kvartarju. *Acta carsologica* 7.
- Gospodarič, R. 1981: Generacije sig v klasičnem krasu Slovenije. *Acta carsologica* 9.
- Gospodarič, R. 1982a: Morfološki in geološki položaj kraških votlin v ponornem obrobju Planinskega polja. *Acta carsologica* 10.
- Gospodarič, R. 1982b: Stratigrafija jamskih sedimentov v Najdeni jami ob Planinskem polju. *Acta carsologica* 10.
- Gospodarič, R. 1985: Age and development of collapse dolines above the cave systems, the examples from classical karst of Slovenia (NW Yugoslavia). *Annales de la Societe Geologique de Belgique* 108.
- Gospodarič, R., Habič, P. 1966: Črni potok in Lekinka v sistemu podzemeljskega odtoka iz Pivške kotline. Naše jame 8.
- Gospodarič, R., Habič, P. 1976: Underground water tracing; investigations in Slovenia 1972–1975. Postojna.
- Gospodarič, R., Habič, P. 1978: Kraški pojavi Cerkniškega polja. *Acta carsologica* 8.
- Gospodarič, R., Kogovšek, J., Luzar, M. 1983: Hidrogeologija in kraški izviri v Rakovem Škocjanu pri Postojni. *Acta carsologica* 11.
- Gospodarič, R., Pavlovec, R. 1974: Izvor apnenčevega proda v Planinski jami. *Acta carsologica* 6.
- Goudie, A. S. 2006: *Encyclopedia of Geomorphology*. London.
- Gross, H. 1964: Das Mittelwurm in Mitteleuropa und angrenzenden Gebieten. *Eiszeitalter und Gegenwart* 15.
- Gruber, T. 1781: Briefe hydrographischen und physikalischen Inhaltes aus Krain. Dunaj.
- Grund, A. 1903: *Die Karsthydrographie: Studien aus Westbosnien*. Leipzig.
- Gunn, J. 2004: *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. New York.
- Habe, F. 1979: Morfološki, hidrološki in speleološki oris Planinskega polja. *Varstvo narave* 12.
- Haberlah, D., Williams, M. A. J., Halverson, G., McTainsh, G. H., Hill, S. M., Hrška, T., Jaime, P., Butcher, A. R., Glasby, P. 2010: Loess and floods: High-resolution multi-proxy data of Last Glacial Maximum (LGM) slackwater deposition in the Flinders Ranges, semi-arid South Australia. *Quaternary Science Reviews* 29.
- Habič, P. 1973: O vodnih sifonih v kraških jamah. Naše jame 14.
- Habič, P. 1974: Tesnjenje požiralnikov in presihanje Cerkniškega jezera. *Acta carsologica* 6.
- Habič, P. 1984: Nenadni udorni in hidrografska funkcija udornov na krasu. Naš krš 10.

- Habič, P. 1985: Vodna gladina v Notranjskem in Primorskem krasu. *Acta carsologica* 13.
- Habič, P. 1987: Use and regulations of karst poljes in Yugoslavia. *Endins* 13.
- Habič, P. 1989: Pivka karst bifurcation on Adriatic-Black sea watershed. *Acta carsologica* 18.
- Habič, P., Gospodarič, R. 1987: The Rakov Škocjan karst valley. Man's impact in Dinaric karst. Postojna.
- Hacquet, B. 1778: *Oryctographia Carniolica oder physikalische Erdbeschreibung des Herzogthums Krain, Istrien und zum Theil der benachbarten Länder*. Leipzig.
- Hajdas, I. 2008: Radiocarbon dating and its applications in Quaternary studies. *Eiszeitalter und Gegenwart, Quaternary Science Journal* 57, 1-2.
- Haldorsen, S., Jorgensen, P., Rappol, M., Riezebos, P. A. 1989: Composition and source of the clay-sized fraction of Saalian till in the Netherlands. *Boreas* 18-2.
- Hales, T. C., Roering, J. J. 2005: Climate-controlled variations in scree production, Southern Alps, New Zealand. *Geology* 33-9.
- Hall, K., André, M. F. 2003: Rock thermal data at the grain scale: applicability to granular disintegration in cold environments. *Earth Surface Processes and Landforms* 28-8.
- Hall, K., Thorn, C., Sumner, P. 2012: On the persistence of weathering. *Geomorphology* 149-150.
- Hallet, B., Walden, J. S., Stubbs, C. W. 1991: Weathering by segregation ice growth in microcracks at sustained sub-zero temperatures: verification from an experimental study using acoustic emissions. *Permafrost and Periglacial Processes* 2-4.
- Hamblin, W. K. 1962: X-ray radiography in the study of structures in homogeneous sediments. *Journal of Sedimentary Petrology* 32.
- Harden, C. 2006: Terrace, River. *Encyclopedia of Geomorphology*. London.
- Heckmann, T., Haas, F., Wichmann, V., Morche, D. 2008: Sediment budget and morphodynamics of an alpine talus cone on different time scales. *Zeitschrift für Geomorphologie* 52-1.
- Hellstrom, J. 2006: U-Th dating of speleothems with high initial ^{230}Th using stratigraphical constraint. *Quaternary Geochronology* 1.
- Hellstrom, J., Drysdale, R., Zanchetta, G. 2006: High-resolution U-Th chronologies for speleothems. *Geophysical Research Abstracts* 8.
- Herman, R. 2001: An introduction to electrical resistivity in geophysics. *American Journal of Physics* 69-9.
- Hickin, E. J. 2003: Meandering channels. *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*. Dordrecht.
- Hickin, E. J. 2006: Hydraulic geometry. *Encyclopedia of Geomorphology*. London.
- Hicks, D. M. 2006: Suspended load. *Encyclopedia of Geomorphology*. London.
- Highman, T., Ramsey, C. B., Karavanic, I., Smith, F. H., Trinkaus, E. 2006: Revised direct radiocarbon dating of the Vindija G(1) upper Paleolithic Neandertals. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103.
- Hočevar, A. 1940: *Cerkniško jezero*. Ljubljana.
- Hohenwart, F. 1830: *Wegweiser für die Wanderer in der berühmten Adelsberger und Kronprinz Ferdinands-Grotte bey Adelsberg in Krain*. Dunaj.
- House, P. K., Webb, R. H., Baker, V. R., Levish, D. R. 2002: *Ancient Floods, Modern Hazards*. Washington DC.
- Hudson, B. D. 1995: Reassessment of Polynov's ion mobility series. *Soil Science Society of America Journal* 59-1.
- Hughes, P. D., Gibbard, P. L., Woodward, J. C. 2007: Geological controls on Pleistocene glaciation and cirque form in Greece. *Geomorphology* 88, 3-4.
- Huisman, D. J., Kiden, P. 1998: A geochemical record of late Cenozoic sedimentation history in the southern Netherlands. *Geologie En Mijnbouw* 76.
- Human cost of Natural Disasters 2015: A global perspective. Bruselj, 2015. Medmrežje: <http://relief-web.int/report/world/human-cost-natural-disasters-2015-global-perspective> (11. 11. 2015).
- Huntley, D. J., Godfrey-Smith, D. I., Thewalt, M. L. W. 1985: Optical dating of sediments. *Nature* 313.
- Ikeya, M. 1977: Electron Spin resonance dating and fission track detection of Petralona Stalagmite. *Journal of Anthropology* 4.

- Ikeya, M., Miki, T., Gospodarič, R. 1983: ESR Dating of Postojna Cave Stalactite. *Acta carsologica* 11.
- International Geographical Union, Commission on Applied Geomorphology, Subcommission on Geomorphological Mapping 1968: The unified key to the detailed geomorphological map of the World. *Folia Geographica, Series Geographica-Physica* 2. Krakov.
- Ivanovich, M., Harmon, R. S. 1992: Uranium-series Disequilibrium: Applications to Earth, Marine, and Environmental Sciences. Oxford.
- Hooke, J. M. 2015: Variations in flood magnitude–effect relations and the implications for flood risk assessment and river management. *Geomorphology* 251.
- Jenko, F. 1959: Hidrogeologija in vodno gospodarstvo krasa. Ljubljana.
- Jenko, F. 1965: Idejni projekt stalne ojezeritve Cerkniškega jezera. Ljubljana.
- Kataster jam IZRK 2014: Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU. Postojna.
- Katzer, F. 1909: Karst und Karsthydrographie. Sarajevo.
- Kebe, G. 1860: Popis Cerkniškega jezera. Ljubljana.
- Keller, G. V., Frischknecht, F. C. 1966: Electrical methods in geophysical prospecting. Oxford.
- Kiernan, K., Lauritzen, S. E., Duhig, N. 2001: Glaciation and cave sediment aggradation around the margins of the Mt Field Plateau, Tasmania. *Australian Journal of Earth Sciences* 48.
- King, L. C. 1963: Canons of landscape evolution. *Bulletin of the Geological Society of America* 64–7.
- Kircher, A. 1678: *Mundus subterraneus*. Amsterdam.
- Kladnik, D., Lovrenčak, F., Orožen Adamič, M. (ur). 2005: Geografski terminološki slovar. Ljubljana.
- Klasen, N., Fiebig, M., Preusser, F., Reitner, J. M., Radtke, U. 2007: Luminescence dating of proglacial sediments from the Eastern Alps. *Quaternary International* 164–165.
- Klimchouk, A. V., Ford, D. C., Palmer, A. N., Dreybrodt, W. 2000: *Speleogenesis: Evolution of karst aquifers*. Huntsville.
- Knebel, W. 1906: *Höhlenkunde*. Braunschweig.
- Knighton, D. 1998: *Fluvial forms and processes; a new perspective*. New York.
- Kochel, R. C., Baker, V. R. 1982: Paleoflood hydrology. *Science* 215.
- Kogovšek, J. 1999: Nova spoznanja o podzemnem pretakanju vode v severnem delu Javornikov (Visoki kras). *Acta carsologica* 28–1.
- Kogovšek, J., Knez, M., Mihevc, A., Petrič, M., Slabe, T., Šebela, S. 1999: Military training area in Kras (Slovenija). *Environmental Geology* 38–1.
- Kogovšek, J., Kovačič, G., Petrič, M., Ravbar, N., Turk, J. 2010: Recent results of tracer tests in the catchment of the Unica River (SW Slovenia). *Acta carsologica* 39–1.
- Kogovšek, J., Petrič, M. 2004: Advantages of longer-term tracing – three case studies from Slovenia. *Environmental Geology* 47–1.
- Komac, B. 2006: Dolec kot značilna oblika dolomitnega površja. *Geografija Slovenije* 13. Ljubljana.
- Komac, B., Natek, K., Zorn, M. 2008: Geografski vidiki poplav v Sloveniji. *Geografija Slovenije* 20. Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2005: Erozija prsti na kmetijskih zemljiščih v Sloveniji – meritve žlebične erozije v dolini Besnice. *Acta geographica Slovenica* 45–1.
- Komac, B., Zorn, M. 2007: Pobočni procesi in človek. *Geografija Slovenije* 15. Ljubljana.
- Kossmat, F. 1897: Über die geologischen Verhältnisse der Umgebung von Adelsberg und Planina. *Reichsanstalt*.
- Kossmat, F. 1916a: Die morphologische Entwicklung der Gebirge in Isonzo und oberen Savegebiet. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin* 9.
- Kossmat, F. 1916b: Die morphologische Entwicklung der Gebirge in Isonzo und oberen Savegebiet. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin* 10.
- Kotova, N., Makhortikh, S. 2010: Human adaption to past climate changes in the northern Pontic steppe. *Quaternary International* 220.
- Kovačič, G. 2010: An attempt towards an assessment of the Cerknica Polje water balance. *Acta carsologica* 39–1.

- Kovačič, G., Habič, Š. 2005: Kraška presihajoča jezera Pivke (JZ Slovenija) ob visokih vodah novembra 2000. *Acta carsologica* 34-3.
- Kranjc, A. 1987: Cerkniško jezero, primer človekovega vpliva na kraško hidrografijo. *Notranjska, Zbornik 14. zborovanja slovenskih geografov. Postojna*.
- Kranjc, A. 2010: Short History of Research. Introduction to the Dinaric Karst. *Postojna*.
- Kranjc, A. 2011: Važnost Dinarskog krša za karstologiju. *International Scientific Symposium »Man and Karst«, Book of abstracts. Sarajevo*.
- Kranjc, A., Lovrenčak, F. 1981: Poplavni svet na Kočevskem polju. *Geografski zbornik* 21.
- Kranjc, A. 1994: About the name and the history of the region »Kras«. *Acta carsologica* 23.
- Kraus, F. 1894: Höhlenkunde. *Dunaj*
- Lauritzen, S. E., Lundberg, J. 2000: Meso- and micromorphology of caves: solutional and erosional morphology. *Speleogenesis: evolution of karst aquifers. Huntsville*.
- Lauritzen, S. E., Mylroie, J. E. 2000: Results of a Speleothem U/Th Dating Reconnaissance from the Helderberg Plateau, New York. *Journal of Cave and Karst Studies* 62-1.
- Leben, F. 1975: Betalov spodmol. *Arheološka najdišča v Sloveniji. Ljubljana*.
- Lehmann, H. 1959: Studien über Poljes in den venezianischen Voralpen und in Hochapennin. *Erdkunde* 13-4.
- Leridon, H. 2008: Human populations and climate: Lessons from the past and future scenarios. *Comptes Rendus Geoscience* 340.
- Lewin, J. 1978: Floodplain Geomorphology. *Progress in Physical Geography* 2.
- Libby, W. F., Anderson, E. C., Arnold, J. R. 1949: Age Determination by Radiocarbon Content – World-Wide Assay of Natural Radiocarbon. *Science* 109.
- Lipar, M., Ferk, M. 2015: Karst pocket valleys and their implications on Pliocene–Quaternary hydrology and climate: Examples from the Nullarbor Plain, southern Australia. *Earth-Science Reviews* 150.
- Lipold, M. V. 1857: *Geologische Manuskriptkarte 1 : 750.000. Weichselburg-Zirknitz*.
- Lira, C., Pina, P. 2011: Granulometry on classified images of sand grains. *Journal of Coastal Research* 64.
- Löhnberg, A. 1934: Zur Hydrographie des Zirknitzer Beckens (Ein Beitrag zur Karstforschung). *Mémoires de la Société de géographie de Beograd* 3.
- Loke, M. H. 1999: Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. *Penang*.
- Lona, F. 1957: I depositi lacustri Euganei: Archivio paleontologico del tardo glaciale e del periodo post-glaciale. *Memorie di Biogeografia Adriatica* 5.
- Lopez-Chicano, M., Calvache, M. L., Martín-Rosales, W., Gisbert, J. 2002: Conditioning factors in flooding of karstic poljes – the case of the Zafarraya polje (South Spain). *Catena* 49-4.
- Lorenz, J. 1859: Geologische Recognoscierung im Liburnischen Karste. *Jahrbuch der Kaiserlich-Königlichen Geologischen Reichsanstalt* 10-2.
- Lovrenčak, F. 1994: *Pedogeografija. Ljubljana*.
- Lüdi, W., Studer P. 1959: Ein Pollendiagramm aus der bronzezeitlichen Station »Sumpf« am Zugersee. Bericht über das Geobotanische Forschungsinstitut Rübel in Zürich für das Jahr 1958 (1959). *Zürich*.
- Magny, M., Begeot, C., Guiot, J., Peyron, O. 2003: Contrasting patterns of hydrological changes in Europe in response to Holocene climate cooling phases. *Quaternary Science Reviews* 22, 15-17.
- Mahler, B. J., Personne, J., Lynch F. L. 2007: Sediment and sediment-associated contaminant transport through karst. *Studies of Cave Sediments, Physical and Chemical Records of Paleoclimate. Ohio*.
- Major, J. J. 2006: Pore-water pressure. *Encyclopedia of Geomorphology. London*.
- Markham, A. J., Thorne, C. R. 1992: *Geomorphology of gravel-bed river bends. Dynamics of Gravel Bed Rivers. Chichester*.
- Marković, S. B., Bokhorst, M. P., Vandenberghe, J., McCoy, W. D., Oches, E. A., Hambach, U., Gaudenyi, T., Jovanovic, M., Zöller, L., Stevens, T., Machalett, B. 2008: Late Pleistocene loess-palaeosol sequences in the Vojvodina region, north Serbia. *Journal of Quaternary Science* 23.

- Marković, S. B., Smalley, I. J., Hambach, U., Antoine, P. 2009: Loess in the Danube region and surrounding loess provinces: the Marsigli memorial volume. *Quaternary International* 198.
- Marriott, S. B. 2006: Floodplain. *Encyclopedia of Geomorphology*. London.
- Martel, E. A. 1894: *Les abimes*. Pariz.
- Masarik, J., Beer, J. 1999: Simulation of particle fluxes and cosmogenic nuclide production in the Earth's atmosphere. *Journal of Geophysical Research* 104-D10.
- Mather, A. 2011: Interpreting Quaternary Environments. *The SAGE Handbook of Geomorphology*. Los Angeles.
- Mather, A., Hartley, A. J. 2005: Flow events on a hyper-arid alluvial fan: Quedrada Tambores, Salar de Atacama, northern Chile. *Alluvial Fans: Geomorphology, Sedimentology, Dynamics*. London.
- Matsouka, N. 2001: Direct observations of frost wedging in alpine bedrock. *Earth Surface Processes and Landforms* 26-6.
- Mayewski, P. A., Rohling, E. E., Stager, J. C., Karlen, W., Maasch, K. A., Meeker, L. D., Meyerson, E. A., Gasse, F., van Kreveld, S., Holmgren, K., Lee-Thorp, J., Rosqvist, G., Rack, F., Staubwasser, M., Schneider R. R., Steig, E. J. 2004: Holocene climate variability. *Quaternary Research* 62.
- McGraw-Hill dictionary of Earth Science 2003. New York.
- Melik, A. 1928: Pliocensko porečje Ljubljane. *Geografski vestnik* 4.
- Melik, A. 1947: Ljubljansko mostiščarsko jezero in dediščina po njem. *Ljubljana*.
- Melik, A. 1951: Pliocenska Pivka. *Geografski vestnik* 13.
- Melik, A. 1955: Kraška polja Slovenije v pleistocenu. *Dela Inštituta za geografijo SAZU* 3.
- Mentlik, P., Jedlicka, K., Minar, J., Barka, I. 2006: Geomorphological information system: physical model and options of geomorphological analysis. *Geografie* 111-1.
- Mihevč, A. 1986: Geomorfološka karta Logaških rovt. *Acta carsologica* 14–15.
- Mihevč, A. 2002: U-Th datation of the collapse processes on Velika Gora. *Evolution of karst: from pre-karst to cessation: programme and guide booklet for the excursions*. Postojna.
- Mihevč, A. 2009: Cryoturbation of the sediments at the cave entrances – case studies from Skednena jama, Potočka zijalka and Bestažovca cave. *Hugo Obermaier-Gesellschaft für Erforschung des Eiszeitalters und der Steinzeit e. V.: 51. Annual Meeting in Ljubljana*. Ljubljana.
- Mihevč, A., Prelovšek, M., Zupan Hajna, N. 2010: Introduction to the Dinaric Karst. *Postojna*.
- Mihevč, A., Zupan Hajna, N. 1996: Clastic sediments from dolines and caves on the route of highway at Divača. *Acta carsologica* 25.
- Mihevč, A., Slabe, T., Šebela, S. 1998: Denuded caves – an inherited element in the karst morphology; the case from Kras. *Acta carsologica* 27.
- Mihevč, A. 1996: Brezstropa jama pri Povirju. *Naše jame* 38.
- Mijatović, B. F. 1984: Karst poljes in Dinarides. *Hydrogeology of the Dinaric Karst. International Contributions to hydrogeology* 4.
- Milanković, M. 1941: *Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem*. Beograd.
- Milanović, P. 1981: *Karst Hydrogeology*. Colorado.
- Milliman, J. D., Qin, Y. S., Ren, M. E. Y. 1987: Man's influence on the erosion and transport of sediment by Asian rivers: the Yellow River (Huanghe) example. *Journal of Geology* 95-6.
- Miracle, P. T., Lenardić, J. M., Brajković, D. 2010: Last glacial climates, »Refugia«, and faunal change in Southeastern Europe: Mammalian assemblages from Veternica, Velika pečina, and Vindija caves (Croatia). *Quaternary International* 212-2.
- Mrškar, I. 1967: Primerjava spodnje in zgornje zgradbe idrijskega rudišča. *Geologija* 10.
- Molnau, M., Vernon, C. 1983: A continuous Frozen Ground Index for Flood Forecasting. *Proceedings of the Western Snow Conference*. Washington.
- Monegato, G., Ravazzi, C., Donegana, M., Pini, R., Calderoni, G., Wick, L. 2007: Evidence of a two-fold glacial advance during the last glacial maximum in the Tagliamento end moraine system (eastern Alps). *Quaternary Research* 68-2.

- Moreno, A., Cacho, I., Canals, M., Grimalt, J. O., Sanchez-Vidal, A. 2004: Millennial-scale variability in the productivity signal from the Alboran Sea record, Western Mediterranean Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 211, 3-4.
- Morlot, A. 1848: Über die geologischen Verhältnisse von Istrien mit Berücksichtigung Dalmatiens und der angrenzenden gegenden Croatiens, Unterkrains und des Görzer Kreises. Dunaj.
- Mueller, M. 2003: Damages of the Elbe flood 2002 in Germany: A review. *Geophysical Research Abstracts* 5-12.
- Murton, J. B., Peterson, R., Ozouf, J.-C. 2006: Bedrock fracture by ice segregations in cold regions. *Science* 314.
- Nanson, G. C., Croke, J. C. 1992: A genetic classification of floodplains. *Geomorphology* 4.
- Nanson, G. C., Gibling, M. R. 2003: Rivers and alluvial fans. *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*. Dordrecht.
- Nanson, G. C., Young, R. W. 1981: Overbank deposition and floodplain formation on small coastal streams of New South Wales. *Zeitschrift für Geomorphologie* 25.
- Natek, K. 1983: Metoda izdelave in uporabnost splošne geomorfološke karte. Magistersko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Natek, K. 1993: Geomorfološka karta 1 : 100.000 list Celje in analiza reliefa sekcije. Doktorsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Natek, K. 2007: Periglacialne oblike na Pohorju. Dela 27.
- Newson, M. D. 1971: The role of abrasion in cavern development. *Transactions of the Cave Research Group of Great Britain* 13.
- NGRIP members 2004: High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. *Nature* 431.
- O'Connor, J. E., Costa, J. E. 2004: The World's Largest Floods, Past and Present: Their Causes and Magnitudes. U.S. Geological Survey Circular 1254.
- Ogrin, D. 1998: Podnebje. *Geografski atlas Slovenije*. Ljubljana.
- Ogrin, D. 2005: Spreminjanje podnebja v holocenu. *Geografski vestnik* 77-1.
- Ogrin, M., Sinjur, I., Ogrin, D. 2006: Minimalne temperature v slovenskih mraziščih pozimi 2005/2006. *Geografski obzornik* 53-2.
- Ogrinc, N., Covelli, S., Ogorelec, B., Faganeli, J., Budja, M. 2012: Rekonstrukcija paleookolja Tržaškega zaliva v holocenu z uporabo geokemijskih metod. *Opera instituti Archaeologici Sloveniae* 25.
- Olson, C. G. 2006: Chemical weathering. *Encyclopedia of Geomorphology*. London.
- Olson, I. U., Karlen, I., Stenberg, A. 1966: Radiocarbon Variations in Atmosphere. *Tellus* 18.
- Orehek, S. 1970: Eocenski fliš Slovenije: II. faza – Pivška kotlina in Brkini. Ljubljana.
- Osole, F. 1959: Analiza pleistocenskih jamskih sedimentov. *Geologija* 5.
- Osole, F. 1963: Mlajši paleolitik iz Ovčje jame. *Arheološki vestnik* 13-14.
- Osole, F. 1966: Sondiranja v kraških jamah iz okolice Prestranka. *Acta carsologica* 4.
- Osole, F. 1967: Zakajeni spodmol, Jamska paleolitska postaja. *Arheološki vestnik* 18.
- Osole, F. 1971: Županov spodmol, station paleolithique. *Epoque prehistorique et protohistorique en Yougoslavie, Recherches et resultats. Publie a l'occasion du 8 Congres de l'UISPP*. Beograd.
- Osole, F. 1974: Radiokarbonske datacije v slovenskem paleolitu. *Situla* 14-15.
- Osole, F. 1975a: Betalov spodmol. *Arheološka najdišča v Sloveniji*. Ljubljana.
- Osole, F. 1975b: Parska golobina. *Arheološka najdišča v Sloveniji*. Ljubljana.
- Otto, J. C., Gustavsson, M., Geilhausen, M. 2011: Cartography: design, symbolisation and visualisation of geomorphological maps. *Geomorphological Mapping: Methods and Applications*. London.
- Pain, C. F., Paron, P., Smith, M. J. 2008: Applied geomorphological mapping (AppGeMa): a working group of the International Association of Geomorphologists. *Geophysical Research Abstracts* 10.
- Parise, M. 2003: Flood history in the karst environment of Castellana-Grotte (Apulia, southern Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences* 3.

- Parise, M., Wasowski, J. 2000: Fenomeni di dissesto nell'Appennino Dauno, ed implicazioni per il patrimonio archeologico e storico-culturale. *Proceedings Convegno Geoben 2000*. Torino.
- Pasini, G. 1975: Sull'importanza speleogenetica dell' »erosione antigraavitativa«. *Le Grotte d'Italia* 4.
- Pasini, G. 2009: A terminological matter: paragenesis, antigraavitative erosion or antigraavitational erosin. *International Journal of Speleology* 38-2.
- Passega, R. 1957: Texture as characteristic of Clastic Deposition. *American association petroleum geologists bulletin* 41-9.
- Passega, R. 1964: Grain size representation by cm patterns as a geological tool. *Journal of Sedimentary Petrology* 34-4.
- Patzelt, G., Resch, W. 1986: Quartärgeologie des mittleren Tiroler Inntales zwischen Innsbruck und Baumkirchen. *Jahresberichte und Mitteilungen der oberrheinischen geologischen Vereinigung* 68.
- Pavšič, J. (ur.) 2006: Geološki terminološki slovar. Ljubljana.
- Peev, P. I. 2009: The Neolithisation of the Eastern Balkan Peninsula and fluctuations of the Black Sea level. *Quaternary International* 197, 1-2.
- Peltier, L. C. 1950: The geographic cycle in periglacial regions as it is related to climatic geomorphology. *Annals of the Association of American Geographers* 40.
- Penck, A., Brückner, E. 1909: *Die Alpen in Eiszeitalter*. Leipzig.
- Penck, W. 1924: *Die morphologische Analyse*. Stuttgart.
- Perica, D., Bognar, A., Lozić, S. 2002: Geomorphological features of the Baške Oštarije karst polje. *Geoadria* 7-2.
- Perko, D. 1992: Nakloni v Sloveniji in digitalni model reliefa. *Geodetski vestnik* 36-2.
- Perko, D. 2001: Analiza površja Slovenije s stometrskim digitalnim modelom reliefa. *Geografija Slovenije* 3. Ljubljana.
- Perko, D. 2007: Morfometrija površja Slovenije. *Georitem* 3. Ljubljana.
- Perko, G. A. 1910: *Die Adelsberger Grotte in Wort und Bild*. Ljubljana.
- Petrič, M., Šebela, S. 2005: Hydrogeological research as a basis for the preparation of the plan of monitoring groundwater contamination: a case study of the Stara vas landfill near Postojna (SW Slovenia). *Acta carsologica* 34-2.
- Peyron, O., Guiot, J., Cheddadi, R., Tarasov, P., Reille, M., de Beaulieu, J. L., Bottema, S., Andrieu, V. 1998: Climate reconstruction in Europe for 18.000 years BP from pollen data. *Quaternary Research* 49-2.
- Placer, L. 1981: Geološka zgradba jugozahodne Slovenije. *Geologija* 24-1.
- Plaster, E. J. 1992: *Soil Science and Management*. New York.
- Pleničar, M. 1953: Prispevek h geologiji Cerknškega polja. *Geologija* 1.
- Pleničar, M. 1970: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, tolmač lista Postojna. Zvezni geološki zavod. Beograd.
- Pleničar, M., Ogorelec, B., Novak, M. (ur.) 2009: *Geologija Slovenije*. Ljubljana.
- Plummer, L. N., Parkhurst, D. L., Wigley, T. M. L. 1979: Critical review of the kinetics of calcite dissolution and precipitation. *Chemical Modelling in Aqueous Systems*. Washington DC.
- Plummer, L. N., Wigley, T. M. L., Parkhurst, D. L. 1978: The kinetics of calcite dissolution in CO₂ – water systems at 5° to 60° and 0.0 to 0.1 atm CO₂. *American Journal of Science* 278.
- Pohar, V. 1990: Sesalska makrofavna v starejšem holocenu. Poročilo o raziskovanju paleolita, neolita in eneolita v Sloveniji 18.
- Pohar, V. 1994: Veliki sesalci iz viška zadnjega glaciale v Sloveniji. *Razprave IV. razreda SAZU* 34.
- Postojnska jama 2013. Medmrežje: <http://www.postojnska-jama.eu/si/o-upravljalcu/zgodovina> (27. 11. 2013).
- Potter, P. E. 2003: *Mudrocks. Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*. Dordrecht.
- Prelovšek, M. 2010: *Climate. Introduction to the Dinaric Karst*. Postojna.
- Premru, U. 1982: Geološka zgradba južne Slovenije. *Geologija* 25-1.

- Preusser, F., Degering, D., Fuchs, M., Hilgers, A., Kadereit, A., Klasen, N., Krbetschek, M., Richter, D., Spencer, J. Q. G. 2008: Luminescence dating: basics, methods and applications. *Eiszeitalter und Gegenwart. Quaternary Science Journal* 57, 1-2.
- Pudsey, C. J. 1992: Late Quaternary changes in Antarctic bottom water velocity inferred from sediment grain-size in the Northern Weddell Sea. *Marine Geology* 107, 1-2.
- Putick, W. 1888: Die Ursachen der Überschwemmungen in den Kesselthälern von Innerkrain. *Wochenschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines* 34.
- Putick, W. 1902: Der Zirknitzer See und Seine geologische Verhältnisse. *Festschrift zur Erinnerung an die Feier des fünfzigjährigen Bestandes der deutschen Staats-Oberrealschule in Brünn 1902*. Brünn.
- Radinja, D. 1972: Zakrasevanje v Sloveniji v luči celotnega morfogenetskega razvoja. *Geografski zbornik* 13.
- Rakovec, I. 1954a: Poznowürmska favna iz Jame v Lozi in iz Ovčje jame. *Arheološki vestnik* 13–14.
- Rakovec, I. 1954b: Povodni konj iz Pivške kotline. *Razprave IV. razreda SAZU* 2.
- Rakovec, I., 1955. Geološka zgodovina Ljubljanskih tal. *Zgodovina Ljubljane* 1.
- Rakovec, I. 1967: Sesalska favna Slovenije v pleistocenski dobi. *Arheološki vestnik* 18.
- Rakovec, I. 1975: Razvoj kvartarne sesalske favne v Sloveniji. *Arheološki vestnik* 24.
- Ravnik, D. 1965: Geoelektrične raziskave na Ljubljanskem barju. *Geologija* 8.
- Ravnik, D. 1976: Kameninska podlaga Planinskega polja. *Geologija* 19.
- Renault, P. 1968: Contribution a l'etude des actions mecaniques et sedimentologiques dans la speleogenese. *Annales de Speleologie* 23.
- Report U-Th 1 2013: Ferk U-Th April 2013. Lastna dokumentacija. Ljubljana.
- Rice, S. 2006: Gravel-bed river. *Encyclopedia of Geomorphology*. London.
- Rind, D. 2009: Atmospheric circulation during the last glacial maximum. *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments*. New York.
- Robert, A. 2003: *River Processes*. London.
- Roberts, H. 1994: *X-ray radiography. Geomorphological Techniques*. London.
- Roberts, N., Reed, J. M., Leng, M. J., Kuzucuoglu, C., Fontugne, M., Bertaux, J. 2001: The tempo of Holocene climatic change in the eastern Mediterranean region: new high resolution crater-lake sediment data from central Turkey. *The Holocene* 11.
- Robinson, D. A., Moses, C. A. 2011: *Rock Surface and Weathering: Process and Form. The SAGE Handbook of Geomorphology*. Los Angeles.
- Rodić, D. P. 1987: *Geografija Jugoslavije*. Beograd.
- Roglič, J. 1939 Morphologie der Poljen von Kupres and Vukovsko. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde* 7-8.
- Roglič, J. 1952: Unško-koranska zaravan i Plitvička jezera. *Geografski glasnik* 13.
- Roglič, J. 1957: Zaravni u vapnencima. *Geografski glasnik* 19.
- Roy, A. G., Lamarre, H. 2011: *Fluids, Flows and Fluxes in Geomorphology. The SAGE Handbook of Geomorphology*. Los Angeles.
- Rus, J. 1925: Morfogenetske skice iz notranjskih strani. *Geografski vestnik* 1.
- Saarnisto, M., Ojala, A. E. K. 2009: Varved sediments. *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments*. New York.
- Sanders, D., Ostermann, M. 2011: Post-last glacial alluvial fan and talus slope associations (northern Calcareous Alps, Austria): A proxy for Late Pleistocene to Holocene climate change. *Geomorphology* 131.
- Sanna, L., Saez, F., Simonsen, S., Constantin, S., Calaforra, J. M., Forti, P., Lauritzen, S. E. 2010: Uranium-series dating of gypsum speleothems: methodology and examples. *International Journal of Speleology* 39-1.
- Sasowsky, I. D., Mylroie, J. 2007: *Studies of Cave Sediments, Physical and Chemical Records of Paleoclimate*. Ohio.

- Savnik, R. 1960: Hidrografska zaledje Planinskega polja. *Geografski vestnik* 32.
- Schmidl, A. 1854: Die Grotten und Höhlen von Adelsberg Lueg, Planina und Laas. Wien.
- Scholz, D., Hoffmann, D. 2008: $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -dating of fossil corals and speleothems. *Eiszeitalter und Gegenwart, Quaternary Science Journal* 57, 1-2.
- Séfériades, M. 2007: Complexity of the processes of Neolithization: Tradition and modernity of the Aegean world at the dawn of the Holocene period (11-9kyr). *Quaternary International* 167-168.
- Seppä, H., Birks, H. J. B., Giesecke, T., Hammarlund, D., Alenius, T., Antonsson, K., Bjune, A. E., Heikkilä, M., MacDonald, G. M., Ojala, A. E. K., Telford, R. J., Veski, S. 2007: Spatial structure of the 8200 cal yr BP event in northern Europe. *Climate of the Past* 3.
- Simoniti, P. 2010: The 1551 Herberstein-Wernher Description of Lake Cerknica. *Acta carsologica* 39-1.
- Slabe, T. 1995: Cave Rocky Relief and its Speleogenetical Significance. Ljubljana.
- Smalley, I. J., Marković, S. B., Zöller, L., Kovacs, J. 2010: Climatic and environmental changes recorded in loess. *Central European Journal of Geosciences* 2-1.
- Smith, M. J., Pain, C. F. 2011: Geomorphological Mapping. *The SAGE Handbook of Geomorphology*. London.
- Sorriso Valvo, M. 1993: The geomorphology of Calabria: a sketch. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* 16.
- Speight, J. G. 1980: Methods and significance of slope mapping. Technical memorandum 80-7.
- Springer, G. S. 2002: Caves and Their Potential Use in Paleoflood Studies. *Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood History*. Washington.
- Springer, G. S., Kite, J. S. 1997: River-derived slackwater sediments in caves along Cheat, River, West Virginia. *Geomorphology* 18-2.
- Springer, G. S., Kite, J. S., Schmidt, V. A. 1997: Cave sedimentation, genesis, and erosional history in the Cheat River Canyon, West Virginia. *Geological Society of America Bulletin* 109-5.
- Sridhar, A. 2007: A mid-late Holocene flood record from the alluvial reach of the Mahi River, Western India. *Catena* 70-3.
- Stanley, D. J., Nir, Y., Galili, E. 1998: Clay mineral distributions to interpret Nile cell provenance and dispersal: III. Offshore margin between Nile delta and northern Israel. *Journal of Coastal Research* 14.
- Starkel, L. 2002: Change in the frequency of extreme events as the indicator of climatic change in the Holocene (in fluvial systems). *Quaternary International* 91-1.
- Steinberg, F. A. 1761: Grundleiche Nachricht von dem in dem Inner-Krain gelegenen Cirknitzer-See. Ljubljana.
- Stepišnik, U. 2004: The origin of sediments inside collapse dolines of Postojna karst (Slovenia). *Acta carsologica* 33-1.
- Stepišnik, U. 2010: Udornice v Sloveniji. *E-GeograFF* 1. Ljubljana.
- Stepišnik, U., Ferk, M., Gostinčar, P., Černuta, L. 2012: Holocene high floods on Planina Polje, Classical Dinaric Karst, Slovenia. *Acta carsologica* 41-1.
- Stepišnik, U., Mihevc, A. 2008: Investigation of structure of various surface karst formations in limestone and dolomite bedrock with application of the electrical resistivity imaging. *Acta carsologica* 37-1.
- Surfer 9 Tutorial 2012: Golden Software Surfer 9.
- Surić, M., Juračić, M., Horvatinčić, N. 2004: Comparison of ^{14}C and $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ dating of speleothems from submarine caves in the Adriatic Sea (Croatia). *Acta carsologica* 33-2.
- Syvitski, J. P. M. 2003: Sediment fluxes and rates of sedimentation. *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*. Dordrecht.
- Šebela, S. 1996: The dolines above the collapse chambers of Postojnska jama. *Acta carsologica* 25-2.
- Šebela, S. 1998: Tektonska zgradba sistema Postojnskih jam. Ljubljana.
- Šebela, S., Sasowsky, I. D., 1999. Age and Magnetism of Cave Sediments from Postojnska jama cave system and Planinska jama cave, Slovenia. *Acta carsologica* 28-2.
- Šercelj, A. 1955: Palinološki prerez kolišča pri Kamniku pod Krimom. *Arheološki vestnik* 6.

- Šercelj, A. 1959: Prispevek k zgodovini naših gozdov. *Gozdarski vestnik* 17.
- Šercelj, A. 1961: O kvartarni vegetaciji na Slovenskem. *Geologija* 7.
- Šercelj, A. 1963: Razvoj würmske in holocenske gozdne vegetacije v Sloveniji. *Razprave IV. razreda SAZU* 7.
- Šercelj, A. 1965a: Paleobotanične raziskave in zgodovina Ljubljanskega barja. *Geologija* 8.
- Šercelj, A. 1965b: Paleofloristična raziskovanja v Triglavskem pogorju. *Razprave IV. razreda SAZU* 8.
- Šercelj, A. 1966: Pelodne analize pleistocenskih in holocenskih sedimentov Ljubljanskega barja. *Razprave IV razreda SAZU* 9.
- Šercelj, A. 1967: Razvoj kvartarne vegetacije. *Arheološki vestnik* 18.
- Šercelj, A. 1969: Palinološka raziskovanja sedimentov Cerkniškega jezera. Tretji mednarodni mladinski raziskovalni tabor. Ljubljana.
- Šercelj, A. 1970: Würmska vegetacija in klima v Sloveniji. *Razprave IV. razreda SAZU* 13-7.
- Šercelj, A. 1973: Paleobotanične raziskave sedimentov Cerkniškega jezera in okolice. Mednarodni mladinski raziskovalni tabori 1971–1972. Ljubljana.
- Šercelj, A. 1974: Paleovegetacijske raziskave sedimentov Cerkniškega jezera. *Acta carsologica* 6.
- Šerko, A. 1946: Barvanja ponikalnic v Sloveniji. *Geografski vestnik* 18.
- Šerko, A. 1948: Kraški pojavi v Jugoslaviji. *Geografski vestnik* 19.
- Šerko, A. 1949: Kotlina Škocjan pri Rakeku. *Geografski vestnik* 20–21.
- Šerko, A. 1951: Ljubljana, Geološki in kraški opis. *Geografski vestnik* 23.
- Šibrava, V. 2010: Quaternary climatic changes in the Alpine foreland – New observation and new conclusions. *Global and Planetary Change* 72-4.
- Šifrer, M. 1959: Obseg pleistocenske poledenitve na Notranjskem Snežniku. *Geografski zbornik* 5.
- Šifrer, M. 1969: Kvartarni razvoj Dobrav na Gorenjskem. *Geografski zbornik* 11.
- Šmuc, A. 2013: Petrološke analize sedimentov v laboratoriju NTF. Naravoslovnotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Šušteršič, F. 1968: Nekaj o nastanku kraških udornih dolin. *Naše jame* 9-1.
- Šušteršič, F. 1973: K problematiki udornic in sorodnih oblik visoke Notranjske. *Geografski vestnik* 45-1.
- Šušteršič, F. 1978: Nekaj misli o zasutih brezni in njihovem polnilu. *Naše jame* 19.
- Šušteršič, F. 1982: Morfologija in hidrografija Najdene jame. *Acta carsologica* 10.
- Šušteršič, F. 1998: Rakovska kukava – udor ali tumor? *Acta carsologica* 27-1.
- Šušteršič, F. 2000: Ali so udornice zgolj posledica udara? *Acta carsologica* 29-2.
- Šušteršič, F. 2002: Collapse dolines and deflector faults as indicators of karst flow corridors. *International Journal of Speleology* 31, 1-4.
- Šušteršič, F. 2006: Relationships between deflector faults, collapse dolines and collector channel formation: some examples from Slovenia. *International Journal of Speleology* 35-1.
- Šušteršič, F., Šušteršič, S. 2003: Formation of the Cerkniščica and the flooding of Cerkniško Polje. *Acta carsologica* 32-2.
- Šušteršič, F., Šušteršič, S., Stepišnik, U. 2003: The Late Quaternary dynamics of Planinska jama, south-central Slovenia. *Cave and Karst Science* 30-2.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E. 1990: Applied geophysics. New York.
- Troll, C. 1944: Strukturböden, Solifluktion und Frostklima der Erde. *Geologische Rundschau* 34, 7-8.
- Tucker, M. E. 2001: Sedimentary Petrology, An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks. Oxford.
- Tungsheng, L., Zhisheng, A., Baoyin, Y., Jiamao, H. 1985: The Loess-Paleosol Sequence in China and Climatic History. *Episodes* 8-1.
- Turk, I., Verbič, T. 1993: Uvodna razprava za posodobitev kronologije mlajšega pleistocena v Sloveniji. *Arheološki vestnik* 44.
- Turk, J. 1999: Vrhunec razvoja lovskih skupnosti. Zakladi tisočletij, Zgodovina Slovenije od neandertalcev do Slovanov. Ljubljana.
- Turk, J. 2007: Divje babe 1. Ljubljana.

- Turk, J. 2008: Hidrogeologija Gradišnice in Gašpinove jame v kraškem vodonosniku med Planinskim poljem in izviri Ljubljane. *Geologija* 51-1.
- Turk, J., Gabrovšek, F. 2009: Hidrogeologija Vetrovne jame v vodonosniku severno od Planinskega polja. *Geologija* 52-1.
- Turk, J., Turk, M. 2010: Paleotemperature record in late pleistocene clastic sediments at Divje babe 1 cave (Slovenia). *Journal of archaeological science* 37.
- Urbas, V. 1877: Die Gewässer von Krain. *Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins* 8.
- Urbas, V. 1874: Die oro- und hydrographischen Verhältnisse Krain's. *Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins* 5.
- Valvasor, J. W. 1689: Die Ehre dess Hertzogthums Crain. Ljubljana.
- Velušček, A. 2010: Koliščarji. O koliščarski kulturi Ljubljanskega barja. Ljubljana.
- Veres, D., Lallier-Vergès, E., Wohlfarth, B., Lacourse, T., Kéavis, D., Björck, S., Preusser, F., Andrieu-Ponel, V., Ampel, L. 2008: Climate-driven changes in lake conditions during late MIS 3 and MIS 2: a high-resolution geochemical record from Les Echets, France. *Boreas* 38.
- Vijayakumar, V., Vasudevan, S., Pruthiviraj, T. 2011: Sedimentological characteristics of Perumal lake Cuddalore District, Tamilnadu, South India. *International Journal of Environmental Sciences* 1-7.
- Voelker, A. H. L. 2002: Global distribution of centennial-scale records for Marine Isotope Stage (MIS) 3: A database. *Quaternary Science Reviews* 21.
- Vrabec, M. 1994: Some thoughts on the pull-apart origin of karst poljes along the Idrija strike-slip fault zone in Slovenia. *Acta carsologica* 23.
- Toonen, W. H. J., Winkels, T. G., Cohen, K. M., Prins, M. A., Middelkoop, H. 2015: Lower Rhine historical flood magnitudes of the last 450 years reproduced from grain-size measurements of flood deposits using End Member Modelling. *Catena* 130.
- Warburton, J. 2011: Sediment Transport and Deposition. *The SAGE Handbook of Geomorphology*. London.
- Ward, S. 2006: Piezometric. *Encyclopedia of Geomorphology*. London.
- Watchman, A. L., Twidale, C. R. 2002: Relative and »absolute« dating of land surface. *Earth-Science Reviews* 58, 1-2.
- Wentworth, C. K. 1922: A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology* 30.
- What is the UIS. International Union of Speleology, 2012: Medmrežje: http://www.uis-speleo.org/index.php?option=com_content&view=article&id=19:what-is-the-uis&catid=29:history&Itemid=96 (20. 3. 2012).
- Williams, M. 2011: Environmental Change. *The SAGE Handbook of Geomorphology*. Los Angeles.
- Wintle, A. G. 2013: Introduction, History of Dating Methods. *Encyclopedia of Quaternary Science*. Amsterdam.
- Wohl, E. 2006: Palaeoflood. *Encyclopedia of Geomorphology*. London.
- Woldstedt, P. 1954: Das Eiszeitalter – Grundlinien Einer Geologie des Quartars. Stuttgart.
- Woldstedt, P. 1962: Die Letzte Eiszeit in Nordamerika und Europa. *Quaternary Science Journal* 13-1.
- Wolman, M. G., Leopold, L. B. 2013: River Flood Plains, Some Observations on Their Formation: USGS Professional Paper 282-C. Columbus.
- Wright, J. S. 2007: An overview of the role of weathering in the production of quartz silt. *Sedimentary Geology* 202.
- Xiao, S., Li, R., Chen, M. 2013: Detecting Sedimentary Cycles using Autocorrelation of Grain size. *Scientific Reports* 3.
- Young, R. W. 2006: Alluvium. *Encyclopedia of Geomorphology*. London.
- Zhou, W., Beck, B. F., Adams, A. L. 2002: Effective electrode array in mapping karst hazards in electrical resistivity tomography. *Environmental Geology* 42-8.
- Zhou, W., Beck, B. F., Stephenson, J. B. 2000: Reliability of dipole-dipole electrical resistivity tomography for defining depth to bedrock in covered karst terrains. *Environmental Geology* 39.
- Zolyomi B. 1953: Die Entwicklungsgeschichte der Vegetation Ungarns seit dem letzten Interglazial. *Acta Biologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 4.

- Zorn, M. 2008: Erozijski procesi v slovenski Istri. *Geografija Slovenije* 18. Ljubljana.
- Zorn, M., Kumer, P., Ferk, M. 2015: Od gozda do gozda ali kje je goli, kamniti Kras? *Kronika* 63-3.
- Zupan Hajna, N. 1992: Mineralna sestava mehanskih sedimentov iz nekaterih delov slovenskega krasa. *Acta carsologica* 21.
- Zupan Hajna, N. 1998: Mineral composition of clastic cave sediments and determination of their origin. *Kras i speleologija* 9.
- Zupan Hajna, N. 2003: Incomplete solution: weathering of cave walls and the production, transport and deposition of carbonate fines. Ljubljana.
- Zupan Hajna, N., Mihevc, A., Gostinčar, P. 2015: Caves – Exploration and Studies. Postojna.
- Zupan Hajna, N., Mihevc, A., Prelovšek, M. 2010: Land use. Introduction to the Dinaric Karst. Postojna.
- Zupan Hajna, N., Mihevc, A., Pruner, P., Bosák, P. 2008a: Palaeomagnetism and magnetostratigraphy of karst sediments in Slovenia. Ljubljana.
- Zupan Hajna, N., Mihevc, A., Pruner, P., Bosák, P. 2010: Palaeomagnetic research on karst sediments in Slovenia. *International Journal of Speleology* 39-2.
- Zupan Hajna, N., Pruner, P., Mihevc, A., Bosák, P. 2008b: Cave sediments from the Postojnska-Planinska cave system (Slovenia): Evidence of multi-phase evolution in epiphreatic zone. *Acta carsologica* 37-1.
- Zupan, N. 1991: Flowstone datations in Slovenia. *Acta carsologica* 20.
- Zupančič, B. 1998: Padavine. *Geografski atlas Slovenije*. Ljubljana.
- Zupančič, M., Seliškar, A., Žagar, V. 1998: Rastlinstvo. *Geografski atlas Slovenije*. Ljubljana.

9 SEZNAM SLIK

Slika 1: Prikaz računanja prostornine in površine poplav na podlagi spodnjega in zgornjega sloja rastrskih podatkov (prirejeno po Surfer ... 2012).	19
Slika 2: Geološke in hidrološke značilnosti porečja kraške Ljubljane.	23
Slika 3: Hidrološke značilnosti Pivške kotline.	25
Slika 4: Hidrološke značilnosti Cerkniškega polja.	27
Slika 5: Hidrološke značilnosti Planinskega polja.	29
Slika 6: Arheološke in geološke dobe po Turku (1999) in tridelna členitev würma po Woldstedtu (1962) in Grossu (1964).	35
Slika 7: Tloris Postojnskega jamskega sistema (prirejeno po Gospodariču 1976).	37
Slika 8: Tloris Planinske jame (prirejeno po Gospodariču (1976)).	48
Slika 9: Prostorska razporeditev hidrološko neaktivnih uravnjav v Pivški kotlini.	52
Slika 10: Terasa pri Grobišču na nadmorski višini 533 m.	53
Slika 11: Prerez gradiva v ročni vrtini na terasi pri Grobišču.	54
Slika 12: Terasa pri Stari vasi na nadmorski višini 533 do 535 m.	55
Slika 13: Terasa pri postojnskem letališču na nadmorski višini 533 m.	56
Slika 14: Prerez gradiva v ročni vrtini na terasi pri postojnskem letališču.	57
Slika 15: Zahodni del terase pri stari opekarni.	59
Slika 16: Navpični prerez gradiva v terasi pri stari opekarni.	60
Slika 17: Pogled z roba terase pri Malem Otoku proti terasi pod Zagonom.	62
Slika 18: Pogled s terase pri Malem Otoku proti terasi pri stari opekarni, kateri loči dolina Ovčarske Mlake.	62
Slika 19: Prerez gradiva v ročni vrtini na terasi pri Malem Otoku.	63
Slika 20: Ježa terase pri Zagonu.	65
Slika 21: Prerez gradiva v ročni vrtini v osrednjem delu terase pri Zagonu.	66
Slika 22: Območje merjenja električne upornosti gradiva na prehodu iz terase pri Zagonu v skalno flišno pobočje.	68
Slika 23: Električna upornost gradiva v podlagi ob robu terase pri Zagonu z uporabo metode Schlumberger.	69
Slika 24: Električna upornost gradiva v podlagi ob robu terase pri Zagonu z uporabo metode Wenner.	69
Slika 25: Pogled s terase pri Velikem Otoku proti Postojnskemu krasu in naselju Veliki Otok.	69
Slika 26: Prerez gradiva v ročni vrtini VO v osrednjem delu terase pri Velikem Otoku.	70
Slika 27: Terasa južno od slepe doline Risnik na nadmorski višini 532 m.	72
Slika 28: Prerez gradiva v ročni vrtini v osrednjem delu terase južno od slepe doline Risnik.	72
Slika 29: Dno udornice Stara Apnenica je zapolnjeno z naplavinami.	74
Slika 30: Prerez gradiva v ročni vrtini v dnu udornice Stara Apnenica.	75
Slika 31: Prerez gradiva v ročni vrtini v dnu vrtače nad udornico Stara Apnenica.	75
Slika 32: Prerez gradiva v ročni vrtini v dnu udornice Velika Jeršanova dolina.	77
Slika 33: Svetlo rjava meljasta ilovica iz vrtine v Veliki Jeršanovi dolini.	77
Slika 34: Plitva vrtača nad udornico Velika Jeršanova dolina.	78
Slika 35: Prerez gradiva v ročni vrtini v dnu vrtače nad udornico Velika Jeršanova dolina.	78
Slika 36: Dno udornice Vodni dol.	80
Slika 37: Prerez gradiva v ročni vrtini v dnu vrtače nad udornico Velika Jeršanova dolina.	81
Slika 38: Lega podrobneje preučevanih naplavin v jamah ponornega dela Pivške kotline (prirejeno po Gospodariču (1976)).	83
Slika 39: Prerez gradiva pri umetnem vhodu v Rov novih podpisov.	85
Slika 40: Prerez skozi sedimente v Rovu novih podpisov.	86

Slika 41: Osrednji del stranskega rova Plesne dvorane v Postojnski jami.	87
Slika 42: Prerez gradiva v dnu stranskega rova pri Plesni dvorani.	88
Slika 43: Prerez gradiva v končnem delu stranskega rova Plesne dvorane v Postojnski jami.	89
Slika 44: Prerez gradiva v dnu Rova brez imena.	91
Slika 45: Prvi prerez gradiva na vhodu v Pisani rov Postojnske jame.	93
Slika 46: Drugi prerez gradiva v dnu začetnega dela Pisanega rova Postojnske jame.	93
Slika 47: Analizirani sedimenti ob vznožju Velike gore.	95
Slika 48: Prerez analiziranega gradiva ob vznožju Velike gore.	95
Slika 49: Naplavine so nekoč zapolnjevale skoraj ves rov Zgornji Tartar v Postojnski jami.	98
Slika 50: Prvi prerez v Zgornjem Tartarju v Postojnski jami.	98
Slika 51: Prerez gradiva v končnem delu Zgornjega Tartarja.	100
Slika 52: Pogled na zgornji del drugega prereza v Zgornjem Tartarju.	104
Slika 53: Podorno gradivo zapira nadaljevanje Zgornjega Tartarja proti zahodu.	107
Slika 54: Dno Zgornjega Tartarja zapolnjujejo drobnozrnati sedimenti, četrti prerez je na desni strani nasipa.	107
Slika 55: Prerez gradiva v srednjem delu Zgornjega Tartarja	108
Slika 56: Sedimenti v rovu Koalicije v Spodnjem Tartarju.	109
Slika 57: Sledi drobnozrnatih sedimentov v Hauptmanovem kevdercu so vidne le na jamskih stenah, saj so bile v glavnem antropogeno odstranjene.	110
Slika 58: Drobnozrnati sedimenti v dnu Spodmola v Koliševki.	111
Slika 59: Grafičen prikaz rezultatov granulometričnih analiz sedimentov s teras, udornic in jam v Pivški kotlini.	113
Slika 60: Primerjava granulometričnih značilnosti sedimentov na površju v Pivški kotlini ter v udornicah in jamah Postojnskega krasa.	114
Slika 61: Rezultati mineraloških analiz sedimentov v Pivški kotlini.	115
Slika 62: Prostorski prikaz obsega paleopoplav do nadmorske višine 535 m v Pivški kotlini	116
Slika 63: Območja vzorčenja drobnozrnatih sedimentov ob Cerkniškem polju.	117
Slika 64: Ponorni del Cerkniškega polja z Javorniki in Nanosom v ozadju.	118
Slika 65: Prerez vrtine na uravnavi nad severozahodnim robom dna Cerkniškega polja.	119
Slika 66: Uravnano dno udornice Globoki dol.	120
Slika 67: Prerez vrtine v dnu udornice Globoki dol.	121
Slika 68: Zgornji del prereza JPC 1 v dnu Jame pod cesto.	123
Slika 69: Sledi meljaste ilovice med plastmi stalaktita v Jami pod cesto.	123
Slika 70: Grafičen prikaz rezultatov granulometričnih analiz sedimentov s površja, udornic in jame ob Cerkniškem polju.	125
Slika 71: Primerjava granulometričnih značilnosti sedimentov na površju, v udornicah in jamah ponornega zaledja Cerkniškega polja.	126
Slika 72: Rezultati mineraloških analiz sedimentov na Cerkniškem polju.	127
Slika 73: Obseg paleopoplav do nadmorske višine 575 m na Cerkniškem polju.	128
Slika 74: Območja vzorčenja drobnozrnatih sedimentov ob Planinskem polju.	129
Slika 75: Dno zatrepne doline Malni je prekrito z drobnozrnatimi sedimenti.	130
Slika 76: Prerez vrtine v zatrepni dolini Malni.	130
Slika 77: Uravnano dno udornice Mrzli dol.	132
Slika 78: Prerez vrtine v dnu udornice Mrzli dol.	133
Slika 79: Drobnozrnati sedimenti pred Zadnjim stebrom v Planinski jami.	135
Slika 80: Drobnozrnati sedimenti za Zadnjim stebrom v Planinski jami.	135
Slika 81: Pisana ilovica iz Rudolfovega rova Planinske jame.	136
Slika 82: Grafičen prikaz rezultatov granulometričnih analiz sedimenta iz zatrepne doline Malni in udornice Mrzli dol.	137

Slika 83: Primerjava granulometričnih značilnosti sedimenta iz zatrepne doline Malni in udornice Mrzli dol.	138
Slika 84: Rezultati mineraloških analiz sedimentov na Planinskem polju.	139
Slika 85: Obseg paleopoplav do nadmorske višine 495 m na Planinskem polju.	139
Slika 86: Hidravlični gradient kraškega vodonosnika na območju Postojnske jame in možni hidravlični gradient ob paleopoplavah (prirejeno po Gospodariču (1976)).	142
Slika 87: Prerez Postojnske jame z absolutnimi in relativnimi nadmorskimi višinami poplavnih sedimentov glede na predvideni hidravlični gradient ob paleopoplavah (prirejeno po Gospodariču (1976)).	143
Slika 88: Grafični prikaz rezultatov granulometričnih analiz vseh analiziranih vzorcev drobnozrnatega sedimenta v preučevanem delu porečja kraške Ljubljane.	146
Slika 89: Kronološka razlaga najvišjih možnih paleopoplav na vhodu v Postojnsko jamo na podlagi datacij sige iz Postojnske jame (krivulja izotopov prirejena po NGRIP members (2004)).	156

10 SEZNAM PREGLEDNIC

Preglednica 1: Metrične lastnosti hidrološko neaktivnih uravnav v Pivški kotlini.	51
Preglednica 2: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 63.	55
Preglednica 3: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 69.	58
Preglednica 4: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 70a.	58
Preglednica 5: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 70b.	59
Preglednica 6: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 33.	61
Preglednica 7: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 71.	64
Preglednica 8: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 72.	64
Preglednica 9: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 47.	67
Preglednica 10: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 48.	67
Preglednica 11: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 50a.	67
Preglednica 12: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 74b.	71
Preglednica 13: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 45.	73
Preglednica 14: Udornice na Postojnskem krasu.	73
Preglednica 15: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 10.	76
Preglednica 16: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 14.	79
Preglednica 17: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 86.	80
Preglednica 18: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 28.	86
Preglednica 19: Starost sige iz Rova novih podpisov.	86
Preglednica 20: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 23.	89
Preglednica 21: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 25.	90
Preglednica 22: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 27.	90
Preglednica 23: Starost sige iz Plesne dvorane.	90
Preglednica 24: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 2.	91
Preglednica 25: Starost sige iz Rova brez imena.	92
Preglednica 26: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 1.	93
Preglednica 27: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 4.	94
Preglednica 28: Starost sige iz Pisanega rova.	94
Preglednica 29: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 38.	96
Preglednica 30: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 37.	96
Preglednica 31: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 36.	97
Preglednica 32: Starost sige iz Velike gore.	97
Preglednica 33: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 6.	101
Preglednica 34: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 7.	101
Preglednica 35: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 8.	102
Preglednica 36: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 17.	102
Preglednica 37: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 16.	102
Preglednica 38: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 35.	103
Preglednica 39: Starost sige iz prvega prereza v Zgornjem Tartarju.	103
Preglednica 40: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 18.	105
Preglednica 41: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 19.	105
Preglednica 42: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 20.	105
Preglednica 43: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 21.	106
Preglednica 44: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 22.	108
Preglednica 45: Starost sige iz četrtega prereza v Zgornjem Tartarju.	108
Preglednica 46: Starost sige iz Rova koalicije v Spodnjem Tartarju.	109
Preglednica 47: Deleži frakcij drobnostnega gradiva v vzorcu I 32.	111

Preglednica 48: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 30.	112
Preglednica 49: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 31.	112
Preglednica 50: Hidrometrične lastnosti poplav na različnih nadmorskih višinah v Pivški kotlini.	115
Preglednica 51: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 76.	119
Preglednica 52: Udornice v ponornem zaledju Cerkniškega polja.	120
Preglednica 53: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 77.	121
Preglednica 54: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 82.	122
Preglednica 55: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 83.	124
Preglednica 56: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 90.	124
Preglednica 57: Hidrometrične lastnosti poplav na različnih nadmorskih višinah na Cerkniškem polju.	126
Preglednica 58: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 81.	131
Preglednica 59: Udornice v zaledju izvirov na Planinskem polju.	131
Preglednica 60: Deleži frakcij drobnnozrnatega gradiva v vzorcu I 78.	132
Preglednica 61: Hidrometrične lastnosti poplav na različnih nadmorskih višinah na Planinskem polju.	138
Preglednica 62: Rezultati datacijskih analiz in relativna nadmorska višina analiziranih sedimentov glede na predviden hidravlični gradient ob paleopoplavah.	148

Seznam knjig iz zbirke Geografija Slovenije

- 1 Milan Natek, Drago Perko: 50 let Geografskega inštituta Antona Melika ZRC SAZU
- 2 Jerneja Fridl: Metodologija tematske kartografije nacionalnega atlasa Slovenije
- 3 Drago Perko: Analiza površja Slovenije s stometrskim digitalnim modelom reliefa
- 4 Uroš Horvat: Razvoj in učinki turizma v Rogaški Slatini
- 5 Mimi Urbanc: Kulturne pokrajine v Sloveniji
- 6 Miha Pavšek: Snežni plazovi v Sloveniji
- 7 Maja Topole: Geografija občine Moravče
- 8 Drago Kladnik, Marjan Ravbar: Členitev slovenskega podeželja
- 9 Damir Josipovič: Dejavniki rodnostnega obnašanja v Sloveniji
- 10 Irena Rejec Brancelj, Aleš Smrekar, Drago Kladnik: Podtalnica Ljubljanskega polja
- 11 Franci Petek: Spremembe rabe tal v slovenskem alpskem svetu
- 12 Aleš Smrekar: Zavest ljudi o pitni vodi
- 13 Blaž Komac: Dolec kot značilna oblika dolomitnega površja
- 14 Drago Kladnik: Podomačena tuja zemljepisna imena v slovenskih atlasih sveta
- 15 Blaž Komac, Matija Zorn: Pobočni procesi in človek
- 16 Janez Nared: Prostorski vplivi slovenske regionalne politike
- 17 Lučka Ažman Momirski, Drago Kladnik, Blaž Komac, Franci Petek, Peter Repolusk, Matija Zorn: Terasirana pokrajina Goriških brd
- 18 Matija Zorn: Erozijski procesi v slovenski Istri
- 19 David Bole: Ekonomska preobrazba slovenskih mest
- 20 Blaž Komac, Karel Natek, Matija Zorn: Geografski vidiki poplav v Sloveniji
- 21 Brigita Jamnik, Aleš Smrekar, Borut Vrščaj: Vrtičkarstvo v Ljubljani
- 22 Rožle Bratec Mrvar, Lukas Birsak, Jerneja Fridl, Drago Kladnik, Jurij Kunaver: Kocenov srednješolski atlas kot didaktična prelomnica
- 23 Bojan Erhartič: Geomorfološka dediščina v Dolini Triglavskih jezer
- 24 Drago Kladnik, Rok Ciglič, Mauro Hrvatin, Drago Perko, Peter Repolusk, Manca Volk: Slovenski eksonimi
- 25 Drago Kladnik, Drago Perko: Slovenska imena držav
- 26 Mateja Breg Valjavec: Nekdanja odlagališča odpadkov v vrtačah in gramoznicah
- 27 Drago Kladnik, Primož Pipan, Primož Gašperič: Poimenovanja Piranskega zaliva
- 28 Rok Ciglič: Analiza naravnih pokrajinskih tipov Slovenije z GIS-om
- 29 Matjaž Geršič, Borut Batagelj, Herman Berčič, Ljudmila Bokal, Aleš Guček, Janez Kavar, Stane Kocutar, Blaž Komac, Zvezdan Marković, Peter Mikša, Blaž Torkar: Rudolf Badjura – življenje in delo
- 30 Matej Gabrovec, Mauro Hrvatin, Blaž Komac, Jaka Ortar, Miha Pavšek, Maja Topole, Mihaela Triglav Čekada, Matija Zorn: Triglavski ledenik
- 31 Brigita Jamnik, Mitja Janža, Aleš Smrekar, Mateja Breg Valjavec, Sonja Cerar, Claudia Cosma, Katarina Hribernik, Matija Krivic, Petra Meglič, Simona Pestotnik, Matthias Piepenbrink, Martin Podboj, Katarina Polajnar Horvat, Joerg Prestor, Christoph Schüth, Jasna Šinigoj, Dejan Šram, Janko Urbanc, Gorazd Žibret: Skrb za pitno vodo
- 32 Matija Zorn, Aleš Smrekar, Peter Skoberne, Andrej Šmuc, Anton Brancelj, Igor Dakskobler, Aleš Poljanec, Borut Peršolja, Bojan Erhartič, Mateja Ferk, Mauro Hrvatin, Blaž Komac, Daniela Ribeiro: Dolina Triglavskih jezer
- 33 Mateja Ferk: Paleopoplave v porečju kraške Ljubljane



Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Naslov: Gosposka ulica 13, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: gi@zrc-sazu.si

Medmrežje: <http://giam.zrc-sazu.si>

Inštitut je leta 1946 ustanovila Slovenska akademija znanosti in umetnosti in ga leta 1976 poimenovala po akademiku dr. Antonu Meliku (1890–1966). Od leta 1981 je sestavni del Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Leta 2002 sta se inštitutu priključila Inštitut za geografijo, ki je bil ustanovljen leta 1962, in Zemljepisni muzej Slovenije, ustanovljen leta 1946. Ima oddelke za fizično geografijo, humano geografijo, regionalno geografijo, naravne nesreče, varstvo okolja, geografski informacijski sistem in tematsko kartografijo, zemljepisno knjižnico ter zemljepisni muzej. V njem je sedež Komisije za standardizacijo zemljepisnih imen Vlade Republike Slovenije.

Njegovi raziskovalci se ukvarjajo predvsem z geografskimi raziskavami Slovenije in njenih pokrajin ter pripravo temeljnih geografskih knjig o Sloveniji. Sodelujejo pri številnih domačih in mednarodnih projektih, organizirajo znanstvena srečanja, izobražujejo mlade raziskovalce, izmenjujejo znanstvene obiske. Inštitut izdaja znanstveno revijo *Acta geographica Slovenica*/Geografski zbornik ter znanstveni knjižni zbirki Geografija Slovenije in Georitem. V sodih letih izdaja knjižno zbirko GIS v Sloveniji, v lihih letih knjižno zbirko Regionalni razvoj, vsako tretje leto pa knjižno zbirko Naravne nesreče

GEOGRAFIJA SLOVENIJE 33



ISSN 1580-1594



9 789612 548438

20 €