

7. slovenski geološki kongres

Zbornik povzetkov in vodnik ekskurzij
Book of abstracts & field trips

1. – 3. 10. 2026

Lipica

7. SLOVENSKI GEOLOŠKI KONGRES
7TH SLOVENIAN GEOLOGICAL CONGRESS

ZBORNİK POVZETKOV IN VODNIK EKSURZIJ
BOOK OF ABSTRACTS & FIELD TRIP BOOK

7. slovenski geološki kongres, Lipica, 1.-3. oktober 2026

Zbornik povzetkov in vodnik ekskurzij/ Book of abstracts & Field trips

Odgovorna urednica: Astrid Švara

Urednice: Astrid Švara, Darja Kolar, Petra Žvab Rožič

Izdal: Znanstvenoraziskovalni center slovenske akademije znanosti in umetnosti (ZRC SAZU), Inštitut za raziskovanje krasa, Titov trg 2, 6230 Postojna, Slovenija

Založila: Založba ZRC

Zanju: Oto Luthar, Nataša Ravbar

Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU in Slovensko geološko društvo

Naklada: 200 izvodov

Za jezik in vsebino prispevkov so odgovorni avtorji.

Platnica in grafična podoba: Grafično oblikovanje, Anže Jesenovec s.p.

Tisk: Cicero Begunje d.o.o.

Prva izdaja, prvi natis.

Postojna, 2026

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

55(082)

SLOVENSKI geološki kongres (7 ; 2026 ; Lipica)

7. slovenski geološki kongres = 7th Slovenian Geological Congress : zbornik povzetkov in vodnik ekskurzij = book of abstracts & field trip book : [Lipica, 1.-3. oktober 2026] / [odgovorna urednica Astrid Švara]. - 1. izd., 1. natis. - Ljubljana : Založba ZRC, 2026

ISBN 978-961-05-1172-4
COBISS.SI-ID 290666755

Organizatorji kongresa:

Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU in Slovensko geološko društvo



ZRC SAZU



**SLOVENSKO
GEOLOŠKO
DRUŠTVO**

Organizacijski odbor:

Simona Adrinek, Jasmina Čeligoj Biščak, Franci Gabrovšek, Rok Gašparič, Matej Jelovčan, Žan Kafol, Martin Knez, Blaž Kogovšek, Darja Kolar, Matija Križnar, Cyril Mayaud, Tinkara Mazej, Uroš Novak, Bojan Otoničar, Metka Petrič, Mitja Prelovšek, Nataša Ravbar, Nina Rman, Sonja Stamenković, Filip Šarc, Stanka Šebela, Astrid Švara, Nadja Zupan Hajna, Petra Žvab Rožič

Znanstveni odbor:

Maja Andrič (ZRC SAZU)
Miloš Bavec (GEOZS)
Mojca Bedjanič (ZRSVN)
Barbara Čenčur Curk (UL NTF)
Irena Debeljak (ZRC SAZU)
Karmen Fifer Bizjak (ZAG)
Marina Gacin (ARSO)
Franci Gabrovšek (ZRC SAZU)
Mojca Gorjup Kavčič (GEOPARK IDRIJA)
Andrej Gosar (ARSO)
Aleksander Horvat (ZRC SAZU)
Brigita Jamnik (JP VOK SNAGA)
Petra Jamšek Rupnik (GEOZS)
Jože Janež (GEOLOGIJA d.o.o.)
Peter Jemec (ELEA IC)
Jernej Jež (GEOZS)
Vojkan Jovičič (UL FGG)
Martin Knez (ZRC SAZU)
Marko Komac (INTRAW in EFG)
Darja Komar (GEOPARK KARAVANKE)
Adrijan Košir (ZRC SAZU)
Matija Križnar (PMS)

Sonja Lojen (IJS)
Andrea Martín Pérez (ZRC SAZU)
David Medica (PARK ŠKOCJANSKE JAME)
Nejc Mihevc (ELEA IC)
Matevž Novak (GEOZS)
Primož Oprčkal (ZAG)
Bojan Otoničar (ZRC SAZU)
Borut Peric (PARK ŠKOCJANSKE JAME)
Metka Petrič (ZRC SAZU)
Jože Ratej (IRGO)
Jasmina Rijavec (MARMOR SEŽANA)
Nina Rman (GEOZS)
Boštjan Rožič (UL NTF)
Martina Stupar (ZRSVN)
Stanka Šebela (ZRC SAZU)
Andrej Šmuc (UL NTF)
Tilen Urbančič (GEOTOČKA)
Goran Vižintin (UL NTF)
Vladimir Vukadin (IRGO CONSULTING)
Nadja Zupan Hajna (ZRC SAZU)
Marko Žibert (ELEA IC)
Petra Žvab Rožič (UL NTF)

POVZETKI

ABSTRACTS

Vsebina/Content

Ocena količinskega stanja podzemnih voda za Načrt upravljanja voda 2028-2033 (NUV4).....	13
Mišo Andjelov, Peter Frantar, Urška Pavlič, Nina Rman, Dejan Šram, Petra Souvent	
Struktura in kvartarna aktivnost Savskega preloma pri vasi Gozd	14
Andrej Anžel, Petra Jamšek Rupnik, Lovro Rupar, Marko Vrabec	
Flooding of a karstified foreland-basin carbonate platform: facies successions of the basal part of the Liburnian Formation on Kras.....	15
Lucija Balaić, Adrijan Košir, Andrea Martín Pérez, Bojan Otoničar	
Cooccurrence of nannoplankton and diatoms during the Biogenic Bloom in a Late Miocene sequence from the Andaman Sea	16
Miloš Bartol, Karen Gariboldi	
Geološka služba za Evropo kot naslednji korak evropskega geološkega sodelovanja.....	16
Miloš Bavec, Meta Bole, Urša Šolc, Jasna Šinigoj	
Od znanosti do doživetja: interpretacija mineralnih in termalnih voda ter mofet.....	17
Mojca Bedjanič, Nina Rman, Dominik Vodnik, Janja Sivec, Simon Veberič, Lenka Stermecki, Barbara Stupan, Nastja Fekonja	
Od matičnega Krasa do čezmejnega Geoparka KRAS-CARSO.....	18
Sara Bensi	
Geološke vsebine v prenovljenih učnih načrtih za osnovno šolo in gimnazijo: Ali imamo geologi razlog za zadovoljstvo?.....	19
Rok Brajkovič, Matevž Novak, Neža Malenšek Andolšek, Nina Rman, Mojca Bedjanič, Petra Žvab Rožič	
Hidrogeološko kartiranje izvirov z uporabo GIS-orodij	20
Mateja Broluh, Nina Mali, Lidija Levičnik	
Dušanovo – palinološka, sedimentološka in mineraloška rekonstrukcija okolja koliščarske naselbine.....	20
Nina Caf, Maja Andrič, Andrej Šmuc	
Sedimentni zapis antropogenih vplivov v Fizinah	21
Matic Centa, Andrej Šmuc, Tomislav Popit, Andrej Gaspari, Matija Črešnar, Matej Dolenec, Primož Miklavc	
Radiolariji pelagičnih apnencev Severnih Karavank.....	22
Tim Cifer, Ivan Ocepek, Špela Goričan, Aleksander Horvat, László Bujtor	
Nove raziskave pleistocenskih ptic (Aves) v Sloveniji.....	23
Leon Cimerman, Matija Križnar	
Ekstremni vremenski dogodki in oskrba s pitno vodo: skupno iskanje rešitev.....	23
Barbara Čenčur Curk, Anja Torkar, Branka Bračič Železnik	
Primerjava mineralne sestave peskov in peščenjakov Panonskega bazena.....	24
Barbara Čeplak, Lara Mencinger, Kristina Ivančič	
Opredelevanje inženirsko-geoloških razmer zemeljskega plazju Rotman z uporabo različnih geofizikalnih metod	25
Teja Čeru, Lovro Rupar, Andrej Novak, Kristina Ivančič, Matjaž Klasinc, Tina Peternel	

Labotski prelom, geopestrost v prostoru in času	26
Katica Drobne, Rok Brajkovič, Polona Kralj, Miloš Bartol, Vlasta Čosovič, Irena Debeljak, Mateja Ferk, Miha Marinšek, Miloš Markič, Matija Perne, Sandra Podobnik, Nina Rman, Aleš Šoster, Zofija Klemen-Krek, Andraž Šinkovec, Matija Štefančič, Johannes Pignatti	
Vodnobilančni model mGROWA	28
Peter Frantar, Mišo Andjelov, Frank Herrmann, Frank Wendland	
Geofizikalne preiskave za zaznavanje kraških pojavov med gradnjo predorov T1 in T2	29
Julija Fux, Markus Schmidt, David Kusnirak	
Vpliv ekstremnih padavinskih dogodkov na premeščanje potencialno strupenih elementov – primer Mežiške doline	29
Martin Gaberšek, Špela Bavec, Miloš Miler, Mateja Gosar	
Riddles in the dark: palaeontological evidence for repeated transitions from marine to subterranean freshwater environments	30
Rok Gašparič, Tomaž Hitij, Tomáš Kočí, Martina Kočová Veselská, Rok Brajkovič	
Hidrostratigrafija Mursko-Zalskega bazena	31
David Gerčar, Simona Adrinek, Kristina Ivančič, Andrej Lapanje, Nina Rman, Jure Atanackov, Mitja Janža	
Pomen srednjetriasnih radiolarijev Julijskih Alp za globalno radiolarijsko conacijo	32
Špela Goričan, Tea Kolar-Jurkovšek, Bogdan Jurkovšek, Luka Gale	
Pomen globoke raziskovalne vrtine v Bovški kotlini (projekt DOVE) za seizmologijo in ocenjevanje potresne nevarnosti	33
Andrej Gosar	
Vpliv litološke podlage na pojavljanje plazov na travniških površinah v vzhodni in severovzhodni Sloveniji	34
Petra Gostinčar, Andrej Anžel, Lara Mencinger, Edmundo Placencia-Gómez, Ana Novak, Andrej Novak, Blaž Milanič, Jernej Jež, Kristina Ivančič	
Distalna Zn skarnska mineralizacija v Bistriškem vintgarju (Pohorje): prvi vpogled v evolucijo magmatsko-hidrotermalnega sistema	35
Luna Grum-Verdinek, Mihael Ravnjak, Aleš Šoster	
Razvoj vodno-bilančnega modela Community Water Model (CWatM) na območju Slovenije	36
Matej Horvat, Dejan Šram, Peter Frantar	
Vpliv paleopodnebnih sprememb na sedimentacijo v miocenu	37
Kristina Ivančič, Lara Mencinger, Miha Marinšek, Miloš Bartol	
Knjižnica PMSLJ in geološka kulturna dediščina	38
Alenka Jamnik, Lara Jamnik Peternel, Ines Jamnik Peternel	
Paleoseizmološke raziskave Raškega preloma v JZ Sloveniji: vpogled v 30-tisočletno zgodovino potresov s površinskimi pretrgi	39
Petra Jamšek Rupnik, Eva Mencin Gale, Lovro Rupar, Jernej Jež, Frank Preusser, Ana Novak, Aleša Uršič Arko, Andrej Anžel, Josipa Maslač Soldo, Jure Atanackov	
Ocena potenciala in optimizacija rabe podzemne vode za pridobivanje toplote	40
Mitja Janža, Nika Pišek Szillich, Petra Meglič	
Zemeljski plazovi v preperinskih in koluvijjskih sedimentih	41
Mateja Jemec Auflič, Matej Maček, Jasna Smolar, Karin Kure, Tina Peternel, Helena Grčman, Rok Turniški, Vesna Zupanc, Luka Žvokelj, Boštjan Pulko	

Potresi na Pivško-ilirskobistriškem območju zabeleženi z mrežo opazovalnic SLO Karst NFO.....	42
Tamara Jesenko, Miha Lanjšček	
Z geološkim vlakom skozi predor T1 – Lokev	42
Jernej Jež, Aleša Uršič Arko, Adrijan Košir, Jernej Loboda, Julija Fux	
Izdelava strokovnih podlag na podlagi kart verjetnosti pojavljanja plazov – problematika odločanja sprejemljivosti posegov	43
Grega Juvan	
Kredne oceanske rdeče plasti (CORBs): Globalni paleoceanografski fenomen v Zunanjih Dinaridih (Budva bazen, Črna Gora) in Južnih Alpah (Julijske Alpe, Slovenija)	44
Anja Kocjančič, Aleksander Horvat	
Razlikovanje kraških izvirov na podlagi analize histerez pretokov	45
Blaž Kogovšek, Metka Petrič, Igor Jemcov	
Triasna konodontna bioconacija Dinaridov	46
Tea Kolar-Jurkovšek	
Geo.Hub mreža kot inovativna platforma za sodobno komuniciranje, interpretacijo dediščine in trajnostni turizem v čezmejnem Geoparku Karavanke	47
Darja Komar, Lenka Stermečki, Mojca Bedjanič, Suzana Fajmut Štručl, Danijela Modrej, Gerald Hartmann, Primož Vodovnik	
Towards a joint research on the Dinaric Fault System across the Slovenia-Croatia border in the NW Dinarides	48
Tvrtno Korbar, Damir Palenik, Matija Vukovski, Jernej Jež	
Kraška grupa: karbonatna platforma med orogenezo in toplo gredo.....	49
Adrijan Košir	
Pojavnost in značilnosti mikroplastike v podzemni vodi v Sloveniji	50
Manca Kovač Viršek, Elvira Colmenarejo Calero, Nina Mali	
Izbrana karnijska favna nevretenčarjev Crngroba pod drobnogledom.....	51
Matija Križnar, Lidija Korat Bensa, Eva Menart, Tim Cifer in Luka Gale	
Razvoj geološko-geotehničnega modela trase tretje razvojne osi med Velenjem in Slovenj Gradcem	52
Albin Križnič, Nina Jurečič, Vlado Vukadin	
Najbolj perspektivna geotermalna območja v Sloveniji in ali še obstaja potreba po reinjekciji?.....	53
Darjan Kundačina, Andrej Lapanje, Nina Rman, Nika Pišek Szillich, Dušan Rajver	
Geomorfološke značilnosti kot dejavnik nastanka zemeljskih plazov: na primeru plazu Jelen.....	54
Karin Kure, Tina Peternel, Blaž Milanič, Domen Turk, Mateja Jemec Auflič	
AI digitalizacija geoloških profilov v eVrtinah in njihova uporabnost za pripravo geoloških modelov	54
Andrej Lapanje, Nina Rman, David Gerčar, Mitja Janža, Nika Pišek Szilich, Blaž Bahar, Hawkar Ali Abdulhaq	
Digitalni podatkovni model hidrogeološke karte za območje Krško – Brežice	55
Lidija Levičnik, Nina Mali	
Vodozadrževalne lastnosti zemljin na pilotnih lokacijah projekta ExtremEarth	56
Matej Maček, Jasna Smolar, Boštjan Pulko, Luka Žvokelj, Nejc Golob, Vesna Zupanc, Mateja Jemec Auflič	

Karakterizacija organske snovi v karnijskih karbonatnih plasteh na Drenovem Griču in Liburnijski formaciji na Krasu	57
Neža Malenšek Andolšek, Miloš Markič	
Vloga nezasičene cone pri transportu mikroplastike do podzemne vode	58
Nina Mali, Manca Kovač Viršek, Elvira Colmenarejo Calero	
Dejavniki, ki nadzorujejo nastajanje kompleksnih rudnih formacij v metasomatsko spremenjenih Ultrabazičnih masivih Srednje-dneprskega megabloka Ukrajinskega štita	59
Maryna Malova, Maryna Ruzina, Svitlana Koval	
Ostrakodna bioconska razčlenitev zgornjemiocenskih sedimentov vzhodne Slovenije	60
Miha Marinšek	
Radiocarbon dating of moonmilk deposits in Slovenian caves	60
Andrea Martín-Pérez, Vanessa E. Johnston, Adrijan Košir	
Uporaba FloodWatch na terenu: prva ocena	61
Cyril Mayaud, Žan Kafol, Žiga Kokalj, Jaroslav Obu	
Holocenska dinamika sedimentacije vršaja Hlačevke (dolina Raše, JZ Slovenija) v povezavi s podnebnimi spremembami in potresno aktivnostjo	62
Eva Mencin Gale, Petra Jamšek Rupnik, Ana Novak, Jernej Jež	
Petrografske, mineraloške in geokemične lastnosti oligocenskih in miocenskih vulkanoklastičnih kamnin vzhodne Slovenije: preliminarni rezultati	63
Lara Mencinger, Kristina Ivančič, Mirijam Vrabec	
Sedimentacijski model reliktna jame Malo Sošje (Logaška planota)	64
Primož Miklavc, Matej Dolenc, Andrej Šmuc	
Značilnosti in izvor suspendiranih delcev v zraku v Postojnski jami - Characteristics and sources of suspended particulate matter in the Postojna Cave	65
Miloš Miler, Nina Zupančič, Simona Jarc, Stanka Šebela	
Vloga mineraloških, pedoloških in geokemičnih lastnosti vinogradniških tal v konceptu terroirja – preliminarni rezultati	66
Magdalena Mirt, Martin Gaberšek, Rok Brajkovič, Katja Šuklje Antalick	
Otipljiva geologija: sodoben tehnološki pristop k izdelavi reliefnih modelov	67
Adem Mujanović, Amir Čekić, Domen Pucko, Domen Lapuh, Lidija Korat Bensa	
Aktivnosti GeoZS v okviru Italija-Slovenija Interreg projekta CONCORDIA	67
Ana Novak, Andrej Anžel, Jernej Bavdek, Gisela Domej, Mateja Jemec Auflič, Jernej Jež, Eva Mencin Gale, Maša Mušič, Domen Turk	
Primerjava morfometrične in sedimentološke analize pri opredeljevanju sedimentacijskih procesov na aluvialnih pahljačah v dolini Planice	68
Andrej Novak, Tomislav Popit, Andrej Šmuc	
Kaj obeležuje mednarodni dan geopestrosti in kaj se vrednoti z indeksom geodiverzitete	69
Matevž Novak	
SLO KARST NFO: multidisciplinarni observatorij za raziskave aktivne tektonike v krasu	70
Uroš Novak, Stranka Šebela, Magdalena Năpăruș-Aljančič	
Analiza fotogrametričnega 3D modela zgornjetriasnih stopinj pri Godoviču	71
Patrik Oberstar, Marko Vrabec, Luka Gale	

Primerjava 2D in 3D morfometričnih pristopov na primeru konodontne vrste <i>Pseudofurnishius murcianus</i>	71
Katja Oselj, Emilia Jarochovska, Luka Gale, Tea Kolar-Jurkovšek, Bogdan Jurkovšek, Hannah Vogel, Hamed Amiri, Oliver Plümpner, Carlos Martínez-Pérez	
Aptijsko-maastrichtijski razvoj depozicijskih sistemov severnega sektorja Jadranske karbonatne platforme	72
Bojan Otoničar	
Posodabljanje in validacija sistema za napovedovanje in zgodnje opozarjanje pred zemeljskimi plazovi (MASPREM).....	74
Tina Peternel, Mateja Jemec Auflič, Špela Kumelj, Matija Krivic, Jasna Šinigoj	
Savski prelom	75
Ladislav Placer, Igor Rižnar, Jure Atanackov, Blaž Milanič	
Sedimentološka raziskava kvartarnega zaporedja pri Zasipu, severozahodno od Bleda.....	76
Sandra Podobnik, Andrej Šmuc	
Strukturne diskontinuitete kot regulator biološke sanacije: med mikrohabitatom in geotehničnim tveganjem	77
Željko Pogačnik	
Vpliv pobočnih procesov na prostorsko razporeditev arheoloških artefaktov na območju nad Budanjami v Vipavski dolini.....	78
Tomislav Popit, Vesna Tratnik, Janka Istenič	
Določanje izvora geokemičnih anomalij v tleh na rudarskih območjih za potrebe raziskav mineralnih surovin	79
Emil Pučko	
Toplotni parametri miocenskih kamnin in sedimentov Panonskega bazena.....	80
Dušan Rajver, Kristina Ivančič, Karlo Borko, Simona Adrinek, Petra Škrap	
Kako bodo podnebne spremembe vplivale na vodni režim izvira Zelenci?	81
Nataša Ravbar, Hervé Jourde, Matej Blatnik, Cyril Mayaud, Blaž Kogovšek, Metka Petrič	
Sedimentološki pogled na potencial izrabe naravnega kamna v opuščenem kamnolomu Kazlje.....	82
Jasmina Rijavec, Janez Tomaž Šolar, Boštjan Rožič, Petra Žvab Rožič	
Novosti projekta CRM-geothermal – atlas geotermalnih fluidov in učni načrt	83
Nina Rman	
Spodnjejurska karbonatna platforma na severnem pasivnem robu Indije (Jomsom formacija, dolina Kali Gandaki, Nepal).....	84
Boštjan Rožič, Michal Krobicki, Petra Žvab Rožič, Krzysztof Starzec, Luka Gale, Jolanta Iwańczuk, Anna Kwietniak	
Kemostratigrafija norijsko–hettangijskega sedimentnega zaporedja Slovenskega bazena (Južne Alpe, SZ Slovenija).....	85
Lucija Slapnik, Boštjan Rožič, Petra Žvab Rožič, Šimon Kdýr, Tea Kolar Jurkovšek, Luka Gale, Alenka Eva Črne, Tomislav Popit	
Nastanek pohorskega diamanta in moissanita	86
Tim Sotelšek, Jesse B. Walters, Marian Janák, Sašo Šturm, Sergej Ražnjevič, Nik Gračanin, Viera Dujnič, Darko Hanžel, Mirijam Vrabec	
Nadgradnja hidrogeoloških vsebin in prikazov podzemnih voda v okviru prenove spletnih strani Agencije RS za okolje (ARSO).....	87
Petra Souvent, Urška Pavlič, Dejan Šram, Peter Frantar, Marjan Moderc, Vanja Blažica	

Varstvo nahajališč fosilov in mineralov ter drugih geoloških naravnih vrednot.....	88
Martina Stupar, Tanja Lukežič, Manca Hočevnar, Mojca Bedjanič, Andreja Škedelj Petrič, Ljudmila Strahovnik	
Detekcija snežne odeje na območju Radovne z uporabo multispektralnih satelitskih posnetkov Sentinel 2 v programskem jeziku R.....	89
Laura Sziller, Luka Serianz	
Jama Vrelo na stiku karbonatov in klastitov: mikroklima, hidrogeologija in dinamika radona (Gorski Kotar, Hrvaška).....	89
Filip Šarc, Nina Trinajstić, Gordana Žauhar, Franci Gabrovšek, Uroš Novak, Marija Čargonja, Nenad Buzjak, Jagoda Ravlić Gulan, Ivana Rogić	
Triasna vulkanogena zaporedja Južnih Alp v severozahodni Sloveniji.....	90
Petra Škrap, Anže Markelj, Rok Brajkovič	
Petkratno povečanje sedimentacijskih hitrosti na poplavni ravnici Dragonje v zadnjih 5500 letih.....	91
Andrej Šmuc, Mihael Brenčič, Dolenec Matej, Nina Caf, Primož Miklavc	
Kdo potrebuje naše podatke? Izkušnje z vključevanjem ciljnih javnosti v projektu Geološka služba za Evropo (GSEU)	92
Urška Šolc, Jasna Šinigoj, Renata Barros, Julie Hollis, Tracey Dancy, Gabriele Leoni, Luca Guerrieri, Claudia Delfini, Marzia Rizzo, Santiago Martín Alfageme, Evelyn Peña Chávez	
Hidrogeološki modelski sistem Agencije RS za okolje: Aluvialni vodonosnik Krško – Brežiško polje.....	93
Dejan Šram, Petra Souvent, Marina Gacin, Sašo Petan	
Geokemične lastnosti sedimenta na podmorskem iztoku žveplene podzemne vode pri Izoli.....	94
Kaja Šušmelj, Branko Čermelj, Matej Dolenec, Petra Žvab Rožič	
Rekonstrukcija hidrogeoloških in sedimentoloških sprememb med fazami tektonskih dvigov v Postojnskem kontaktnem kras	95
Astrid Švara, Nadja Zupan Hajna	
Integrated geochemical and geophysical exploration of antimony mineralization at Trojane, Slovenia.....	96
Klemen Teran, Gorazd Žibret, Emil Pučko, Martin Gaberšek, Barbara Čeplak, Savo Vuksanović, Marjana Zajc, Lovro Rupar, Killian Sandford, Josephmartin Izuchukwu Korie, Edmundo Placencia Gómez	
Mikroplastika v kraškem vodnem viru Malni – rezultati raziskav	97
Anja Torkar, Ines Vidmar, Mateja Jelovčan, Mihael Brenčič, Edi Šibenik, Nejc Bizjak, Manca Kovač Viršek	
Kras pod mikroskopom: med umetnostjo in znanostjo	98
Ingrid Urban, Eliana Bridi, Lorenzo Consorti, Sara Bensì, Bernardo Cesare, Nereo Preto	
Dopolnitev vedenja o jurskem sedimentarnem razvoju mostu med Dinarsko karbonatno platformo in Julijskim pragom	99
Nejc Vantur, Boštjan Rožič, Luka Gale, Daniela Reháková, Lucija Slapnik, Petra Žvab Rožič	
Izračun erozije vinogradov v Vipavskih gričih z modelom SIMWE	100
Timotej Verbovšek, Barbara Čenčur Curk, Primož Miklavc, Marko Vrabec, Matej Dolenec, Janko Logar, Jasna Smolar, Timotej Jurček, Janez Furlan, Tanja Dimitrijević, Karmen Bizjak Bat, Vasja Juretič	
Aktivna transpresija in ekstruzija skorje na stiku Jadranske in Evrazijske plošče v Sloveniji: vpogled iz GNSS opazovanj	101
Marko Vrabec, John Weber, Blaž Vičič, Petra Jamšek Rupnik, Bojan Stopar, Klemen Ritlop, Polona Pavlovčič Prešeren, Sandi Berk, Klemen Medved, Oskar Sterle	
Pol stoletja izotopskih raziskav kroženja vode v Sloveniji.....	102
Polona Vreča	

Geološko-geomehanske in hidrogeološke preiskave akumulacijskega bazena ČHE Kozjak.....	103
Vladimir Vukadin, Jože Ratej, Erazem Dolžan, Meta Križaj	
Globoko plazenje v dolini Glinščice	104
Vladimir Vukadin, Erazem Dolžan, Jernej Loboda, Matej Arh	
Krasoslovje na Krasu.....	105
Nadja Župan Hajna, Metka Petrič, Franci Gabrovšek	
Geološka in litogeokemijska karakterizacija slovenskih dolomitov s poskusno ekstrakcijo magnezija	106
Gorazd Žibret, Neža Malenšek-Andolšek, Vilma Ducman, Jernej Imperl, Mitja Kolar, Lea Žibret	
Pestrost zakraselosti kamnin vzdolž predora T2 (2. tir Divača – Koper) kot geološka osnova za različne načine premoščanja.....	107
Tina Živec, Andreja Pajnkiher, Tjaša Barbo Sarioglu	
Kamniti stražarji - litološka analiza mejnih kamnov na Krasu in Matarskem podolju	107
Petra Žvab Rožič, Domen Lapuh, Mihaela Triglav Čekada	

Ocena količinskega stanja podzemnih voda za Načrt upravljanja voda 2028-2033 (NUV4)

Mišo Andjelov¹, Peter Frantar¹, Urška Pavlič¹, Nina Rman², Dejan Šram¹, Petra Souvent¹

¹Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova cesta 1b, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Načrt upravljanja voda predstavlja inštrument za doseganje zaščite, izboljšanja in trajnostne rabe vode oz. vodnega okolja v Evropi. V Sloveniji tako za vsako šestletno obdobje (za aktualno obdobje NUV4 2028-2033) na vodnih telesih preučimo in analiziramo vpliv človekovega delovanja na vode in zanje določimo cilje.

Za podzemne vode je ocena narejena na 21 vodnih telesih podzemnih voda (VTPodV) in izvedena s štirimi preizkusi, kjer analiziramo vpliv odvzemov podzemne vode na: gladine podzemne vode in vodno bilanco, ekološko stanje površinskih vodnih teles, kopenske ekosisteme odvisne od podzemne vode in vdore slane vode ali vode slabše kakovosti v vodonosnik. Končno skupno oceno, na podlagi opravljenih preizkusov, določa kriterij najslabše ocene. Pri oceni smo za izračun vodne bilance upoštevali obdobje 1991-2024, za analize trenda gladin in iztokov iz plitvih vodonosnikov obdobje 1990-2024, za primerjavo s povprečnimi odvzemi podzemne vode pa obdobje 2019-2024.

Analize za aktualni načrt upravljanja voda še potekajo, zato končne ocene ob pripravi tega povzetka še niso na voljo. V prejšnjem načrtovalskem obdobju (NUV3) je bilo 20 vodnih teles ocenjenih kot »dobro«, vodno telo Dravska kotlina pa kot »slabo« zaradi vpliva črpanja podzemne vode na vdore vode slabše kakovosti v vodonosnik. Zadnja tridesetletna obdobjna ocena količinskega stanja razkriva, da imamo v plitvih vodonosnikih podzemnih vodnih teles letno na razpolago okoli 3,4 milijarde m³ podzemne vode, kar predstavlja okoli 1.690 m³ na prebivalca na leto. Odvzemi podzemne vode v izbranem obdobju so v plitvih vodonosnikih dosegali povprečno 183 milijonov m³. Na območju globokega termalnega vodonosnika v Murski kotlini se je količinsko stanje po velikem zmanjšanju odvzemov v letih 2020 in 2021 izboljšalo. V letu 2024 so skupni odvzemi v višini približno 2,5 milijona m³ omogočili regionalno stabilizacijo gladin. Stopnja zaupanja ocene ostaja srednja. Količinsko stanje podzemne vode v globokem vodonosniku glede na osnovni vodnobilančni kriterij ocenjujemo kot »dobro«.

Ključne besede: količinsko stanje, podzemna voda, NUV4, načrt upravljanja voda

Struktura in kvartarna aktivnost Savskega preloma pri vasi Gozd

Andrej Anžel¹, Petra Jamšek Rupnik¹, Lovro Rupar¹, Marko Vrabec²

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

Savski prelom je eden pomembnejših prelomov Periadriatskega prelomnega sistema v jugovzhodnih Alpah in je aktiven vsaj zadnjih 6 milijonov let. Kljub znanemu potresnemu potencialu sta njegova kvartarna aktivnost in potresna zgodovina še vedno slabo raziskani. V tej raziskavi smo preučevali strukturo in kvartarni razvoj Savskega preloma v okolici vasi Gozd nad Golnikom ter ocenili primernost območja za prihodnje paleoseizmološke raziskave. Za opredelitev prelomne cone in z njo povezanih kvartarnih sedimentov smo uporabili podrobno strukturno-geološko kartiranje, geomorfološko analizo visokoločljivih fotogrametričnih in lidarskih digitalnih modelov reliefa, električno upornostno tomografijo, sedimentološko popisovanje profila ter radiokarbonsko datiranje. Kartirane enote obsegajo triasne karbonatne kamnine, oligocenske klastične in vulkanoklastične kamnine, pleistocenske diamikte in diamiktite ter holocenske aluvialne in koluvialne sedimente. Geomorfološka analiza različnih prikazov digitalnega modela reliefa kaže, da vas Gozd leži na uravnavi, prekriti s kvartarnimi sedimenti, ki so odloženi v obliki aluvialnih pahljač. Električna upornostna tomografija je razkrila prelom kot subvertikalno anomalijo nizke električne upornosti ter nakazala deformacije kvartarnih sedimentov, kar potrjuje njegovo kvartarno aktivnost. Sedimentne enote, razkrite v sondažnem izkopu, in radiokarbonsko datiranje oglja (~4–42 ka) kažejo na pretežno počasno akumulacijo drobnozrnatega koluvija, prekinjeno z enim visokoenergijskim dogodkom odložitve drobirskega toka na distalnem delu pahljače. Sinteza podatkov nakazuje, da vas Gozd leži na velikem strukturnem plazju, za katerega ocenjujemo, da je bil najverjetneje sprožen v zgodnjem do srednjem pleistocenu (približno med 1 Ma in 500 ka) ter je bil odtlej ob prelomu zamaknjen za 200–500 m. Rezultati prinašajo nova spoznanja o interakciji med tektonskimi in gravitacijskimi procesi vzdolž Savskega preloma ter predstavljajo osnovo za nadaljnje paleoseizmološke raziskave na tem območju.

Ključne besede: Savski prelom, strukturno-geološko kartiranje, električna upornostna tomografija, digitalni model reliefa, strukturni plaz, paleoseizmologija, gozd

Flooding of a karstified foreland-basin carbonate platform: facies successions of the basal part of the Liburnian Formation on Kras

Lucija Balaić¹, Adrijan Košir¹, Andrea Martín Pérez¹, Bojan Otoničar²

¹Paleontološki inštitut Ivana Rakovca ZRC SAZU, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Inštitut za Raziskovanje krasa ZRC SAZU, Titov trg 2, 6230 Postojna, Slovenija

Early evolution of the NW Dinaric foreland basin is well expressed in the Adriatic Carbonate Platform successions, exposed in the broader area of the Kras Plateau. The basal part of the synorogenic carbonate platform comprises a regional palaeokarstic unconformity and the lower part of the Liburnian formation. Variations in morphology of subsurface and surface palaeokarst features and their sedimentary infill, as well as variable thickness and diverse facies architecture of the overlying carbonate sequences reflect a complex interplay of relative sea-level changes, corresponding karst aquifer base-level changes, differential uplift and subsidence of the exposed platform, long term climate changes, and differences in carbonate production modes.

We present two stratigraphic successions, comprising palaeokarst developed in limestones of the Lipica Formation (Campanian), a stratigraphically remarkable dis/unconformity, and the lowermost part of the Liburnian Formation (uppermost Cretaceous, Maastrichtian), composed of a complex of shallow marine and lagoonal to continental facies with palaeosols and brecciated horizons. One of the sections has recently been logged along a fully-exposed large, continuous outcrop excavated for the new railway track between Divača and Koper, while the other is based on a revision and resampling of sections along the motorway roadcuts at the vertebrate-bearing palaeokarst locality at Kozina.

Petrographic and facies analysis have been used to reconstruct depositional environments and diagenetic realms. Facies associations indicate progressive transgression (flooding) of the karst surface and development of a mosaic of interconnected restricted marine, freshwater to subaerial sub-environments. These facies successions, however, differ from thick, intensively subaerially-modified palustrine successions characteristic of the upper, Paleocene part of the Liburnian Formation. Studied successions were logged up to a palaeosol level with prominent metre-thick horizons of carbonate breccia with clayey matrix and secondary pyrite, possibly representing a substantial break in sedimentation within the uppermost Cretaceous Liburnian Formation, which has not been reported in published research.

Key words: Liburnian formation, Lipica formation, Kras, palaeokarst, paralic carbonates, palaeosol

Cooccurrence of nannoplankton and diatoms during the Biogenic Bloom in a Late Miocene sequence from the Andaman Sea

Miloš Bartol¹, Karen Gariboldi²

¹Geological Survey of Slovenia, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenia

²Department of Earth Sciences, University of Pisa, Via S. Maria 53, 56126 Pisa, Italy

A Late Miocene sedimentary sequence from a borehole core drilled during the IODP Exp 353 at Site 1447 in the Andaman Sea contains abundant and well-preserved assemblages of both nannofossils and diatoms. The high bioaccumulation rates are consistent with the Biogenic Bloom observed in several open ocean sites worldwide during the Late Miocene and Early Pliocene. It is usually associated with increased nutrient availability but is not globally homogenous or pervasive and the mechanisms behind it remain.

The co-occurrence of the two major phytoplankton groups is rare in marine sediments. It provides an excellent opportunity to study the relationship between major groups of marine primary producers. Both groups exhibit pronounced assemblage composition shifts during the studied 4 My interval, which allow the division of this interval into several phases. Preliminary results suggest relatively high and strongly fluctuating nutrient availability with a general decreasing trend. In parallel, water depth appears to have increased.

Key words: nannoplankton, diatoms, Biogenic Bloom, Andaman Sea, Late Miocene

Geološka služba za Evropo kot naslednji korak evropskega geološkega sodelovanja

Miloš Bavec¹, Meta Bole¹, Urša Šolc¹, Jasna Šinigoj¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

A Late Miocene sedimentary sequence from a borehole core drilled during the IODP Exp 353 at Site 1447 in the Andaman Sea contains abundant and well-preserved assemblages of both nannofossils and diatoms. The high bioaccumulation rates are consistent with the Biogenic Bloom observed in several open ocean sites worldwide during the Late Miocene and Early Pliocene. It is usually associated with increased nutrient availability but is not globally homogenous or pervasive and the mechanisms behind it remain.

The co-occurrence of the two major phytoplankton groups is rare in marine sediments. It provides an excellent opportunity to study the relationship between major groups of marine primary producers. Both groups exhibit pronounced assemblage composition shifts during the studied 4 My interval, which allow the division of this interval into several phases. Preliminary results suggest relatively high and strongly fluctuating nutrient

availability with a general decreasing trend. In parallel, water depth appears to have increased.

Ključne besede: GSE, EGDI, GeoERA, GSEU, geološka podatkovna infrastruktura, evropsko geološko sodelovanje, ICE-SRM EU

Od znanosti do doživetja: interpretacija mineralnih in termalnih voda ter mofet

Mojca Bedjanič¹, Nina Rman², Dominik Vodnik³, Janja Sivec⁴, Simon Veberič⁵, Lenka Stermecki¹, Barbara Stupan¹, Nastja Fekonja⁶

¹Zavod Republike Slovenije za varstvo narave, OE Maribor, Pobreška cesta 20, 2000 Maribor, Slovenija

²Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

³Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

⁴Samozaposlena v kulturi – interpretatorka kulturne dediščine, Gornja vas 21a, 3231 Grobelno, Slovenija

⁵PORA, razvojna agencija Gornja Radgona, Trg svobode 12, 9250 Gornja Radgona, Slovenija

⁶Občina Gornja Radgona, Partizanska cesta 13, 9250 Gornja Radgona, Slovenija

Ščavniška dolina je eno najzanimivejših območij geološke in hidrološke dediščine v Sloveniji. Zaradi geološke zgradbe se na tem čezmejnem prostoru občin Gornja Radgona in Bad Radkersburg pojavljajo številni izviri mineralne vode in CO₂ (mofete) – redki naravni pojavi, pri katerih iz Zemljinega plašča na površje izhaja skoraj čisti ogljikov dioksid (CO₂). Ti pojavi niso le pomemben del naravne dediščine, temveč tudi nosilci kulturne, zgodovinske in etnološke identitete prostora. Mnogi med njimi imajo status naravne vrednote, zato je tudi zaradi tega pomembno njihovo dolgoročno ohranjanje, varovanje in trajnostno upravljanje. Poleg njih nekaj vrtin zagotavlja zdravilno in termomineralno vodo.

V okviru čezmejnega projekta deProfundis, ki se izvaja v okviru programa Interreg Slovenija–Avstrija, so bile v letih 2024-2026 izvedene obsežne hidrogeološke in botanične raziskave. Te so bile podprte tudi s strani ARIS programskih skupin. Našli smo številne nove iztoke plina, bolje opredelili njihov obseg, razločevali med različnimi dinamikami toka vode in bolje opredelili nastanek mineralnih voda ter mofet.

Učinkovito orodje varstva narave predstavlja tudi njena interpretacija, ki prispeva k ozaveščanju in izobraževanju obiskovalcev. Njeno poslanstvo ni zgolj posredovanje informacij, temveč ustvarjanje doživetij, skozi katera obiskovalci bolje razumejo naravne procese, pomen njihovega varovanja ter razvijajo spoštljiv odnos do narave.

Zato smo v projektu deProfundis vzpostavili Info-interpretacijski center Iz globin – grad Negova, na terenu pa uredili mrežo interpretacijskih točk, ki obiskovalce usmerjajo izven najbolj občutljivih območij. Takšen pristop hkrati zmanjšuje pritiske na naravo in obiskovalcem omogoča kakovostno, varno ter pristno izkušnjo raziskovanja.

S povezovanjem znanstvenih raziskav, naravovarstva, interpretacije in izobraževanja nastaja nova zgodba prostora – zgodba, ki obiskovalcem približa skrite procese iz globin

Zemlje, krepi razumevanje pomena geopestrosti ter spodbuja odgovorno ravnanje z naravo.

Ključne besede: interpretacija, izobraževanje, naravne vrednote, varstvo, mofete, mineralne vode, termalne vode, CO₂

Od matičnega Krasa do čezmejnega Geoparka KRAS-CARSO

Sara Bensi¹

¹Servizio Geologico, Direzione centrale difesa dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile della Regione autonoma Friuli Venezia Giulia, via Sant'Anastasio 3, 34132 Trieste, Italija

Kras (Carso, Karst), čezmejno območje med Slovenijo in Italijo predstavlja eno ključnih območij za razumevanje razvoja karbonatnih kraških sistemov in je referenčno območje za raziskave geološke dediščine. Matični Kras je del Jadransko-dinarske karbonatne platforme, kjer so se zaradi litološke sestave, tektonske zgradbe in hidrogeoloških razmer razvili izjemno raznoliki površinski in podzemni kraški pojavi. Območje, po katerem je kras dobil ime, je zaradi večstoletnih geoloških, geomorfoloških, hidrogeoloških, paleontoloških in speleoloških raziskav pomembno prispevalo k razvoju krasoslovja kot samostojne znanstvene discipline. Slovenski in italijanski partnerji že vrsto let uspešno sodelujejo v sklopu mednarodnih projektov pri raziskovanju, vrednotenju in varovanju geološke dediščine matičnega Krasa. Skupne geološke raziskave, inventarizacija geoloških znamenitosti, razvoj varstvenih pristopov, podprtih z zakonodajnimi okviri obeh držav, ter dejavnosti ozaveščanja javnosti so ustvarili trdne temelje za skupno upravljanje tega enotnega geološkega prostora. Geološka dediščina Krasa je neločljivo povezana z naravno in kulturno dediščino območja. Kamninska podlaga je skozi stoletja odločilno vplivala na razpoložljivost vode, način poselitve, arhitekturo, suhozidno krajino in identiteto lokalnih skupnosti.

Vzpostavitev čezmejnega Geoparka KRAS-CARSO zato predstavlja logično nadgradnjo dolgoletnega skupnega znanstvenega raziskovanja in varovanja enotnega kraškega prostora. Aktivnosti strateškega projekta Interreg VI-A Italija–Slovenija KRAS-CARSO II, ustanavljanje Evropskega združenja za teritorialno sodelovanje (EZTS) ter priprava kandidature za UNESCO Global Geopark predstavljajo pomembne korake k vzpostavitvi skupnega modela upravljanja tega prostora. Skupno upravljanje bo omogočilo učinkovitejše varstvo geopestrosti, nadaljnji razvoj in povezovanje znanstvenih raziskav, izobraževanja in ozaveščanja ter trajnostni razvoj območja, hkrati pa bo okrepilo skupno identiteto prostora, ki presega sodobne politične meje.

Ključne besede: matični Kras, geopark KRAS-CARSO, geološka dediščina, geopestrost, čezmejni geoparki

Geološke vsebine v prenovljenih učnih načrtih za osnovno šolo in gimnazijo: Ali imamo geologi razlog za zadovoljstvo?

Rok Brajkovič^{1,4}, Matevž Novak^{1,4}, Neža Malenšek Andolšek^{1,4}, Nina Rman^{1,4}, Mojca Bedjanič^{2,4}, Petra Žvab Rožič^{3,4}

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Zavod Republike Slovenije za varstvo narave - OE Maribor, Pobreška cesta 20a, 2000 Maribor, Slovenija

³Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

⁴Slovensko geološko društvo, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Sekcija Slovenskega geološkega društva za promocijo geološke znanosti deluje na področju systemskega vključevanja geoloških vsebin v učne načrte od leta 2016. Naše dosedanje delo se je uspešno preneslo v projektu celovite kurikularne prenove. Osredotočili smo se na odpravo strokovnih napak v učnih načrtih, izboljšanje geološke pismenosti šolajočih ter na smiselno porazdelitev geoloških vsebin v ustrezne vsebinske sklope.

V letu 2023 smo predmetnim kurikularnim komisijam predstavili strokovne popravke, vključitev manjkajočih vsebin ter uskladili nadgrajevanje učnih ciljev znotraj učnih načrtov predmetov in po vertikali ter predlog tudi uradno oddali. Po objavi novih učnih načrtov v začetku leta 2026 smo izvedli ponovno revizijo geoloških vsebin ponovno revidirali ter ovrednotili strokovno ustreznost, horizontalno in vertikalno povezljivost ter taksonomsko nadgrajevanje.

Novi učni načrti prvič vključujejo vsebine o geopestrosti, pobočni masni premiki, evoluciji s stališča fosilov, podzemni vodi, geotermalni energiji, ter zajemajo tudi sodoben pogled na mineralne surovine in geologiji kot osnovni naravoslovni vedi. Vzpostavljeni so bili trije geološki sklopi: pri Naravoslovju v 6. razredu ter Geografiji v 9. razredu osnovnih šol in 1. letniku gimnazij. Poudarek na učenju z delom izboljšuje poučevanje vsebin o mineralih, kamninah, tleh in vodi, saj bodo učenci in dijaki preiskovali njihove lastnosti. Izzivi ostajajo pri izrazoslovju, ustreznem vsebinskem in taksonomskem nadgrajevanju (predvsem pri predmetu Geografija) in vsebinah o varovanju narave. Tudi odsotnost nekaterih geoloških tematik (npr. kamninskega kroga) kaže na potrebo po nadaljnjem sodelovanju geološke stroke.

Novi učni načrti, predvidoma veljavni od šolskega leta 2027/28, predstavljajo prvo izboljšanje zastopanosti geoloških vsebin v formalnem izobraževanju po več kot 30 letih. Novo uvedene vsebine bodo pomembno prispevale k izboljšanju geološke pismenosti. Nadaljnji napredek zahteva široko vključevanje geološke stroke v pripravo kakovostnih učnih in poljudno-strokovnih gradiv.

Ključne besede: geološke vsebine, kurikulum, osnovna šola, gimnazija

Hidrogeološko kartiranje izvirov z uporabo GIS-orodij

Mateja Brolih¹, Nina Mali¹, Lidija Levičnik¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Prispevek predstavlja metodološki pristop k hidrogeološkemu kartiranju izvirov, ki temelji na povezovanju obstoječih prostorskih podatkov, terenskih meritev in geografskih informacijskih sistemov. Postopek vključuje zbiranje, pregled in pripravo podatkovnih zbirk, izdelavo kartografskih podlag ter pripravo terenskih projektov v okolju QGIS. Na terenu se izvede preverjanje lokacij izvirov, določitev natančnih koordinat, meritve osnovnih fizikalno-kemijskih parametrov vode ter hidrogeološki popis njihove neposredne okolice. Zbrani podatki se nato sistematično obdelajo, ovrednotijo in prostorsko prikažejo v programu ArcGIS Pro. Končni rezultat je hidrogeološka karta izvirov, ki predstavlja strokovno podlago za nadaljnje hidrogeološke analize, spremljanje stanja vodnih virov ter načrtovanje njihovega varovanja.

Ključne besede: hidrogeologija, izviri, GIS

Dušanovo – palinološka, sedimentološka in mineraloška rekonstrukcija okolja koliščarske naselbine

Nina Caf¹, Maja Andrič¹, Andrej Šmuc²

¹ZRC SAZU, Inštitut za arheologijo, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva ulica 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

Na Ljubljanskem barju arheološke raziskave koliščarskih naselbin potekajo že več desetletij, vendar rekonstrukcija okolja, v katerem so živeli koliščarji, ostaja zahtevna. Prispevek predstavlja prve rezultate celostne palinološke, sedimentološke in mineraloške analize sedimentnega profila z arheološkega najdišča Dušanovo. Na podlagi radiokarbonskih datacij sklepamo, da se je sediment odlagal med 4600 cal. BP in 4400 cal. BP.

Palinološke analize kažejo, da je v okolici prevladovala gozdna vegetacija z jelšo (*Alnus*), bukvijo (*Fagus*) in jelko (*Abies*), medtem, ko je bil hrast (*Quercus*) manj pogost. Prisotnost vodnih rastlin, kot so dristavec (*Potamogeton*), zelene alge rodu *Pediastrum* ter občasno lokvanj (*Nymphaea*) in blatnik (*Nuphar*), kaže na prisotnost plitve stoječe ali počasi tekoče vode z razvito vodno vegetacijo. V arheološki kulturni plasti se pojavljajo tudi pelodna zrna žit, ki pričajo o človekovi prisotnosti in kmetijski dejavnosti v okolici naselbine.

Granulometrične analize kažejo, da profil skozi celotno obdobje sestavljajo peščeni melji in meljasti peski z nizkim deležem gline (2–10 %), kar odraža relativno nizkoenergijsko okolje. V arheološki kulturni plasti so bili prepoznani kosi lesa, kosti ter odtrgani

sedimentni klasti. Mineraloška sestava razkriva izrazito spremembo izvora sedimenta: v spodnjem delu profila prevladujejo karbonatni minerali, medtem ko v zgornjem delu (od 48 cm navzgor) prevladujejo siliciklastični minerali (kremen, ilit, klorit). Na globini 32 cm kalcit izgine, kar bi lahko nakazovalo na dekalifikacijo pod kislimi šotnimi plastmi.

Rezultati kažejo, da je bilo območje Dušanovega v času obstoja koliščarske naselbine plitvo fluvialno-močvirsko okolje z nizkoenergijsko sedimentacijo.

Ključne besede: Ljubljansko barje, sedimentacijsko okolje, vegetacija, holocen, koliščarji

Sedimentni zapis antropogenih vplivov v Fizinah

Matic Centa¹, Andrej Šmuc¹, Tomislav Popit¹, Andrej Gaspari², Matija Črešnar², Matej Dolenec¹, Primož Miklavc¹

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za arheologijo, Zavetiška ulica 5, 1000 Ljubljana, Slovenija

Raziskava sedimentov v Fizinah razkriva pomembne antropogene vplive v rimskem in porimskem obdobju ter spremembe sedimentacijskih procesov skozi čas. Sedimentni zapis vrtine kaže izrazite spremembe v teksturi, od rahlo glinenih meljev s školjčnim drobirjem do glinenih meljastih peskov. Granulometrična analiza je pokazala polimodalno porazdelitev zrn v meljih in peskih, kar odraža raznolike sedimentacijske procese in izvore sedimentnega materiala. Časovni model sedimentacije kaže, da najstarejši sedimenti v vrtini stari vsaj 8650 let PS, medtem ko se hitrost sedimentacije skozi čas spreminja, z upadanjem v srednjem delu zapisa in ponovnim naraščanjem proti sodobnemu obdobju. Mineralna sestava sedimentov kaže prevlado kremena, karbonatov (kalcit, dolomit, aragonit), glinencev in glinenih mineralov (albit, illit) pri čemer se njihove vsebnosti skozi čas spreminjajo. Višji deleži kremena, glinenih mineralov in glinencev v starejših sedimentih nakazujejo kontinentalni izvor, medtem ko povečane vsebnosti kalcita in aragonita kažejo na sedimentacijo školjčnega drobirja ter večji dotok materiala iz flišne podlage. Dolomit je povezan z morskim dotokom in erozijo starejših sedimentov. Geokemična analiza potrjuje povezavo med mineralnimi fazami in elementi, kot so Si, Ca, Mg in K. Povišane koncentracije Pb, Cu in Zn kažejo na antropogene vplive, posebej v rimski in porimski dobi, ko so vlažnejše podnebne razmere okrepile spiranje zaledja. Na človekov vpliv dodatno kažeta poseljevanje in agrarizacija območja. Največje koncentracije kovin sovpadajo z obdobjem intenzivne rabe kovin v rimski antiki in po njej, kar potrjuje sedimentni zapis. Študija prispeva k razumevanju vpliva naravnih procesov in človekove dejavnosti na razvoj poselitve ter rabo prostora na območju Fizinskega zaliva v rimskem in porimskem obdobju.

Ključne besede: zaliv Fize, obalni sedimenti, Holocen, rimska doba, hitrost sedimentacije, antropogene kovine

Radiolariji pelagičnih apnencev Severnih Karavank

Tim Cifer¹, Ivan Ocepek², Špela Goričan¹, Aleksander Horvat¹, László Bujtor³

¹ZRC SAZU, Paleontološki inštitut Ivana Rakovca, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Na Fari 20, 2391 Prevalje, Slovenija

³Institute of Geography and Environmental Sciences, Eszterházy Károly Catholic University, 6-8 Leányka Street, Eger H-3300, Madžarska

Na severnem pobočju Uršlje gore in južno od vasi Leše pri Prevaljah smo za radiolarijske analize vzorčevali apnence z roženci, s ciljem natančnejše datirati jursko-kredno pelagično zaporedje. Območje pripada Severnim Karavankam, ki so del Vzhodnih Alp. Območje gradijo kamnine severnokaravanškega nariva, predvsem mezozojske starosti, ki so narinjene proti severu na kenozojske sedimente in paleozojske kamnine Štalenskogorske serije. Zaporedje se začne z norijskim glavnim dolomitom in retijskim apnencem s plastmi laporja. Zgornjetriasnim plitvovodnim plastem sledi jursko globokomorsko zaporedje, ki ni nikjer ohranjeno v celoti. V spodnje in srednejurskih rdečkastih lapornatih mikritnih apnencih so pogosti aptihi, amoniti, brahiopodi in krinoidi. Navzgor sledi sivkasto zelen in rdečkasto rjav lapornat apnenec z redkimi fosili. V zgornji juri in spodnji kredi preide v siv mikritni apnenec z gomolji roženca, v katerem so bile opisane kalpionelide. Preko slednjih so nato narinjeni zgornjetriasni apnenci in dolomiti.

Črni vrh je najbolj vzhodno ležeče območje, kjer smo vzorčevali svetlo siv mikritni apnenec z roženci tipičnega faciesa Biancone. Radiolarijske združbe so relativno dobro ohranjene in so tithonijsko-berriasijske starosti. Na območju Homa, zahodno od Črnega vrha, radiolariji v sivem mikritnem apnencu z roženci prav tako kažejo starost tithonij do berriasij. Najbolj zahodna lokaliteta leži južno od vasi Leše in severozahodno od Homa. Širše območje Leš je večinoma prekrito z miocenskimi sedimenti, proti jugu pa najdemo mezozojske plasti. V zaporedju apnencev z roženci so bili najdeni heteromorfni amoniti zgornjevalanginijske do zgornjehauterivijske starosti. Na istem izdanku smo odkrili izredno dobro ohranjeno radiolarijsko združbo, ki kaže na zgornji valanginij do spodnji barremij, kar se v grobem ujema s starostjo na podlagi amonitov.

Na območju Severnih Karavank so bile radiolarijske analize tokrat izvedene prvič. Rezultati so obetavni, tako da bomo raziskave nadaljevali. S podrobnejšimi analizami na več lokalitetah bomo prispevali k natančnejši stratigrafski razčlenitvi jursko-krednega zaporedja in k reševanju strukturno-geoloških problemov na tem zapletenem območju.

Ključne besede: radiolariji, Severne Karavanke, jura, kreda

Nove raziskave pleistocenskih ptic (Aves) v Sloveniji

Leon Cimerman¹, Matija Križnar^{2,3,*}

¹Tehniški muzej Slovenije, Tržaška cesta 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Prirodoslovni muzej Slovenije, Prešernova cesta 20, 1000 Ljubljana, Slovenija

³Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

*predavatelj

Raziskovanje pleistocenskih ptic je bilo v Sloveniji praviloma dolgo zapostavljeno. Pogosto so posamezne zbirke fosilne avifavne iz mnogih najdišč ostale neraziskane, založene ali celo izgubljene. Največ raziskav na fosilnih ledenodobnih pticah je opravila hrvaška paleontologinja Vesna Malez. V Prirodoslovnem muzeju Slovenije hranimo velik del pleistocenskega kostnega gradiva iz mnogih klasičnih in raziskanih paleolitskih (arheoloških) in paleontoloških najdišč, med katerim še vedno lahko odkrijemo neobjavljene in nepoznane ostanke kosti ptic. Nedavne raziskave pleistocenske avifavne so postregle z novimi informacijami o pleistocenskih združbah in okolju. Raziskava fosilne avifavne iz najdišča v kamnolomu Črni Kal (najdišče 1/II.) je pokazala, da so med najdbami najpogostejši ostanki planinske vrane (*Pyrrhocorax pyrrhocorax*). Celotni pregled ptičje favne kaže, da so v pokrajini prevladovali odprte površine s traviščno vegetacijo in vmesnimi mozaičnimi gozdovi. Celotna črnokalska avifavna šteje 21 vrst, kar predstavlja najbogatejše in najbolj pestro najdišče fosilnih ostankov ptic v Sloveniji. V novo odkritem paleontološkem najdišču v Podrti jami na kraškem robu je bil v pleistocenskih sedimentih odkrit prstni členek planinskega orla (*Aquila chrysaetos*). Zadnje raziskave skromne zbirke fosilnih kosti ptic iz pleistocenskih sedimentov Matičevega spodmola blizu Mednega pa je (preliminarno) najbolj pogosto prisotnost barjanskega jereba (*Lagopus lagopus*), še ene pri nas izumrle vrste.

Ključne besede: fosilne ptice, ledena doba, Črni Kal, Maticev spodmol

Ekstremni vremenski dogodki in oskrba s pitno vodo: skupno iskanje rešitev

Barbara Čenčur Curk¹, Anja Torkar¹, Branka Bračič Železnik²

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Javno podjetje VODOVOD KANALIZACIJA SNAGA, d. o. o., Vodovodna 90, 1000 Ljubljana, Slovenija

Zaradi vse pogostejših ekstremnih vremenskih dogodkov, kot so dolgotrajne suše, intenzivne padavine (plazovin in poplave), se povečuje ranljivost vodnih virov, kar zahteva usklajene, inovativne in dolgoročno vzdržne pristope k njihovemu upravljanju. V okviru projekta AQUA se osredotočamo na ključne izzive, ki jih podnebne spremembe in

naraščajoči okoljski pritiski predstavljajo za oskrbo s pitno vodo v Jadransko-Jonski regiji. Projekt krepi regionalno sodelovanje ter povezuje strokovnjake, raziskovalne institucije, upravljavce vodovodnih sistemov in odločevalce, da bi skupaj razvili rešitve za večjo odpornost vodnih virov.

Osrednji cilj projekta je izboljšati razumevanje vplivov podnebnih sprememb na vodne vire ter oblikovati ukrepe, ki bodo omogočili varnejšo, zanesljivejšo in trajnostno oskrbo s pitno vodo. Poseben poudarek je na prepoznavanju ranljivosti vodnih zajetij, izboljšanju spremljanja stanja vodnih teles ter razvoju tehničnih in naravnih rešitev za zaščito vodnih virov. Med ključnimi temami so prilagajanje infrastrukture, krepitev institucionalnih zmogljivosti, izboljšanje zakonodajnih okvirov ter učinkovitejše vključevanje lokalnih skupnosti.

Slovensko pilotno območje obsega dva vodonosna sistema, ki zagotavljata pitno vodo za Ljubljano: vodonosnik Ljubljanskega polja in vodonosnik Ljubljanskega barja. Ljubljansko polje je visoko prepusten prodni vodonosnik z glavnimi vodarnami Kleče, Šentvid, Jarški prod in Hrastje, medtem ko Ljubljansko barje predstavlja porozni sistem z nevezanimi plastmi, ki napajajo vodarno Brest. Oba sistema sta občutljiva na podnebne pritiske, spremembe napajanja ter naraščajoče obremenitve zaradi urbanizacije, kmetijstva in infrastrukture. Povečano povpraševanje po vodi, urbanizacija površin in vplivi onesnaževanja zmanjšujejo naravno obnavljanje podzemne vode, podnebne spremembe pa dodatno poglobljajo težave. Poletne vročinske obremenitve povečujejo rabo vode in dvigujejo temperature podzemne vode, suše znižujejo gladino, poplavni dogodki pa lahko ogrozijo zajetja, kot je pokazal primer poplavljanja vodarne Brest leta 2010. Pilotno območje razvija rešitve, usmerjene v zadrževanje padavinske vode, povečanje zelenih površin za boljšo infiltracijo, digitalizacijo vodovodnih sistemov, odprte podatke ter okrepljen monitoring podzemne vode v sodelovanju z raziskovalnimi institucijami. S tem prispeva k dolgoročni odpornosti ključnih vodnih virov Ljubljane.

Ključne besede: Ljubljansko polje, Ljubljansko barje, podnebne spremembe, projekt AQUA, monitoring podzemne vode

Primerjava mineralne sestave peskov in peščenjakov Panonskega bazena

Barbara Čeplak¹, Lara Mencinger¹, Kristina Ivančič¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Klastične sedimentne kamnine so na območju vzhodne in severovzhodne Slovenije dokaj pogoste. Namen študije je bil, na podlagi peskov in peščenjakov iz različnih delov Panonskega bazena, določiti povezavo med mineralno sestavo peskov in peščenjakov, njihovo starostjo ter območjem pojavljanja. V raziskavo smo vključili vzorce peskov in peščenjakov iz Mursko-Zalskega bazena (Drevenik, Gradiška, Graba Osek, Kresnica, Sveta Ana, Vranji Vrh, Voličina in Sveti Urban) ter Kozjanskega (Plohov Breg). Za določitev njihove mineralne sestave smo izvedli petrografsko analizo, XRD in SEM/EDS.

Petrografska analiza je pokazala precejšnje razlike v njihovi sestavi. Polilitični kremenovi peski in peščenjaki se pojavljajo v Sveti Ani in Kresnici, v Gradiški pa se izmenjujejo plasti polilitičnih ter metamorfno-vulkanskih kremenovih peščenjakov oziroma peskov. V Plohovem Bregu in Grabi Osek prevladuje metamorfno-vulkanski polilitični kremenov pesek. Tak peščenjak je prisoten tudi v profilu Sveti Urban, kjer se pojavljajo še plasti z izrazito karbonatnimi zrnji. Menjavanje plasti z različno sestavo je še posebej izrazito v Vranjem Vrhu in Voličini. Profil Drevenik je izrazito drugačen, saj so tam prisotni pretežno karbonatno-litični kremenovi peščenjaki.

XRD analiza polilitičnih vzorcev je pokazala, da sta poleg kremena in muskovita najpogostejše zastopana minerala kalcit in plagioklaz. Klinoklor, dolomit in mikroklin se pojavljajo občasno, redkeje pa ortoklaz, vermikulit in kloriti. Z analizo SEM/EDS smo podrobneje opredelili sestavo glinencev. Najpogostejši so plagioklazi, ki se pojavljajo na vseh proučevanih lokacijah, predvsem albit in oligoklaz. Anortit smo določili le v vzorcih iz Vranjega Vrha. Pogosti so tudi alkalni glinenci, med katerimi je zastopan predvsem ortoklaz.

Rezultati kažejo, da na mineralno sestavo peskov in peščenjakov ne vplivata njihova starost ali območje pojavljanja. Na sestavo sedimentov tako pomembneje vplivata izvorno zaledje ter smer dotoka sedimentnega materiala.

Raziskavo je financirala Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) v okviru P1-0025, v okviru programa »Mladi Raziskovalci« (št. 115-0439), projekta PROPERock (RSF, št.SN-ZRD/22-27/0215).

Ključne besede: peski, peščenjaki, petrografija, XRD, SEM/EDS

Oprelitev inženirsko-geoloških razmer zemeljskega plazu Rotman z uporabo različnih geofizikalnih metod

Teja Čeru¹, Lovro Rupar¹, Andrej Novak¹, Kristina Ivančič¹, Matjaž Klasinc¹, Tina Peternel¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Zemeljski plaz Rotman se nahaja v občini Juršinci v Slovenskih goricah, kjer prevladujejo pliocenski sedimenti, sestavljeni iz plasti peska, melja, gline in meljasto-peščenega proda. Zaradi različne zrnivosti in prepustnosti plasti se na obravnavanem območju pojavljajo viseči horizonti podzemne vode, ko se zaradi zadrževanja infiltrirane padavinske vode v drobnozrnatih plasteh in nad njimi oblikuje lokalna gladina podzemne vode. Zemeljski plaz, ki je nastal zaradi neugodnih inženirsko-geoloških in morfoloških razmer (globel), se je aktiviral 17. 5. 2023 kot posledica dolgotrajnih majskih padavin, ki so povzročile močno namočenost tal. Po podatkih Agencije RS za okolje je v obdobju med 5. 5. in 17. 5. 2023 na tem območju skupno padlo približno 190 mm padavin. Aktivacija plaz u je povzročila poškodbe stanovanjskega objekta, ki je postal neprimeren za bivanje in je bil kasneje odstranjen.

Za karakterizacijo plazů smo uporabili pet geofizikalnih metod, ki temeljijo na različnih fizikalnih lastnostih podpovršja: električno upornostno tomografijo (ERT), seizmično refrakcijsko tomografijo (SRT), večkanalno analizo površinskih valov (MASW), georadar (GPR) in metodo mikrotremorjev (MHVSR). Namen raziskave je bil oceniti uporabnost posameznih metod za preiskovanje zemeljskih plazov v kompleksnem sedimentnem okolju Slovenskih goríc.

Skupna interpretacija rezultatov vseh metod je omogočila določitev geološke zgradbe območja, heterogenosti plazine in geometrije plazů, vključno z določitvijo globine do drsne ploskve, ter oceno nekaterih elastičnih parametrov sedimentov, pri čemer se je metoda ERT izkazala za najprimernejšo. Ponovljene ERT meritve vzdolž istih linij na lokaciji Rotman po večjem padavinskem dogodku, glavnem sprožilcu nastanka zemeljskega plazů, so omogočile proučevanje preferenčnih infiltracijskih poti padavinske vode in posledičen nastanek visečih horizontov podzemne vode. Pridobljeni podatki predstavljajo pomembno podlago za modeliranje stabilnosti plazů in oceno njegovega odziva na prihodnje intenzivne padavinske dogodke.

Prispevek je bil pripravljen v okviru raziskovalnega projekta UJMA, ki ga sofinancira ARIS v okviru razvojnega stebra financiranja (RSF), programa mladih raziskovalcev (št. 56911) ter programskih skupin: P1-0419, P1-0020, P1-0011.

Ključne besede: geohazard, plazovi, geofizika

Labotski prelom, geopestrost v prostoru in času

Katica Drobne¹, Rok Brajkovič², Polona Kralj³, Miloš Bartol², Vlasta Čosović⁴, Irena Debeljak¹, Mateja Ferk⁵, Miha Marinšek², Miloš Markič⁶, Matija Perne⁷, Sandra Podobnik¹, Nina Rman², Aleš Šoster⁸, Zofija Klemen-Krek⁹, Andraž Šinkovec¹⁰, Matija Štefančič¹¹, Johannes Pignatti¹²

¹ZRC SAZU, Paleontološki inštitut Ivana Rakovca, Novi trg 2, Ljubljana, Slovenija

²Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

³Grajska c. 9, 9250 Gornja Radgona, Slovenija

⁴Prirodoslovno-matematiški fakultet, Geološki odsjek, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb, Hrvaška

⁵ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

⁶Cesta na postajo, 1351 Brezovica pri Ljubljani, Slovenija

⁷Inštitut Jožef Stefan, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana, Slovenija

⁸Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

⁹Zvezda 3, Ljubljana Šentvid, Slovenija

¹⁰Podutiška 76, 1000 Ljubljana, Slovenija

¹¹Kulturni dom Stranice, Stranice 37, Zreče, Slovenija

¹²Uni.degli Stuidi di Roma "La Sapienza", Dipartimento di Scienze della Terra, Piazzale Aldo Moro 5, 00185 Roma, Italija

Labotski prelom je največji prelom Periadriatske prelomne cone v SV Sloveniji. Ob njem se je na desno premaknilo več Pohorskih geoenot, med katerimi je najboljsežnejša Zreška. Od

Dravograda poteka po tektonskem jarku do kotline v Slovenskih Konjicah, nato v šopu prelomov v Periadriatski smeri proti Panonski nižini, razmejuje Alpide od Dinaridov.

Vzdolž Labotske linije so dokazane enake združbe rudistov in koral iz zgornjekrednih apnencev. Numuliti in alveoline iz cuisija, lutetija in zgornjega eocena izhajajo iz primarnih kamnin in iz prodnikov. Miocenske sedimente poseljuje *Uvigerina graciliformis* na vsem prostoru. Tako je ob prelomu dokazano občasno morsko okolje različnih globin.

Pri Zgornjem, Srednjem in Spodnjem Doliču izdanjajo erozijski ostanki zgornje miocenskih sedimentov, ki so se odložili v okolju plitvega morja in deltne progradacije. Nad melji in peščenimi melji so se sedimentirali peski in nato peščeni prodi. Pliocenski in starejši kvartarni sedimenti so večinoma ohranjeni kot rečni peščeni prodi in konglomerati, mestoma se pojavljajo tudi miloniti in sedimenti paleoplazov. Mlajši kvartarni sedimenti se pojavljajo v rečnih terasah Drave, Mislinje in Dravinje ter njihovih pritokov.

Ob Labotskem prelomu so tudi nekateri pojavi termalnih voda. V Mislinjski Dobravi je bila v globini 1261 m z vrtino odkrita voda 40,5 °C v miocenskih klastitih. V Zrečah izkoriščajo geotermalni vodonosnik, ki zagotavlja vodooskrbo z vrtino globine 506 m, v Terme Zreče pa imajo za obratovanje vrtini globine 1260 m in 800 m, z vodo temperatur do 35 °C in 25,2 °C. Napajata se iz triasnih kamnin "geoenote Zreče". V Dravinjski dolini je poznan le termalni izvir na severu pri Zbelovem, medtem ko pri Zgornjih Poljčanah, Topli potok v Studenicah ob samostanu nima termalne vode.

Premogišča ob Labotskem prelomu so se razvila v kotlinah, močvirjih eocenskih ravnin. Na Slovenjgraškem se pojavljajo po manjših poraščenih površinah, v Zreškem okolju so na več krajih debelejša plasti kvalitetnega črnega premoga. Najboljšega so izkoriščali v Stranicah, Radani vasi v Konjiški kotlini in nad Makolami v premogovniku Šega, danes preurejenem v muzej.

V Zreškem okolju so pogosti kraški pojavi. Za ogled je urejena Pavlakova jama, dolga 48 m v rudistnih apnencih. Vsebuje kapnike, plasti finih sedimentov, kremenove prodnike (uredil Zvonko Posilović, dokumentiral Matija Perne). V neposredni bližini premogovnika Šega je jama Belojača v permski kamnini, dolga 550 m, tudi stalni izvir potoka.

V Dravinjski dolini je bil pri Slovenski Bistrici odkrit zob trobčarja *Anancus arvernensis* verjetno iz obdobja zgornjega pliocena, ko so živeli tudi velenjski anankusi in mastodonti. V zgornjekrednih plasteh kamnoloma Stranice je znano nahajališče številnih fosilov, poleg že omenjenih rudistov in koral, tudi redkih vretenčarjev, celo dinozavrov.

Sama morfologija porečja ne omogoča zanesljivega določanja starosti. Ta je preplet mnogih dejavnikov: sprememb paleoklime, vegetacijskega pokrova, tektonike, litologije, erodibilnosti. Tudi vrezanost dolin ni zanesljiv kazalnik starosti. V liniji Labotskega preloma je mesto razvodja vas Preval, med Mislinjo in Dravinjo na višini 552 m, pribl. 100 m nad dolino.

Ključne besede: tektonika, razvodja, fosili in situ, prodniki, kras, terme, premogi

Vodnobilančni model mGROWA

Peter Frantar^{1,2}, Mišo Andjelov¹, Frank Herrmann³, Frank Wendland³

¹Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Fakulteta za varstvo okolja, Trg mladosti 7, 3320 Velenje, Slovenija

³Forschungszentrum Jülich, Institute of Bio- and Geosciences – Agrosphere (IBG-3), Jülich, Nemčija

Model mGROWA-SI je determinističen model vodne bilance, razvit za območje celotne Slovenije v sodelovanju Agencije Republike Slovenije za okolje in raziskovalnega centra FZ Jülich. Model deluje na rastrski mreži s prostorsko ločljivostjo 100 m ter omogoča simulacijo hidroloških procesov v dnevni časovni ločljivosti in pripravo dnevnih, mesečnih, sezonskih, letnih in obdobjnih rezultatov.

V model so vključeni meteorološki podatki o padavinah, temperaturi zraka in referenčni evapotranspiraciji ter prostorski podatki o reliefu, prsteh, rabi zemljišč, geoloških in hidrogeoloških razmerah, globini do podzemne vode, umetnem odvodnjavanju in drugi. Model simulira realno evapotranspiracijo, dinamiko vode v tleh, snežno odejo in taljenje snega ter skupni odtok, hkrati pa na podlagi hidrogeoloških in hidroloških parametrov omogoča izračun neposrednega napajanja podzemne vode.

Na plakatu bodo predstavljeni zasnova in podatkovni tok modela, prostorska porazdelitev glavnih komponent vodne bilance ter primeri njegove uporabe. Model omogoča širok nabor analiz, med drugim izdelavo vodnih bilanc za poljubno izbrana območja, analizo sezonske in medletne spremenljivosti, spremljanje sušnih razmer, ocenjevanje napajanja podzemne vode ter analiza vplivov podnebnih sprememb. Dolgoletni rezultati modela omogočajo tudi prepoznavanje sprememb hidrološkega režima in prostorskih razlik v razpoložljivosti vode.

Model mGROWA-SI predstavlja pomembno strokovno podlago za upravljanje površinskih in podzemnih vodnih virov in omogoča analize vplivov podnebnih sprememb na elemente vodne bilance v Sloveniji.

Ključne besede: mGROWA, vodna bilanca, napajanje podzemne vode, hidrološko modeliranje, podnebne spremembe, vodni odtok, Slovenija

Geofizikalne preiskave za zaznavanje kraških pojavov med gradnjo predorov T1 in T2

Julija Fux¹, Markus Schmidt¹, David Kusnirak¹

¹IRGO Consulting d.o.o., Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana, Slovenija

Odsek 1 železniške proge Divača-Koper se nahaja na kraškem karbonatnem terenu. Že v fazi priprave PZI projekta se je predvidevalo, da se lahko tekom gradnje predorov T1 in T2 pojavijo večje kraške jame in drugi kraški pojavi, ki bi lahko vplivali na varnost in dolgoročno stabilnost predorov. Z namenom, da bi izboljšali poznavanje območja ter napovedali in preverili prevotljenost tako območja izkopa pred čelom kot v okolici predora, so se tekom izkopa izvajale stalne geofizikalne preiskave z uporabo georadarja. Georadarske preiskave so se izvajale v 100 m vrtinah pred čelom, z namenom ugotavljanja kraških razmer pred izkopom in v širši okolici predora (t.i. vplivnem območju) ter po tleh, z namenom detailnejšega preverjanja morebitnega pojavljanja večjih praznih prostorov pod dnom predora, ki bi lahko vplivali na dolgoročno stabilnost talnega oboka. Na podlagi rezultatov je bila določena stopnja zakraselosti (nizka, srednja, visoka), kar je služilo kot pomoč pri napovedovanju razmer ob izkopu in prepoznavanju območij z visokim tveganjem. Rezultati preiskav so se obdelovali sprotno v sodelovanju z ekipo Geotehničnega inženirja in strokovnjaka krasoslovja in so služili kot usmeritev pri nadaljnjih ukrepih procesov izkopa in podpiranja predora. Z izvedbo georadarskih preiskav za zaznavanje kraških pojavov smo pridobili posreden vpogled v območje predora, ki bi sicer ostal nepoznan, boljše razumevanje razmer pred izkopnim čelom in pod talnim obokom ter možnost identifikacije geološko potencialno problematičnih območij, preden so le-te postale kritične.

Ključne besede: 2. tir, predor T1, predor T2, georadar, geofizikalne preiskave, kras

Vpliv ekstremnih padavinskih dogodkov na premeščanje potencialno strupenih elementov – primer Mežiške doline

Martin Gaberšek¹, Špela Bavec¹, Miloš Miler¹, Mateja Gosar¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Intenzivne padavine in posledične poplave vplivajo na prostorsko prerazporeditev kemičnih elementov na zemeljskem površju, kar lahko na predhodno onesnaženih območjih predstavlja okoljsko in zdravstveno tveganje. Obsežne poplave avgusta leta 2023 so na območju Mežiške doline, ki je zaradi nekdanjega pridobivanja svinca in cinka močno obremenjena z nekaterimi potencialno strupenimi elementi (PSE), povzročile premike velike količine tal, sedimentov ter rudarskih odpadkov. Da bi ugotovili kako so se ob tem spremenile geokemične lastnosti območja, smo po poplavih vzorčili poplavne

sedimente in primerjali njihove geokemične lastnosti z lastnostmi rečnih sedimentov, ki smo jih večkrat vzorčili v okviru rednega monitoringa stanja okolja pred in po poplavih v obdobju 2013–2024.

Rezultati dolgoletnega monitoringa vsebnosti PSE v sedimentih Meže pričakovano kažejo stalno visoke vsebnosti Cd, Mo, Pb in Zn, kljub manjšim nihanjem v vsebnostih med posameznimi leti. Primerjava vsebnosti PSE v rečnih sedimentih v času običajnih hidroloških pogojev in v poplavnih sedimentih osvetljuje kompleksnost procesov prerazporejanja onesnaženega materiala med ekstremnimi poplavnimi dogodki. Mediane vsebnosti Cd, Mo, Pb in Zn v poplavnih sedimentih so bile višje od median v rečnem sedimentu v času običajnih hidroloških pogojev, kar kaže na povečano erozijo onesnaženega materiala. Opazna je izrazita razlika v vsebnostih PSE v poplavnih sedimentih na vzorčnih mestih gorvodno in dolvodno od Žerjava. Na nekaterih vzorčnih mestih so bile vsebnosti PSE po poplavnem dogodku precej nižje kot pred njim, kar kaže na lokalni učinek razredčenja. Geokemične lastnosti rečnih sedimentov leto po poplavih nakazujejo tudi pomemben vpliv sanacijskih del v strugi Meže na povišane vsebnosti PSE.

Raziskavo je sofinancirala Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) v okviru raziskovalnega projekta »Celostni pristop k preučevanju vplivov ekstremnih vremenskih dogodkov na procese na Zemljinem površju (ExtremEarth)« (J7-60124), raziskovalnega programa »Podzemne vode in geokemija« (P1-0020) ter projekta »ENLIL« v okviru razvojnega stebra (RSF).

Ključne besede: poplavni sedimenti, vsebnosti potencialno strupenih elementov, geokemija okolja

Riddles in the dark: palaeontological evidence for repeated transitions from marine to subterranean freshwater environments

Rok Gašparič^{1,2}, Tomaž Hitij^{1,3}, Tomáš Kočí^{1,4}, Martina Kočová Veselská^{1,5}, Rok Brajkovič²

¹Institute for Palaeobiology and Evolution, Novi trg 59, 1241 Kamnik, Slovenia

²Geological Survey of Slovenia, Dimičeva 14, Ljubljana, Slovenia

³University of Ljubljana, Faculty of Medicine, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenia

⁴Paleontological Department of Natural History Museum, Václavské náměstí 1700/68, 110 00 Praha, Czech Republic

⁵Institute of Geology of the Czech Academy of Sciences, Rozvojová 269, 165 00 Prague 6 - Lysolaje Prague, Czech Republic

Water-dwelling cave fauna, also known as stygofauna, are specialised for subterranean life. Adaptations include reduction of the eyes and pigmentation, elongation of appendages, enhanced chemosensory and mechanosensory abilities, and low metabolic rates suited to dark, nutrient-limited environments. However, these adaptations provide limited insight into the habitats from which subterranean lineages originated.

The ancestors of subterranean freshwater animals originated in surface environments. In some lineages, they were adapted to rivers or lakes before colonising caves and groundwater. In others, their evolutionary history reaches back to marine or brackish-

water ancestors. Some stygofaunal lineages therefore underwent major ecological transitions: from marine to freshwater habitats, and from surface waters into the subterranean realm.

Several evolutionary pathways have been proposed. Marine lineages may have colonised freshwater gradually through estuaries, lagoons, or coastal lakes with intermediate salinity. In other cases, populations may have become isolated as sea levels fell, leaving marine basins to become progressively freshwater. Populations could later have entered caves or aquifers during climatic change, when subterranean waters offered stable refuges from drought, cooling, or deteriorating surface conditions. Some lineages may also have colonised groundwater to exploit new resources or avoid competition and predation.

These transitions did not follow a single evolutionary pathway in all lineages. Some subterranean animals are descendants of formerly widespread freshwater groups, whereas others represent ancient marine-derived lineages that persisted only in underground habitats. Their evolutionary histories were therefore shaped by the interaction of biological adaptations with geological processes such as sea-level fluctuations, tectonic uplift, drainage reorganisation, and karst development.

By integrating evidence from fossils, extant organisms, molecular phylogenies, and geological history, we can more accurately reconstruct the transitions between marine, freshwater, and subterranean habitats. Stygofaunal communities represent not only examples of adaptation to permanent darkness, but also surviving traces of much older ecological and evolutionary processes.

Key words: stygofauna, marine–freshwater transitions, subterranean environments, evolutionary palaeobiology, relict lineages

Hidrostratigrafija Mursko-Zalskega bazena

David Gerčar¹, Simona Adrinek¹, Kristina Ivančič¹, Andrej Lapanje¹, Nina Rman¹, Jure Atanackov¹, Mitja Janža¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Panonski bazen predstavlja enega najpomembnejših virov geotermalne energije v tem delu Evrope. Na območju severovzhodne Slovenije geotermalno energijo Panonskega bazena pridobivamo iz čezmejnega geotermalnega vodonosnika Mursko-zalskega bazena. Ta vodonosnik leži v miocenskih sedimentnih zaporedjih Murske formacije.

V fazah raziskav in upravljanja virov uporabljamo komplementaren nabor metod, med katerimi je tudi geomodeliranje. Vzpostavitev matematičnih modelov za opis in simulacijo pretoka podzemne vode ter prenosa toplote mora temeljiti na robustnem večdimenzionalnem geološkem modelu. Ta lahko izhaja zgolj iz celovitega poznavanja recentnih geoloških razmer in zgodovinskega tektonsko-sedimentacijskega razvoja območja. Zanesljivost tovrstnega pristopa je odvisna od poznavanja, razumevanja in

objektivnega vrednotenja negotovosti vhodnih podatkov ter rezultatov. Če želimo opredeliti hidrostratigrafijo oziroma temeljne hidrogeološke in geotermične lastnosti tridimenzionalnega rezervoarja, moramo podrobno razumeti tektonski razvoj, paleoekologijo, sedimentacijska okolja, petrologijo, mineralogijo, geokemijo in druge geološke spremenljivke. Pri vseh navedenih naborih podatkov je potrebno kvantificirati tudi njihovo prostorsko heterogenost.

Stratigrafska razčlenitev Mursko-Zalskega bazena temelji na dinamičnem procesnem pristopu, vzpostavljenem za potrebe projekta T-JAM. Meje stratigrafskih enot sledijo sekvenčnim mejam, ki so posledica sprememb v tektonskem režimu in paleoekoloških dejavnikih. Zaporedja Murske formacije so se odložila v deltnih sedimentacijskih okoljih. Formacija je razdeljena na člen deltnega čela in člen deltne ravnice. Člen deltnega čela predstavlja glavni čezmejni geotermalni vodonosnik. Sestavlja ga menjavanje sekvenc (i) dobro prepustnih peščenih horizontov, (ii) heterolitnih, slabše prepustnih horizontov in (iii) posameznih praktično neprepustnih plasti. Za deltno čelo je značilno naraščanje zrnivosti in debeline peščenih plasti navzgor (coarsening-upwards) – tako na ravni horizontov in sekvenc kot tudi celotnega člena. Spodnja meja deltnega čela s pobočnimi faciesi Lendavske formacije je ostra. Zgornja meja je postopna, pogosto slabo razumljena in s hidrogeološkega vidika pogosto napačno interpretirana.

Raziskava se izvaja v okviru projektov ARIS InnoGeoPot (N1-0347) in GeoAI (GC-0006), RSF-O projekta PROPERock ter programskih skupin P1-0011 (Regionalna geologija) in P1-0020 (Podzemne vode in geokemija).

Ključne besede: stratigrafija, miocen, Murska formacija, geomodeliranje, hidrogeologija, geotermija

Pomen srednjetriasnih radiolarijev Julijskih Alp za globalno radiolarijsko conacijo

Špela Goričan¹, Tea Kolar-Jurkovšek², Bogdan Jurkovšek³, Luka Gale^{2,4}

¹ZRC SAZU, Paleontološki inštitut Ivana Rakovca, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

³Kamnica 27, Dol pri Ljubljani, Slovenija

⁴Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

Od zgornjega anizija, natančneje od zgornjega ilira, do konca ladinija si sledijo štiri radiolarijske cone: Spongosilicarmiger italicus, Ladinocampe multiperforata, Muelleritortis firma in Muelleritortis cochleata. Definirane so kot intervalne cone, ki temeljijo na prvem pojavu vodilnih vrst, v resnici pa je conacija kompozitna, izdelana na podlagi izoliranih vzorcev z različnih nahajališč zahodne Tetide. Še posebej problematična je cona Muelleritortis firma, ki nikoli ni bila formalno opisana. Glavna težava conacije srednjega triasa je pomanjkanje zveznih profilov, ki bi obsegali več zaporednih con, saj so najbogatejše združbe omejene na relativno tanka zaporedja pelagičnih apnencev med platformnimi karbonati. V Julijskih Alpah so združbe prvih dveh con znane iz Bohinja,

Kamne Gorice in s Pokljuke, radiolariji domnevne cone *Muelleritortis* firma so bili najdeni na Vršiču in v Gorenji Trenti, cona *Muelleritortis* cochleata pa je bila določena na Zatrniku. V zadnjih letih smo podrobneje proučili profil v Gorenji Trenti, od koder je bila prvič opisana vrsta *Bogdanella trentana*. Zaporedje sestavljajo tanko plastoviti apnenci z roženci, lapor in tufski peščenjak. Najstarejša radiolarijska združba je značilna za cono *Ladinocampe multiperforata*, ki ustreza starosti okrog anizijsko-ladinijske meje. V vrhnjih plasteh profila so radiolariji cone *Muelleritortis* cochleata. Pojavljajo se skupaj s konodontnima vrstama *Budurovignathus hungaricus* in *Budurovignathus mungoensis*, s katerima smo te plasti uvrstili v spodnji del zgornjega ladinija. V vmesnem intervalu se prvič pojavijo evolucijsko napredne vrste iz družin *Spongotortilispinidae*, *Oertlispongidae* in *Hindeosphaeridae*. Čeprav je združba raznovrstna in lepo ohranjena, ne vsebuje vrste *Muelleritortis* firma, ki naj bi bila v tem intervalu vodilna. Predlagamo, da se združba tega intervala poimenuje po drugi vrsti, na primer po vrsti *Pseudostylosphaera nazarovi*, ki je pogosta in dokumentirana na obširnem območju od Južnih Alp do Himalaje. Profil Gorenja Trenta je do sedaj edini znani profil, kjer se ladinijski radiolariji treh biocon pojavljajo v zveznem zaporedju.

Ključne besede: radiolariji, biocone, srednji trias

Pomen globoke raziskovalne vrtine v Bovški kotlini (projekt DOVE) za seizmologijo in ocenjevanje potresne nevarnosti

Andrej Gosar^{1,2}

¹Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova cesta 1b, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

V okviru mednarodnega projekta Drilling Overdeepened Alpine Valleys (DOVE) v okviru International Continental Scientific Drilling Program (ICDP), ki ga v Sloveniji koordinira GeoZS, sodelujejo pa še UL NTF, ZRC SAZU in ARSO, bomo v Bovški kotlini izvrtali okoli 300 m globoko raziskovalno vrtino, ki bo omogočila interdisciplinarne geološke, geomorfološke, geofizikalne, paleoklimatske in druge raziskave. Znatno poglobljene doline in sedimentni bazeni, ki so nastali zaradi ledeniškega delovanja, so raziskovalno vedno bolj zanimivi, saj so odličen geološki arhiv s katerim dobimo vpogled v dinamiko preteklih poledenitev. Ker gre za območje z največjo potresno nevarnostjo v Sloveniji, bo vrtina skupaj s spremljajočimi geofizikalnimi raziskavami pomembna tudi za seizmologijo. V drobnozrnatem jezerskem sedimentu pri Srpenici so pred leti v opuščenem glinokopu že odkrili plast s seizmiti, ki so pomemben paleoseizmološki indikator in kažejo na velik potres pred okoli 13.000 leti. Predvidevamo, da bomo v okoli 200 m debeli plasti laminiranih sedimentov, ki so se odlagali v nekdanjem ledeniškem jezeru, odkrili še starejše plasti s kaotičnim vzorcem, ki nastane zaradi močnega tresenja nevezanih sedimentov (seizmite) in z njihovim datiranjem pridobili dragocene podatke o povratnih dobah velikih potresov. Laboratorijske raziskave jedra in geofizikalne meritve v vrtini, predvsem geomehanskih lastnosti in seizmičnih hitrosti, bodo omogočile tudi boljše

razumevanje vpliva heterogenih ledeniško-rečnih sedimentov na potresno nihanje tal. Ob potresih 1998 in 2004 so bile namreč v Bovški kotlini ugotovljene zelo velike razlike v poškodbah stavb, predvsem zaradi pojavov resonance med različno debelimi plastmi mehkih sedimentov in objekti. Zato bomo obliko sedimentnega bazena in njegovo notranjo strukturo predvidoma raziskali tudi z refleksijskim seizmičnim profiliranjem, s čemer želimo raziskali tudi potek dveh vej seizmogenega Ravenskega preloma pod Bovško kotlino, saj gre po predhodnih raziskavah za aktivno napredujočo strukturo, kar bo omogočilo boljšo seizmotektonsko opredelitev tega preloma. Vse opisane raziskave lahko pomembno prispevajo k boljšim ocenam potresne nevarnosti.

Ključne besede: raziskovalna vrtina, seizmologija, potresna nevarnost, seizmiti, geofizikalne raziskave, sedimentni bazen, Bovška kotlina

Vpliv litološke podlage na pojavljanje plazov na travniških površinah v vzhodni in severovzhodni Sloveniji

Petra Gostinčar¹, Andrej Anžel¹, Lara Mencinger¹, Edmundo Placencia-Gómez¹, Ana Novak¹, Andrej Novak¹, Blaž Milanič¹, Jernej Jež¹, Kristina Ivančič¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Vzhodna in severovzhodna Slovenija sodita med plazovito bolj ogrožena območja v Sloveniji, kar je med drugim povezano s prisotnostjo klastičnih sedimentnih kamnin, ki gradijo to območje. Čeprav na nastanek in sprožitev plazov vpliva več dejavnikov, kot so prisotnost vode, kamninska podlaga, debelina preperine, naklon pobočja, raba tal in drugo, velja litološka podlaga za enega ključnih sprožitvenih faktorjev. Da bi ugotovili kako kamninska podlaga vpliva na nastanek plazov, smo najprej analizirali dostopne podatke o evidentiranih plazovih. Ugotovili smo, da je največ zabeleženih plazov na travniških površinah, pogosti pa so tudi v gozdovih in trajnih nasadih. Zaradi tega smo se v raziskavi osredotočili na travnike. Na podlagi podatkov o evidentiranih plazovih in terenskega pregleda smo izbrali tri primerljiva raziskovalna območja, na katerih se pojavljajo plazoviti in stabilni deli istega travnika. Pri izboru smo izključili območja z vidnimi močili, dodatnim dotokom vode s cestnih površin ter očitnimi litološkimi spremembami. Na izbranih lokacijah smo izvedli IR snemanje s kamero InfraTec VarioCAM HD Head in izvedli ERT meritve. Za analize mineralov glin z XRD analizo smo na plazovitih in neplazovitih delih travnikov odvzeli vzorce tal na globinah 1 meter.

Rezultati ERT meritev so razkrili značilne razlike v porazdelitvi električne upornosti med plazovitimi in stabilnimi deli pobočij. Območja plazin izkazujejo nižje vrednosti upornosti, kar omogoča opredelitev njihove geometrije ter globine in poteka drsne ploskve. Kombinacija vzdolžnih in prečnih profilov je omogočila podrobnejšo prostorsko opredelitev zgradbe plazine ter prepoznavanje neaktivnih delov plazov, ki na površju niso izrazito izraženi.

IR-snemanje ni pokazalo prisotnosti izrazitih podzemnih tokov, ki bi dodatno namakali raziskovana območja. Zaznane pa so bile razlike v vlažnosti tal, ki kažejo, da so posamezni deli travnikov bolj namočeni kot drugi. Takšne razmere lahko predstavljajo pomemben dejavnik pri nastanku plazov.

Raziskavo je financiral ARIS v okviru P1-0025, P1-0011, v okviru programa »Mladi Raziskovalci« (št.115-0439), projekta ExtremEarth (WP2), št.1000-25-0215.

Ključne besede: plazovi, litološka podlaga, klastične kamnine, ERT, IR snemanje

Distalna Zn skarnska mineralizacija v Bistriškem vintgarju (Pohorje): prvi vpogled v evolucijo magmatsko-hidrotermalnega sistema

Luna Grum-Verdinek¹, Mihael Ravnjak², Aleš Šoster¹

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Garnol d.o.o., Vervovškova ulica 64a, 1000 Ljubljana, Slovenija

Na območju Bistriškega vintgarja smo prvič prepoznali distalno Zn skarnsko mineralizacijo, ki se pojavlja v neposredni bližini doslej neopisanega magnetitnega skarna ter verjetno napajalne strukture hidrotermalnega sistema. Prispevek predstavlja prvi celovit petrografski in mineralnokemični opis tega novega skarnskega pojava ter na podlagi teksturnih odnosov in kemične sestave kalcijevo-silikatnih mineralov rekonstruira evolucijo hidrotermalnega sistema.

Petrografske raziskave in SEM-EDS analize granata, piroksena ter epidota razkrivajo jasno izražen prehod od progradne k retrogradni stopnji skarnske parageneze. Progradno stopnjo zaznamujeta izrazito grossularni granat in diopsidni piroksen s pomembno hedenbergitno komponento, spremlja pa ju klinozoisit. Retrogradno paragenezo predstavljajo andraditni granat, johansenitni piroksen, epidot s progresivnim naraščanjem "pistacitne" komponente, kremen ter lokalno klorit in kalcit. Mineralnokemični razvoj kaže na postopno povečevanje deleža Fe³⁺ v retrogradnih mineralih, kar odraža prehod v vse bolj oksidacijske razmere. Takšna evolucija je skladna z dolgotrajnim dotokom oksidiranih magmatskih fluidov in postopnim povečevanjem razmerja fluid/kamnina.

Sulfidna mineralizacija obsega sfalerit, galenit, halkopirit in pirit. Teksturni odnosi kažejo, da sulfidni minerali pretežno nadomeščajo zgodnje progradne kalcijevo-silikatne minerale ob ohranitvi njihovih prvotnih kristalnih oblik, medtem ko retrogradna parageneza ostaja večinoma stabilna. Več generacij sfalerita, njegovo delno nadomeščanje s halkopiritom (chalcopyrite disease), poznejša kristalizacija galenita in pirita ter zaključna faza kremenovo-kalcitnih žil odražajo večfazno evolucijo hidrotermalnega sistema.

Rezultati predstavljajo prvi dokaz distalne Zn skarnske mineralizacije v Bistriškem vintgarju ter kažejo, da mineralna kemija in teksturni odnosi zanesljivo ohranjajo zapis razvoja hidrotermalnega sistema od zgodnje progradne metasomatske stopnje preko retrogradne preureditve do pozne sulfidne mineralizacije. Odkritje bistveno razširja

poznavanje skarnskih procesov na Pohorju in nakazuje, da območje predstavlja del doslej neprepoznanega magmatsko-hidrotermalnega sistema z izrazitim raziskovalnim in potencialno tudi gospodarskim pomenom. Nadaljnje podrobne mineraloške, geokemične in izotopske raziskave bodo ključne za opredelitev prostorskega obsega mineralizacije, izvora rudotvornih fluidov ter oceno njenega metalogenetskega potenciala.

Ključne besede: Skarn, Bistriški vintgar, metasomatizem, hidrotermalni sistem, parageneza, Pohorje

Razvoj vodno-bilančnega modela Community Water Model (CWatM) na območju Slovenije

Matej Horvat¹, Dejan Šram¹, Peter Frantar¹

¹Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1b, Ljubljana, Slovenija

Na Agenciji Republike Slovenije za okolje vzpostavljamo vodno-bilančni model CWatM. Model, ki je že vzpostavljen za območje Zgornje Save (porečje Save nad Zagrebom), bomo vzpostavili za območje celotne Slovenije. Model CWatM je bil razvit na raziskovalnem inštitutu IIASA in je prosto dostopen. Omogoča različne prostorske skale in združevanje z različnimi modeli za posamezne bilančne sklope (npr. za ledenike ali podzemne vode).

Znanje pridobljeno z vzpostavljanjem modela CWatM za območje Zgornje Save nam bo v pomoč pri vzpostavitvi modela za območje celotne Slovenije. Prostorska ločljivost modela bo 1 arcmin, medtem ko bo časovni korak en dan. Za vzpostavitev modela bomo pridobili in uporabili različne vhodne podatke (npr. meteorološki, topografski, pedološki, hidrološki, ...), s pomočjo katerih bomo simulirali vodni krog na območju Slovenije.

Model bomo kalibrirali na osnovi vodomernih postaj, izbor pa bo temeljil na strokovni presoji lokacij in zaledij. Za kalibracijo modela bomo uporabili podatke o pretokih na vodomernih postajah mreže državnega monitoringa.

Vzpostavitev vodno-bilančnega modela za celotno Slovenijo nam bo omogočila enotno oceno vodnih virov v Sloveniji ter zagotovila strokovno podlago za dolgoročno upravljanje voda. Model omogoča uporabo scenarijev podnebnih sprememb in tako oceno razpoložljivosti vodnih virov v prihodnosti ter ocenjevanje vplivov podnebnih sprememb na vodni režim na državni ravni. Celovit prikaz vodne bilance predstavlja pomembno podporo pri načrtovanju rabe vode, upravljanju tveganj zaradi suš in poplav ter pripravi ukrepov za prilagajanje na spremembe vodnega kroga v Sloveniji.

Ključne besede: vodna bilanca, CWatM, hidrološko modeliranje, upravljanje voda, podnebne spremembe

Vpliv paleopodnebnih sprememb na sedimentacijo v miocenu

Kristina Ivančič¹, Lara Mencinger¹, Miha Marinšek¹, Miloš Bartol¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Podnebne razmere so se v miocenu izrazito spreminjale pod vplivom globalnih paleoklimatskih ter tektonskih procesov. Spremembe so bile zabeležene tudi na območju Centralne Paratetide, kjer je naje pomembno vplivala regionalna tektonika, povezana z razvojem alpsko-karpatško-dinarskega sistema. Zgodnji miocenu je zaznamoval topel interval, ki je proti srednjemu miocenu prešel v obdobje izrazitega segrevanja, imenovalno Srednjemiocenski klimatski optimum (MMCO). Povišane temperature, dvig gladine morja in funkcionalne morske povezave z Mediteranom so omogočile izjemen razmah biodiverzitete. Sledil je prehod v hladnejše razmere, imenovan Srednjemiocenska klimatska tranzicija (MMCT), ki je v Centralni Paratetidi sovpadla s spremembami morskih povezav in slanosti. Regionalni tektonski vpliv v sarmatiju je povzročil delno izolacijo posameznih bazenov in vzpostavitev brakičnih okolij, medtem ko je v panoniju prevladoval jezersko-delti sistem z lokalno razvitimi toplimi in humidnimi habitatami.

V raziskavi smo se osredotočili na vprašanje, kako so podnebne spremembe vplivale na sedimentacijske procese vzdolž zahodnega roba Panonskega bazena. Zanimalo nas je, ali obdobja relativno hladnejših, aridnih razmer sovpadajo z mirnejšo sedimentacijo ter ali toplejše in bolj humidne faze spremlja bolj dinamična sedimentacija, izražena v večji raznolikosti sedimentnih tekstur. Sedimentna zaporedja smo zato razvrstili v več starostnih skupin na podlagi nanoplanktonskih združb: egerij in eggenburgij (NN1–NN3), karpatij in spodnji badenij (NN4), spodnji in srednji badenij (NN5), zgornji badenij in sarmatij (NN6), prehod sarmatij/panonij (NN7) ter panonij. Za vsako obdobje smo izbrali tri reprezentativne lokacije na območju zahodnega roba Panonskega bazena ter na njih odvzeli vzorce za paleontološke, paleoekološke, geokemične in mineraloške analize, na podlagi katerih ugotavljamo vpliv paleopodnebnih razmer na sedimentacijo.

Raziskavo je financirala Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) v okviru P1-0025, P1-0011 v okviru programa »Mladi Raziskovalci« (št. 115-0439), projekta ExtremEarth (WP2), Št.1000-25-0215 in PROPERock (RSF, št.SN-ZRD/22-27/0215).

Ključne besede: neogen, sedimentologija, paleontologija, stratigrafija, Panonski bazen, Centralna Paratetida, paleopodnebje

Knjižnica PMSLJ in geološka kulturna dediščina

Alenka Jamnik¹, Lara Jamnik Peternel², Ines Jamnik Peternel³

¹Prirodoslovni Muzej Slovenije, Prešernova cesta 20, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Rikkyo University, 3 Chome-34-1 Nishiikebukuro, Toshima City, 171-8501 Tokyo, Japonska

³Fakulteta za dizajn, Samostojni visokošolski zavod, Dunajska 129, 1000 Ljubljana, Slovenija

Predstavljeni poster bi želel predstaviti pomen Specialne knjižnice Prirodoslovnega muzeja Slovenije – PMSLJ.

Knjižnica PMSLJ ima temeljne naloge kot so zbiranje, urejanje, hranjenje in posredovanje najrazličnejšega knjižničnega gradiva iz lastne zbirke in posredovanje informacij (iz tujih bibliografskih in drugih podatkov) predvsem lastnim zaposlenim raziskovalcem ter jim omogoča dobro podporo pri raziskovalnem delu v muzeju. Omenjeno v Strateškem planu knjižnice.

Kot KEKec (knjižnica enega knjižničarja) deluje bibliotekarka specialistka od leta 1989. Pomen knjižnice PMSLJ se kaže tudi v hrambi zapuščin naravoslovcev tako biologov (Ferdinand Josef Schmidt, Boštjan Kiauta, Marija Gosar, idr.), kot geologov (Ernest Faninger, Ana Hinterlechner Ravnik, Danilo Ravnik, idr.). Zaradi različnih vzrokov tokom zgodovine je ostalo nekaj pomembnih zbirk v drugih ustanovah (npr. Zoisova zapuščina v NUKu; naravoslovno gradivo pridobljeno in inventarizirano pred letom 1944 v današnjem Narodnem muzeju Slovenije). Prirodoslovni muzej v Ljubljani je bil ustanovljen leta 1944. Kot prva direktorica po drugi svetovni vojni ga je vodila dr. Angela Piskernik. Leta 1963 se je muzej preimenoval v današnje ime Prirodoslovni muzej Slovenije. V skladišču se hrani čez 7.000 knjig, 400 tekočih metrov serijskih publikacij, fascikli s članki, zemljevidi, idr. Stroke, ki so najbolj zastopane so biologija, geologija (literatura o Krasu), muzeologija, idr. Gradivo pridobivamo z zameno, darom ali nakupom.

Nove storitve in drugačen čas zahtevata od bibliotekarjev prilagoditve uporabnikom, kot so pomoč pri iskanju informacij ter vnos bibliografij v COBISS in DiRROS.

Za pomoč pri urejanju literature v skladišču, se iskreno zahvaljujemo študentom. Uporaba umetne inteligence kot orodje je v pomoč tako stroki kot uporabnikom. Prostor knjižnice je večnamenski – za sestanke, kot čitalnica in ustvarjalnica. Vsakodnevni boj za vrednote, za čistejše okolje, zdravo vodo, čist zrak in Zemljo, za ljudi z jasnimi mislimi,... se nadaljuje.

Ključne besede: Specialna knjižnica, geologija, kulturna dediščina, naravoslovje, zbirke

Paleoseizmološke raziskave Raškega preloma v JZ Sloveniji: vpogled v 30-tisočletno zgodovino potresov s površinskimi pretrgi

Petra Jamšek Rupnik¹, Eva Mencin Gale¹, Lovro Rupar¹, Jernej Jež¹, Frank Preusser², Ana Novak¹, Aleša Uršič Arko¹, Andrej Anžel¹, Josipa Maslač Soldo³, Jure Atanackov¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Institute of Earth and Environmental Sciences, University of Freiburg, Hebelstraße 25, 79104 Freiburg, Nemčija

³Hrvatski geološki institut, Milana Sachsa 2, 10 000 Zagreb, Hrvaška

Raški prelom je eden pomembnejših aktivnih prelomov Dinarskega prelomnega sistema v JZ Sloveniji, v območju porazdeljene deformacije na konvergentnem stiku med Jadransko mikroploščo in Evropsko ploščo, kjer prihaja do regionalnega krčenja v smeri sever–jug s hitrostjo 2–4 mm/leto. Ocenjena dolgoročna hitrost desnega zmika ob Raškem prelomu znaša približno 1 mm/leto. Kljub jasni geomorfološki izraženosti in ocenjeni zmični aktivnosti pa je potresna zgodovina preloma slabo poznana. Rekonstrukcija preteklih potresov v območjih z nizkimi do zmernimi hitrostmi deformacij zahteva multidisciplinaren pristop, saj prepoznavanje ustreznih lokacij z ohranjenim zapisom potresov in zagotavljanje njegove popolnosti predstavljata velik izziv. Z namenom boljšega razumevanja potresnega obnašanja preloma smo izvedli paleoseizmološke raziskave na več lokacijah vzdolž preloma med Štanjelom in Vremščico, podprte z radiokarbonskim in luminiscenčnim datiranjem sedimentov. Predhodno smo za izbor najprimernejših lokacij izvedli obsežno geomorfološko in strukturno-geološko kartiranje ter plitve geofizikalne raziskave.

Raziskave so razkrile ponavljajoče se močne potrese s površinskimi pretrgi v poznem pleistocenu in holocenu (zadnjih ~30.000 let), z magnitudami, ki so glede na globalne empirične podatke verjetno presegale 6,0–6,5 in bi danes pomenile rušilni potres. Na podlagi vzpostavljene kronologije smo ocenili povratne dobe od nekaj sto let do več tisočletij. Velik razpon odraža časovno grupiranje potresov in različno ohranjenost sedimentnega zapisa, vključno z erozijo, spremenljivimi hitrostmi sedimentacije ter večkratnim transportom materiala, kar onemogoča celovito kronološko rekonstrukcijo potresne zgodovine. Kljub temu smo s prvo tovrstno raziskavo pri nas pokazali, da je mogoče z več izkopi vzdolž preloma in obsežnim datiranjem bistveno izboljšati paleoseizmološke rekonstrukcije tudi v počasi do zmerno deformirajočih se območjih. Raški prelom je bil s prepoznanimi preteklimi potresi potrjen kot aktiven seizmogeni vir, zmožen generirati potrese s površinskimi pretrgi. Rezultati pomembno prispevajo k razumevanju potresne aktivnosti v regiji in k nadaljnjim ocenam potresne nevarnosti v Sloveniji.

Ključne besede: paleoseizmologija, potresi, površinski pretrg, Raški prelom

Ocena potenciala in optimizacija rabe podzemne vode za pridobivanje toplote

Mitja Janža¹, Nika Pišek Szillich¹, Petra Meglič¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Plitva geotermalna energija je obnovljivi vir energije, ki omogoča bolj trajnostno, energetsko in stroškovno učinkovito ogrevanje ter hlajenje objektov, s čimer se zmanjšuje odvisnost od fosilnih goriv in z njimi povezanih negativnih vplivov na okolje. Geotermalni sistemi imajo v času obratovanja omejene možnosti prilagajanja v primerjavi s konvencionalnimi načini ogrevanja, zato je za njihovo dolgoročno učinkovito delovanje ključno ustrezno načrtovanje. Pri odprtih geotermalnih sistemih, ki kot vir energije uporabljajo podzemno vodo, je osnovnega pomena poznavanje hidrogeoloških razmer, katerim se prilagajata količina črpanja in prostorska porazdelitev črpalnih ter ponikalnih vrtin. V gosto naseljenih območjih je takšno načrtovanje poseben izziv, saj se mora raba podzemne vode prilagajati obstoječim uporabnikom in drugim omejitvam v prostoru (npr. mestni infrastrukturi, zaščitenim območjem). V prispevku je predstavljena metodologija ocene plitvega geotermalnega potenciala in optimizacije njegove rabe s pomočjo odprtih geotermalnih sistemov (toplotnih črpalk). Pristop je bil uporabljen na območju Ljubljane (Ljubljanskega polja) v okviru projektov MARGIN (<https://www.alpine-space.eu/project/margin/>) in InnoGeoPot (<https://www.geo-zs.si/projekt/innogeopot>) ter vključuje prostorske hidrogeološke informacije in omejitve zaradi mestne infrastrukture ter drugih omejitev vrtanja. Na podlagi teh podatkov in analitične metode optimizacije so določena optimalna mesta črpalnih in ponikalnih vrtin znotraj katastrskih parcel. Predlagana postavitev vrtin geotermalnih sistemov omogoča maksimalen izkoristek naravnih danosti ter izogib negativnim vplivom na sosednje geotermalne sisteme in druge dejavnosti v prostoru. Rezultati študije nudijo strokovno osnovo, primerno za vključitev v proces prostorskega načrtovanja in energetskega upravljanja razvoja mesta.

Ključne besede: plitva geotermalna energija, podzemna voda, optimizacija

Zemeljski plazovi v preperinskih in koluvijskih sedimentih

Mateja Jemec Auflič¹, Matej Maček², Jasna Smolar², Karin Kure¹, Tina Peternel¹, Helena Grčman³, Rok Turniški³, Vesna Zupanc³, Luka Žvokelj³, Boštjan Pulko²

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

³Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

Zemeljski plazovi, ki jih sprožijo intenzivne in dolgotrajne padavine, predstavljajo nevarnost za človeka na več kot eni tretjini slovenskega ozemlja. V prispevku se osredotočamo na zemeljske plazove, pri katerih se drsna ploskev oblikuje na globinah do nekaj metrov v preperini matične podlage in koluviju. Za proučitev lastnosti zemeljskih plazov v preperinskih in koluvijskih sedimentih smo izbrali tri reprezentativna pilotna območja, izvedli sondažne izkope do globine 2,5 metra ter opravili celovit inženirsko-geološki, pedološki, geotehnični in hidrogeološki popis. Na podlagi litološkega in pedološkega popisa razkopa smo določili plasti z različno vsebnostjo zrn in glinenih delcev ter vsako plast vzorčili za določitev kemijskih, fizikalnih in mehanskih lastnosti sedimentov. Vsak izkop smo na treh različnih globinah opremili s senzorji za volumetrično vsebnost vode, sukcijsko in količino padavin, s čimer smo zagotovili visokoločljive hidrometeorološke in hidrološke podatke. Za prepoznavanje litoloških sprememb in heterogenosti podpovršja, določitev geometrije plazov, vključno z debelino sedimenta in opredelitvijo drsne ploskve, kadar obstaja zadosten kontrast v električni upornosti, oceno prostorske porazdelitve vsebnosti vode oziroma območij z večjo zasičenostjo ter identifikacijo območij z zmanjšano stabilnostjo, kjer se zaradi povečane vsebnosti vode spreminjajo geomehanske lastnosti tal, smo izvedli geofizikalne meritve z uporabo električne upornostne tomografije in georadarja. Preliminarni rezultati kažejo, da so za plazove v preperinskih in koluvijskih sedimentih značilni razmerje med velikostjo zrn in glineno komponento ter hidrogeološke razmere.

Raziskavo financira Javna agencija Republike Slovenije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost (ARIS) v okviru raziskovalnih projektov ExtremEarth (J7-60124) in GeoAI (GC-0006).

Ključne besede: zemeljski plazovi, preperina, koluvij, vlažnost

Potresi na Pivško-ilirskobistriškem območju zabeleženi z mrežo opazovalnic SLO Karst NFO

Tamara Jesenko¹, Miha Lanjšček^{1,*}

¹Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana, Slovenija

*predavatelj

Pivško-ilirskobistriško območje je kraški svet v jugozahodni Sloveniji, ki obsega Pivško kotlino, dolino zgornje Reke ter obsežne gozdove pod Snežnikom proti ilirskobistriški kotlini. Na potresno aktivnost tega dela, vplivajo številni prelomi, ki potekajo preko območja. Med njimi so Raški, Idrijski prelom in prelom Predjama-Avče. V preteklosti se je tu zgodilo več močnih potresov. Letos, 31. januarja 2026, je bila 70. obletnica potresa, ki je leta 1956 z magnitudo 6,3 prizadel Ilirsko Bistrico in okolico. Če je bila takrat potresu najbližja opazovalnica v Trstu v Italiji, zdaj območje pokrivajo tri opazovalnice Državne mreže potresnih opazovalnic 1. reda. Za izračun natančnejše lokacije in umestitev potresa na posamezen prelom pa potrebujemo večje število opazovalnic, ki so enakomerno in čim bližje razporejene okoli nadžarišča. V letu 2020 je bilo v okviru projekta »Razvoj raziskovalne infrastrukture za mednarodno konkurenčnost slovenskega RRI prostora – RI-SI-EPOS« (RI-SI-EPOS, 2026) v sodelovanju Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU in ARSO postavljenih sedem potresnih opazovalnic na območju Postojna–Jelšane–Kozarišče. Na predavanju bosta na kratko predstavljena statistika potresov, ki so se zgodili v zadnjih šestih letih od postavitve prenosnih opazovalnic in njihov prispevek k natančnosti izračuna lokacij potresov.

Ključne besede: potres, prelom, potresna opazovalnica, lokacije potresov, Pivka, Ilirska Bistrica, SLO Karst NFO

Z geološkim vlakom skozi predor T1 – Lokev

Jernej Jež¹, Aleša Uršič Arko¹, Adrijan Košir², Jernej Loboda³, Julija Fux³

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

²ZRC SAZU, Paleontološki inštitut Ivana Rakovca, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

³IRGO Consulting d.o.o., Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana, Slovenija

Predor Lokev (T1) je s 6714 m dolžine najdaljši predor na trasi drugega tira nove železniške proge od Divače do Kopra. Na severovzhodu se začne pri vasi Lokev, na jugozahodu pa zaključi v dolini Glinščice. Geološka zgradba je bila interpretirana na podlagi podatkov zbranih v fazah načrtovanja in nadzora gradnje.

Trasa železniške proge se začne v apnencih Sežanske formacije in v smeri proti JZ prečka kompletno zaporedje apnencev Lipiške formacije do paleokraškega nivoja in diskonformne meje z Liburnijsko formacijo, ki se nato nadaljuje v predoru T1. Plasti vpadajo proti jugovzhodu in jugu. V začetnem delu predora je strukturno pomembna

subvertikalna razpoklinska cona v generalni smeri sever – jug, opazovana že na območju predvropa predora. Razpoke so pogosto zakrasele, prisotne so jame in brezna večjih dimenzij.

Približno 1200 m od začetka predora sledi postopna meja med Liburnijsko in Trsteljsko formacijo. Znotraj zaporedja apnencev so najmanj trije močnejši subveritikalni prelomi z vpadi proti VSV in SZ. Na približno 2300 m dolžine je v jedru Velikogradiške brahisinklinale faciesno neizrazita meja med Trsteljsko formacijo in Alveolinsko-numulitnim apnencem, ki se nadaljuje na dolžini skoraj 2000 m. Izrazit sistem prelomnih ploskev se pojavi približno 2900 in 3700 do 4000 m od portala.

Med 4200 in 6000 m je zaporedje od Liburnijske formacije do prehodnih plasti nagubano v stisneno, deloma prevrnjeno in prelomljeno antiklinalo ter ob Trmuskem narivnem prelomu narinjeno na fliš. Na tem odseku so litološke enote pogosto v prelomnih kontaktih. Plasti v jugozahodnem krilu antiforne so v vertikalni do prevrnjeni legi. V jedru antiklinale in v njenem severovzhodnem krilu so številni strmi prelomi z vpadi proti SV in JZ ob katerih je zaporedje apnencev razkosano in zamaknjeno.

V zadnjih 700 m predor prečka fliš, naguban v serijo gub z osmi SZ-JV. Gube so pogosto nagnjene v smeri proti JZ ter mestoma presekane z reverznimi prelomi.

Ključne besede: Alveolinsko-numulitni apnenec, Trsteljska formacija, Liburnijska formacija, fliš, narivni prelom, drugi tir Divača-Koper, predor Lokev

Izdelava strokovnih podlag na podlagi kart verjetnosti pojavljanja plazov – problematika odločanja sprejemljivosti posegov

Grega Juvan¹

¹IRGO Inštitut za rudarstvo, geotehnologijo in okolje, Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana, Slovenija

V letu 2024 so v veljavo stopile nove usmeritve za pripravo strokovnih podlag na podlagi opozorilne karte verjetnosti pojavljanja plazov v merilu 1 : 25.000 in pregledne karte v merilu 1 : 250.000. Usmeritve so do leta 2026 predstavljale prilogo 8 splošnih smernic upravljanja z vodami DRSV, po novem pa jih naslavljamo kot priporočila za pripravo SP na podlagi kart verjetnosti pojavljanja plazov. Priporočila, vezana na 83. in 88. člen ZV-1, se pri usmeritvah za izdelavo strokovnih podlag opirajo na slovenski standard SIST EN 1997-2:2007/AC:2010, Evrokod 7: Geotehnično projektiranje. 1. in 2. del.

Preko izdelave strokovnih podlag in usklajevanj z nosilci urejanja prostora se je izkazalo, da izdelava tovrstnih strokovnih podlag zahteva več disciplinarni pristop, ki presega strogo geotehnični pristop. Ob izdelavi strokovnih podlag se poleg geotehničnih vprašanj tako soočamo tudi s hidrogeološko problematiko konfliktov posega in podzemne vode. Dodatno je pri vplivih posegov potrebno upoštevati hidrološko problematiko urejanja odvodnje predvidenih posegov v prostor, ki je ključna za dolgoročno zagotavljanje stabilnosti na vplivnih območjih posegov. Multidisciplinarni pristop se odraža v veliki količini lokacijsko razpršenih vhodnih podatkov za analizo posegov ali pobud, kar zahteva

sistematično obdelavo v GIS okolju, ki mora biti obdelovalcu na voljo ob samem terenskem delu. Na terenu razpoložljive podatke uporablja geolog, ki preko opazovanj oceni vplive različnih vidikov posega na stabilnost vplivnega območja.

Pristop k izdelavi strokovnih podlag se razlikuje glede na namen. Podlage se namreč izdelujejo tako za potrebe OPN, kot DPN. Slednji so običajno podprti z načrti in elaborati različnih segmentov posega, medtem ko so pobude v okviru OPN opremljene le z informacijo o predvideni spremembi namembnosti prostora. Podlage se izdelujejo tudi v višjih fazah projektov in sicer v postopkih izdaje pogojev in soglasij h gradnji. Razlike med fazo postopka za katerega se izdelujejo SP se odražajo tudi pri omilitvenih ukrepih, ki pogojujejo dopustnost izvedbe posega.

Ključne besede: karte verjetnosti pojavljanja plazov, strokovne podlage, priloga 8

Kredne oceanske rdeče plasti (CORBs): Globalni paleoceanografski fenomen v Zunanjih Dinaridih (Budva bazen, Črna Gora) in Južnih Alpah (Julijske Alpe, Slovenija)

Anja Kocjančič¹, Aleksander Horvat¹

¹ZRC SAZU, Paleontološki inštitut Ivana Rakovca, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

Kredne oceanske rdeče plasti (Cretaceous Oceanic Red Beds – CORBs) predstavljajo specifična globokomorska sedimentna zaporedja rdečih laporjev, apnencev in rožencev, bogatih z železovimi oksidi. CORBsi so bili med leti 2005 in 2012 pogosta tema intenzivnih geoloških raziskav, ki so odprle povsem novo okno v razumevanje globalnih klimatskih sprememb v kredi. Pojav teh plasti v kredi označuje prelomno točko v delovanju oceanov, saj so po obdobjih oceanskih anoksičnih dogodkov (Ocean Anoxic Events) nastopili izrazito oksični in oligotrofni pogoji oceanov. CORB sedimentacija je diahrona in tesno povezana z ohlajanjem podnebja ter vzpostavitvijo aktivne cirkulacije kisika v globokomorskih bazenih. Ta pojav je danes prepoznaven na obeh straneh nekdanje Tetide in preučevan v gorskih verigah od Andov, Alp, Karpatov do Himalaje. Kljub globalnemu pomenu pa te plasti na širšem območju Dinaridov in Julijskih Alp doslej niso bile nikdar podrobneje sedimentološko in geokemično raziskane. V zadnjih letih smo z raziskavami zapolnili to vrzel in razširili poznavanje teh zaporedij v dveh paleogeografskih enotah: v zgornjekrednih zaporedjih Slovenskega bazena v Julijskih Alpah (Slovenija) in v zaporedjih Budvanskega bazena v Zunanjih Dinaridih (Črna gora). Glede na integrirane stratigrafske analize profilov v Budvanskem bazenu lahko rdeče pelagite na podlagi vsebnosti CaO, Al₂O₃ in SiO₂ geokemično klasificiramo kot karbonatne CORB (Ca-CORB). S podobno geokemično sestavo so bili med karbonatne CORB klasificirani tudi rdeči pelagični apnenci v Julijskih Alpah na območju Krnskega pogorja pripadajoči nekdanjemu Slovenskemu bazenu. Raziskave biostratigrafije planktonskih foraminifer ter kemostratigrafije izotopov ogljika ($\delta^{13}\text{C}$) in stroncija ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) kažejo na kondenzirano sedimentacijo, ki jo prekinjajo nihanja morske gladine ter povišan dotok terigenega

materiala v bazen. Prehod iz rdečih pelagitov v vmesne pakete belih apnencev odraža paleoceanografske spremembe, predvsem zvišano primarno produktivnost in nihanja v oskrbi s kisikom. Preučevanje zaporedij oceanskih rdečih plasti lahko pomembno prispeva k razumevanju bioloških in sedimentacijskih procesov na prehodu iz ekstremno tople v toplo kredno klimo.

Ključne besede: CORB, zgornja kreda, paleoceanografija, Julijske Alpe, Dinaridi

Razlikovanje kraških izvirov na podlagi analize histerez pretokov

Blaž Kogovšek¹, Metka Petrič¹, Igor Jemcov²

¹ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje krasa, Titov trg 2, 6230 Postojna, Slovenija

²Univerza v Beogradu, Rudarsko geološka fakulteta, Đušina 7, 11120 Beograd, Srbija

Padavinski dogodki v kraških vodonosnikih sprožajo različne hidrološke odzive izvirov. Naraščajoči in recesijski deli hidrogramov odražajo procese napajanja, prenosa podzemnega toka in praznjenja kraških vodonosnikov. Voda, ki med posameznimi dogodki izteka skozi kraške izvire, lahko izvira iz alogenega ali avtogenega napajanja, pri čemer se različni viri napajanja razlikujejo po odzivnem času, načinu prenosa podzemnega toka in deležu vode, shranjene v vodonosniku. Analiza odzivov izvirov na padavinske dogodke zato omogoča razlikovanje posameznih komponent napajanja in praznjenja.

V raziskavi smo primerjali hidrograme na več lokacijah znotraj izbranega kraškega vodonosnika. Poleg običajne analize časovnih vrst smo uporabili tudi analizo histerez, da bi podrobneje opredelili hidravlične povezave in časovne zamike v sistemu. Histereza se pojavi, kadar isti vrednosti ene spremenljivke, na primer pretoku ponikalnice, ustrezata različni vrednosti druge spremenljivke, na primer pretoka izvira, odvisno od faze hidrološkega dogodka. Nastala zanka tako izraža razlike med naraščajočim in recesijskim delom dogodka ter časovni zamik med opazovanima lokacijama.

Analizirali smo več padavinskih dogodkov v obdobju dveh hidroloških let. Obravnavali smo histerezne odnose med pretoki ponikalnic Raka in Pivke ter pretoki izvirov Malenščice in Unice. Histerezne zanke kažejo zaporedno aktivacijo posameznih komponent napajanja in razlike v njihovem recesijskem odzivu. Njihova oblika, širina in orientacija podajajo informacije o časovnem zamiku ter stopnji hidravlične povezanosti med območji napajanja in izviri. Ozke in razmeroma simetrične zanke navadno nakazujejo kratke odzivne čase in dobro hidravlično povezavo, širše ali nepravilne, konveksne oziroma konkavne zanke, pa lahko kažejo na vpliv začasnega shranjevanja vode, napajanja iz matriksa ali dodatnih virov napajanja.

Ključne besede: kraški vodonosnik, avtogeno in alogeno napajanje, analiza histerez

Triasna konodontna bioconacija Dinaridov

Tea Kolar-Jurkovšek¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Konodonti so ena najuspešnejših skupin živali, ki predstavljajo izumrle zgodnje vretenčarje. V obdobju svojega obstoja od kambrija do triasno-jurskega mejnega intervala so poseljevali praktično vsa morska okolja. Zaradi hitre evolucije, velike paleogeografske razširjenosti in odpornosti sodijo konodonti med najpomembnejše skupine mikrofosilov v biostratigrafiji paleozoika in triasa, številni elementi so odlični vodilni fosili. Konodonti so izkazali velik pomen za triasno biostratigrafijo Dinaridov.

V spodnjem triasu so bile določene konodontne cone: *parvus*, *lobata*, *isarcica-staeschei*, *postparvus*, *aequabilis*, *anceps*, *costatus*, *obliqua*, *gardenae*, *corniger*, *regularis*, *hungaricus*, *symmetricus*, *homeri-robustispinus* in *triangularis*. Predstavniki evolucijske linije *Triassospathodus symmetricus-homeri-triangularis* so dobro dokumentirani in razmeroma pogosti po vsem svetu, kar omogoča neposredno primerjavo con. Nekatere dienerijske in smithijske plasti Zahodne Tetide označujejo plitvomorski in evrihalini rodovi (*Hadrodontina*, *Pachycladina*, *Eurygnathodus*, *Foliella*, *Platyvillosus*), ki imajo v Zahodni Tetidi velik stratigrafski pomen. Srednje- in zgornjetriasne cone Dinaridov so večinoma primerljive s konodontnimi conami iz drugih delov Tetide. Srednetriasne favne označuje prisotnost rodov *Budurovignathus*, *Neogondolella* in *Paragondolella*, ki v Dinaridih omogočajo določitev naslednjih con: *bulgarica*, *bifurcata*, *constricta*, *trammeri*, *hungaricus* in *mungoensis*.

V longobardu se pojavlja *Pseudofurnishius murcianus* in določa istoimensko cono. Ta vrsta je značilna za Sefardsko konodontno provinco, za katero so značilne za deloma endemične favne Zahodne Tetide in njenih obrobni morij, zato je *P. murcianus* pomemben paleobiogeografski marker.

Prepoznane karnijske favne temeljijo na rodovih *Carnepigondolella*, *Paragondolella* in *Quadralella* v zaporedju con: *polygnathiformis*, *praelindae*, *tuvalica-carpatica* in *pseudodiebeli-zoeae*, ki so primerljive s standardno konodontno conacijo. Edina razlika je julsko-?spodnjetuvalska cona z monofavno vrsto *Nicoraella budaensis*, ki opredeljuje konodontno cono budaensis in kaže na stresne razmere med karnijskim pluvialnim dogodkom. Geografska razširjenost te vrste je omejena na srednjo Evropo, zato predstavlja pomemben regionalni marker. Od spodnjega norija do konca triasa je opazen upad konodontov v zaporedju rodov *Epigondolella*, *Mockina*, *Parvigondolella* in *Misikella*. V Dinaridih so prepoznane cone *rigoi-quadrata*, *triangularis*, *postera*, *bidentata*, *andrusovi-hernsteini*, *koessenensis* in *ultima*.

Ključne besede: konodonti, trias, paleontologija

Geo.Hub mreža kot inovativna platforma za sodobno komuniciranje, interpretacijo dediščine in trajnostni turizem v čezmejnem Geoparku Karavanke

Darja Komar^{1,3}, Lenka Stermecki², Mojca Bedjanič², Suzana Fajmut Štrucl³, Danijela Modrej³, Gerald Hartmann³, Primož Vodovnik⁴

¹Podzemlje Pece, d.o.o., Glančnik 8, 2392 Mežica, Slovenija

²Zavod Republike Slovenije za varstvo narave, OE Maribor, Pobreška cesta 20, 2000 Maribor, Slovenija

³Karawanken/Karavanke UNESCO Globalni Geopark, Hauptplatz 7, 9135 Bad Eisenkappel/Železna Kapla, Avstrija

⁴Regionalna razvojna agencija za Koroško, d.o.o., Meža 10, 2370 Dravograd, Slovenija

Učinkovita komunikacija in sodobni pristopi k promociji destinacij postajajo pomemben del razvoja UNESCO Globalnih Geoparkov. Čezmejni UNESCO Globalni Geopark Karavanke/Karawanken je v okviru projekta INTERREG SI-AT GreenTour razvil Geo.Hub mrežo, ki predstavlja primer dobre prakse na področju trajnostnega turizma, interpretacije dediščine in vključevanja lokalnega okolja. Geo.Hub mreža temelji na decentraliziranem sistemu informacijskih in komunikacijskih točk, ki povezujejo lokalne skupnosti, turistične ponudnike in obiskovalce na območju Slovenije in Avstrije. Namesto enega osrednjega centra sistem vključuje več medsebojno povezanih točk, ki omogočajo bolj trajnostno in avtentično doživljanje geoparka. Posebnost koncepta je povezovanje fizičnih informacijskih točk z digitalnimi rešitvami. Geo.Hubi obiskovalcem nudijo informacije o geološki, naravni in kulturni dediščini, pohodniških in kolesarskih poteh, lokalni kulinariki ter trajnostni mobilnosti. Digitalne vsebine izboljšujejo dostopnost informacij, spodbujajo daljše bivanje obiskovalcev in prispevajo k bolj uravnoteženemu obisku območja.

V okviru projekta so bili vzpostavljeni trije osrednji Geo.Hubi v Železni Kapli/Bad Eisenkappel, Mežici in Ravnah na Koroškem, nadgrajene pa so bile tudi druge informacijske točke na obeh straneh meje. Geo.Hubi danes predstavljajo prostor sodelovanja, promocije lokalnih produktov ter povezovanja med občinami, turističnimi organizacijami in podjetniki. Geo.Hub mreža tako predstavlja primer inovativnega upravljanja zavarovanih območij, kjer se povezujejo trajnostni turizem, digitalizacija, interpretacija dediščine in čezmejno sodelovanje.

Ključne besede: UNESCO Globalni Geopark, INTERREG, GreenTour, trajnostni turizem, Geo.Hub mreža, Geopark Karavanke

Towards a joint research on the Dinaric Fault System across the Slovenia-Croatia border in the NW Dinarides

Tvrtko Korbar¹, Damir Palenik¹, Matija Vukovski¹, Jernej Jež²

¹Croatian Geological Survey, Milana Sachsa 2, 10000 Zagreb, Croatia

²Geological Survey of Slovenia, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenia

The Dinaric Fault System (DFS) of the NW Dinarides is one of the principal active fault systems that accommodates the ongoing convergence between the Adriatic and Eurasian plates. NW–SE striking dextral strike-slip and reverse faults run along a distributed deformation zone across the Slovenia-Croatia border between Postojna and Rijeka, and are responsible for a moderate instrumentally recorded seismic activity.

The wider border area has been the subject of focused modern research on the DFS since the beginning of the millennium. Geological research on the DFS at the surface began in southern Slovenia and was carried out later in Croatia, in the Kvarner region. In Slovenia, active subvertical crustal faults along the DFS zone have been proven by detailed seismological research. The faults were also mapped on the surface and investigated by DEM-based geomorphological analyses and by trenching, indicating deformations that could be related to destructive (pre)historical earthquakes. Besides, the border area between Ilirska Bistrica and Klana is marked by a significant regional drainage divide between the Slovenian Reka River (Trieste basin) and the Croatian Rječina River (Kvarner basin), located in the zone of the assumed transverse Kvarner fault.

Given the complexity of the active DFS across the border, it is proposed to apply for a joint bilateral project to conduct a detailed geological mapping and geomorphological analysis of zones of potentially active, fault-related surface deformations in the wider border area. A coordinated bilateral geological approach would facilitate the standardization of mapping criteria, data exchange, and joint field investigations, providing a geological basis for cross-border risk mitigation and future European research initiatives. By treating the NW Dinarides as a single tectonic system rather than separate national sectors, this initiative aims to advance understanding of active deformation processes and strengthen regional resilience to earthquake hazards.

Key words: NW Dinarides, active tectonics, geological mapping, geomorphological analyses

Kraška grupa: karbonatna platforma med orogenezo in toplo gredo

Adrijan Košir¹

¹ZRC SAZU, Paleontološki inštitut Ivana Rakovca, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

Kraška grupa je litostratigrafska enota, ki ustreza najmlajši, sinorogeni depozicijski megasekvenci Jadranske karbonatne platforme. Megasekvenco navzdol omejuje izrazita diskonformna meja s paleokrasom v podlagi – posledica dviga in erozije predorogene izbokline, navzgor pa zaporedje prehoda karbonatne platforme v flišni bazen, ki izraža retrogradacijo in potopitev platforme, povzročeno s sukcesivno subsidenco predorogenega bazena. Stratigrafija in faciesna arhitektura Kraške grupe od zgornjega maastrichtija do srednjega eocena kaže, da so bile tudi posamezne depozicijske sekvence z geometrijo karbonatnih ramp primarno pogojene z regionalnimi in lokalnimi tektonskimi procesi. Severni del Jadranske karbonatne platforme na Krasu, to je v Komenski narivni enoti in enotah Kraškega roba, je med peri-Tetidnimi bazeni izjemen, saj ga v večjem delu spodnjega paleogena gradi agradacijski sklop karbonatnih ramp s plitvomorskimi zaporedji brez večjih prekinitev in siliciklastičnega vnosa ter faciesne združbe, ki jih paleoekološko in biostratigrafsko dobro definirajo velike bentoške foraminifere. V predavanju bomo predstavili sedimentarni in izotopski zapis dogodka, ki je primerljiv z aktualnimi antropogeno pogojenimi globalnimi spremembami podnebja in okolja. Paleocensko-eocenski toplotni višek (Paleocene-Eocene Thermal Maximum –PETM) je geološko kratkotrajen dogodek na meji med paleocenom in eocenom (pred približno 56 milijoni let), ki ga označuje izjemo hitro in ekstremno globalno segrevanje ozračja in oceanov. Stratigrafski zapis PETM smo na Krasu na podlagi izrazitega negativnega odklona izotopske krivulje ogljika (carbon isotope excursion – CIE) identificirali v več profilih, najpopolnejši sedimentarni in izotopski zapis PETM pa smo posneli v jedrih vrtine T1-7 na Drugem tiru. Tu CIE kaže izrazit in hiter ~2-2.5 ‰ negativen odklon in postopno vračanje k vrednostim ozadja, identificirali pa smo tudi manjši (1–1,5 ‰) kratek negativni odklon pred nastopom CIE, ki verjetno ustreza predčasnemu odklonu (POE – pre-onset excursion), globalno ugotovljenemu v le nekaj profilih. Skozi primerjavo s ključnimi svetovnimi profili bomo pretehtali kvaliteto zapisa v plitvomorskih karbonatih, procese v tafonomsko aktivni coni ter stratigrafijo, magnitudo in geometrijo CIE.

Ključne besede: Kraška grupa, vrtina T1-7, paleocen, eocen, tafonomija karbonatnega izotopskega zapisa

Pojavnost in značilnosti mikroplastike v podzemni vodi v Sloveniji

Manca Kovač Viršek^{1,2}, Elvira Colmenarejo Calero¹, Nina Mali¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Nacionalni inštitut za biologijo, Večna pot 121, 1000 Ljubljana, Slovenija

Mikroplastika je prepoznana kot pomemben dejavnik tveganja za vodno okolje, vendar je njena prisotnost v podzemni vodi še zelo slabo raziskana. Že objavljene študije pogosto ne sledijo metodologiji veliko volumenskega vzorčenja podzemne vode in drugim metodološkim priporočilom iz Delegiranega Sklepa Komisije EU 2024/1441. V okviru projekta GWMicroPlast smo izvedli prvo sistematično in metodološko usklajeno spremljanje mikroplastike v podzemni vodi v Sloveniji. Monitoring je zajel 20 lokacij po Sloveniji, razporejenih znotraj medzrnskih in kraško-razpoklinskih vodonosnikov. Vzorčenje je bilo izvedeno v dveh letnih časih (spomladi in jeseni 2024). V okviru projekta je bila razvita in patentirana naprava za vzorčenje podzemne vode, ki omogoča kaskadno filtracijo več kot 1 m³ vode v zaprtem sistemu ter zajem mikroplastike različnih velikostnih razredov. Laboratorijske analize so vključevale določanje koncentracij, velikosti, oblike in polimerne sestave delcev z uporabo kombinacije mikroskopskih in nihanjskih spektroskopskih metod (μ -Raman in μ -FTIR). Metodologija je v celoti sledila navodilom Delegiranega Sklepa Komisije EU 2024/1441.

Rezultati, pridobljeni z enotno metodologijo, potrjujejo prisotnost mikroplastike v podzemni vodi v Sloveniji z velikimi odstopanji med lokacijami in sezonami. Na njeno porazdelitev in pojavnost vplivajo hidrogeološke značilnosti in značilnosti delcev mikroplastike. Raziskava predstavlja prve rezultate o prisotnosti mikroplastike po podzemnih vodah v Sloveniji, s čimer Slovenijo uvršča med ene prvih držav z izvedenimi celostnimi analizami v skladu s priporočili Evropske Komisije. Poleg tega študija prispeva pomemben korak k boljšemu razumevanju mikroplastike v podzemnih vodonosnikih ter k razvoju prihodnjih programov monitoringa in zaščite vodnih virov.

Ključne besede: mikroplastika, podzemna voda, monitoring, vodonosniki, Slovenija, GWMicroPlast

Izbrana karnijska favna nevretenčarjev Crngroba pod drobnogledom

Matija Križnar¹, Lidija Korat Bensa², Eva Menart^{3,4}, Tim Cifer⁵, Luka Gale^{6,7}

¹Prirodoslovni muzej Slovenije, Kustodiat za geologijo, Prešernova cesta 20, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva ulica 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

³Narodni muzej Slovenije, Oddelek za konserviranje in restavriranje, Prešernova cesta 20, 1000 Ljubljana, Slovenija

⁴Institut Jožef Stefan, Jamova ulica 39, 1000 Ljubljana, Slovenija

⁵ZRC SAZU, Paleontološki inštitut Ivana Rakovca, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

⁶Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

⁷Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Izjemna zbirka karnijskih (zgornjetriasnih) fosilov iz okolice Crngroba blizu Škofje Loke vsebuje okremenjene (silificirane) in tudi limonitizirane (primarno piritizirane) ostanke nevretenčarjev. Za potrebe boljšega razumevanja procesov fosilizacije, diageneze in ohranjenosti posameznih elementov izbranih fosilov smo izvedli neinvazivne raziskave z rentgensko računalniško mikrotomografijo (mikroXCT), rentgensko fluorescenčno spektrometrijo (XRF) in analizo pod vrstičnim elektronskim mikroskopom (SEM). V okviru rentgenske računalniške mikrotomografije, ki smo jo izvedli na Zavodu za gradbeništvo (ZAG) smo želeli preveriti: prisotnost ramenski aparatov in drugih notranjih elementov pri ramenonožcih, prisotnost sept pri določenih glavonožcih in prekrivanje zavojev ter analizo suturnih linij pri amonitih. Dodatno smo tudi želeli posneti zunanjo morfologijo lupin ramenonožcev in amonitov. Zunanjo morfologijo in način ohranjenosti smo preverili tudi z vrstičnim elektronskim mikroskopom, kar smo izvedli na Paleontološkem inštitutu Ivana Rakovca (ZRC SAZU). Ob tem smo želeli preveriti tudi ustreznost SEM-a za fotografiranje manjših (do nekaj milimetrov velikih) okremenjenih in limonitiziranih fosilov (predvsem amonitov). Izvedli smo tudi EDS analizo, da bi določili sestavo in prisotnost različnih prvin. Z enako analizo smo želeli preveriti kemično sestavo izbranih limonitiziranih amonitov. S tem smo skušali identificirati nadomestitev primarnih mineralov skozi fosilizacijo in predvsem skozi diagenetske procese. Sinteza vseh preiskav je pokazala določena odstopanja od klasičnih procesov fosilizacije, predvsem v primeru okremenjenih fosilov. Rezultati kažejo na močno spremenjeno ultrastrukturo preiskanih primerkov, kar je posledica pozne diageneze. Zamenjava prvotnega minerala s kremenico in/ali železovimi oksidi je uničila večino strukturnih elementov v notranjosti preiskovanih fosilov.

Ključne besede: paleontološke raziskave, amoniti, ramenonožci, zgornji trias

Razvoj geološko-geotehničnega modela trase tretje razvojne osi med Velenjem in Slovenj Gradcem

Albin Križnič¹, Nina Jurečič¹, Vlado Vukadin¹

¹IRGO Consulting d.o.o, Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana, Slovenija

Načrtovana hitra cesta med Velenjem in Slovenj Gradcem poteka skozi geološko, geomorfološko in hidrogeološko zelo raznoliko območje. Na posameznih odsekih 17,5 kilometra dolge trase se izmenjujejo pliokvartarni in kvartarni sedimenti, triasne karbonatne kamnine, tonalit ter miocenski klastiti. Zaradi razgibanega reliefa, spremenljive debeline preperinskega pokrova, tektonske pretrtosti, vpliva podzemne vode in številnih območij pobočnih nestabilnosti je poznavanje geološke zgradbe eden ključnih pogojev za načrtovanje trase in spremljajočih objektov.

Prispevek prikazuje razvoj geološko-geotehničnega modela trase s povečevanjem obsega in raznolikosti raziskav. Začetno razumevanje je temeljilo na Osnovni geološki karti. V fazi IDP leta 2010, dopolnjeni leta 2013, je bil model nadgrajen z inženirsko-geološkim in hidrogeološkim kartiranjem, terenskimi raziskavami ter laboratorijskimi preiskavami. Določene so bile inženirsko-geološke enote, hidrogeološke razmere, geomehanski parametri ter pogoji za izvedbo vkopov in nasipov ter temeljenje objektov. V fazi PZI med letoma 2018 in 2024 je bil raziskovalni program bistveno razširjen. Povečala sta se obseg in raznolikost terenskih raziskav ter laboratorijskih preiskav, kar je omogočilo natančnejšo določitev debeline preperinskega pokrova, globine do kompaktne kamninske podlage, prostorskega obsega litoloških različkov ter trdnostnih in deformacijskih lastnosti materialov. Na podlagi izboljšane geološkega modela so bile ponovno preverjene stabilnostne razmere vkopov in nasipov ter ustreznost temeljenja objektov.

Na konkretnih primerih bomo prikazali, kako so bile rešitve iz faze IDP v fazi PZI prilagojene izboljšanemu poznavanju geološko-geomehanskih razmer. Geološka slika se dopolnjuje tudi med gradnjo z dokumentiranjem dejansko razkritih razmer, zlasti na območjih, kjer terenske raziskave niso bile izvedene.

Primer trase hitre ceste Velenje–Slovenj Gradec kaže, da geološko-geotehnični model ni dokončen rezultat posamezne faze raziskav, temveč proces, ki se z novimi raziskavami in podatki postopoma dopolnjuje in izboljšuje.

Ključne besede: inženirska geologija, geotehnika, geološki model

Najbolj perspektivna geotermalna območja v Sloveniji in ali še obstaja potreba po reinjekciji?

Darjan Kundačina¹, Andrej Lapanje¹, Nina Rman¹, Nika Pišek Szillich¹, Dušan Rajver¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Raziskave geotermalnega potenciala na GeoZS se nadgrajujejo v več projektih: EGP projektu INFO-GEOTHERMAL trenutno sledijo CSA GSEU – Geološka služba za Evropo programa Obzorje Evropa; ARIS RSF projekt INRIGeoTeam in strokovne naloge za ministrstvu, pristojni za okolje in energetiko in njihove agencije.

INFO-GEOTHERMAL je zagotovil smernice za razvoj projektov rabe termalne vode, podal predlog nacionalnih globokih raziskav ter z vzpostavitvijo pregledovalnika Digitalna baza podatkov 3D geotermalnega modela SV Slovenije olajšal dostop do informacij o geotermalnem potencialu.

Največjo nadgradnjo ocene regionalnega potenciala Slovenije smo izvedli v okviru CSA GSEU DP 3- Geotermalna energija in podzemno skladiščenje energije. Opredelili smo 12 perspektivnih geotermalnih območij ter dve čezmejni (angl. geothermal plays) in njihove lastnosti. Predpostavili smo najnižjo temperaturo reinjecirane vode 30 °C. Za izračun teoretično dosegljive uskladiščene toplote (angl. heat in place) smo uporabili stohastični pristop - Monte Carlo simulacije v Python programu 1D HIP/HSP Calculator in ocenili skupen potencial Slovenije na 64.811 PJ (s 50 % verjetnostjo (P50)). To smo dopolnili z oceno potenciala za srednje in visokotemperaturno podzemno skladiščenje toplote v vodonosnikih (MT- in HT-ATES). Z uporabo orodja 3DHIP-Calculator smo dobili pričakovano nižji potencial, 7.446 PJ (P50). Podatki bodo v kratkem dostopni na EGD portalu.

INRIGeoTeam razvija metode za uspešno reinjekcijo v Sloveniji, vsebine pa se implementirajo v ministrske naloge. Na trenutni stopnji poznavanja geološke zgradbe Slovenije imajo sedimenti Panonskega bazena največji potencial. Zaradi zniževanja gladin je bila v preteklih Načrtih upravljanja z vodami uveljavljena prepoved dodatnih odvzemov termalne vode, kar pomeni, da so pari črpalno-reinjekcijskih vrtin edina možnost za povečanje rabe. Ker je bila količina odvzema med korono manjša, so se gladine regionalno stabilizirale. Sedaj se odzem ponovno povečuje in nekatere gladine se zopet znižujejo. Zvišuje jih le bližina novih reinjekcijskih vrtin. Za ohranjanje dobrega količinskega stanja potrebno je vztrajati v zahtevi po reinjekciji vode, ki se uporablja v energetske namene.

Ključne besede: geotermalni potencial, geotermalna energija, termalna voda, trajnostna raba, reinjekcija

Geomorfološke značilnosti kot dejavnik nastanka zemeljskih plazov: na primeru plazu Jelen

Karin Kure¹, Tina Peternel¹, Blaž Milanič¹, Domen Turk¹, Mateja Jemec Auflič¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Plazovi, sproženi zaradi intenzivnih padavin, predstavljajo eno najpogostejših naravnih nevarnosti v Sloveniji. Članek obravnava plaz Jelen v občini Luče, ki se je sprožil 4. avgusta 2023 med obsežnim padavinskim dogodkom leta 2023. Plaz Jelen je bil prepoznan kot eden nevarnejših plazov za prebivalce in infrastrukturo na območju Zgornje Savinjske doline. Raziskava temelji na kombinaciji geomorfološke analize, geološko-inženirskega kartiranja ter satelitskega spremljanja površinskih premikov, s ciljem razumevanja razvoja pobočne nestabilnosti pred sprožitvijo plazov in njegove dinamike po porušitvi.

Ključne besede: geomorfologija, zemeljski plazovi, daljinsko zaznavanje, plaz Jelen

AI digitalizacija geoloških profilov v eVrtinah in njihova uporabnost za pripravo geoloških modelov

Andrej Lapanje¹, Nina Rman¹, David Gerčar¹, Mitja Janža¹, Nika Pišek Szilich¹, Blaž Bahar¹, Hawkar Ali Abdulhaq²

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

²LLM for Impact B.V, Fluwelen Burgwal 58, 2511 CJ Den Haag, Nizozemska

Za izdelavo 3D geološkega in matematičnega modela aluvialnega vodonosnika Murske kotline smo s pomočjo umetne inteligence (UI) strojno prebrali in klasificirali vse dostopne geološke popise vrtin (2800+) izbranega Vodnega telesa podzemne vode Murska kotlina (SIVTPODV4016) iz arhiva Geološkega zavoda Slovenije.

Iz predloženih .PDF formatov (skenirani rokopisi, stratigrafski stolpci in tehnične skice) smo z uporabo umetne inteligence prepoznali in izločili ciljna podatkovna polja, katera smo enotno preslikali v izhodni digitalni zapis. Le-ta ima strukturirano podatkovno shemo s prečiščenim in strukturiranim naborom podatkov, ki vsebuje globinske litološke intervale, surov litološki opis posameznega intervala in stratigrafsko starost.

Z razčlenjevanjem in potrjevanjem različnih logičnih preverjanj smo očistili in standardizirali besedilo ter odstranili podvajanja, napake ali dodali manjkajoče vrednosti. Na podlagi izluščenega besedila litoloških opisov stratigrafskih stolpcev vrtin smo s pomočjo velikega jezikovnega modela (VJM, angl. LLM) izpeljali standardizacijo litoloških opisov posameznega intervala (standardiziranega opisa materiala v kratki obliki) in petrološke klasifikacije (standardizirane kategorije materiala, povezane z naročnikovim uradnim klasifikacijskim sistemom). Vsak rezultat je opremljen z oznako, ki izraža stopnjo zaupanja v pravilnost standardizacije in razvrstitve.

Branje in izpeljava klasifikacije je bila izvedena v več korakih z ročno kontrolo kakovosti na testnem nizu vrtin in dopolnjevanjem nabora logičnih preverjanj.

Dolgoročni cilj tega pristopa je digitalizirati podatke, ki so javnosti na voljo v Pregledovalniku vrtin eVrtina. Končni cilji Geo-AI projekta pa so (i) izdelati 3D geološki model podlage aluvialnega vodonosnika Murske kotline, (ii) določiti heterogenost znotraj kvartarnih zaporedij in (iii) vzpostaviti semi-avtomatiziran sistem zveznih posodobitev geološkega modela z novo pridobljenimi podatki. To bo osnova vzpostavitvi in rednim posodobitvam matematičnega hidrogeološkega modela aluvialnega vodonosnika Murske kotline.

Raziskava se izvaja v okviru ARIS projekta GeoAI (GC-0006) in dela programskih skupin P1-0020 (Podzemne vode in geokemija) in P1-0011 (Regionalna geologija).

Ključne besede: Murska kotlina, profil vrtine, LLM, UI, digitalni dvojček, geomodeliranje, kvartar

Digitalni podatkovni model hidrogeološke karte za območje Krško – Brežice

Lidija Levičnik¹, Nina Mali¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Podatkovni model GIS hidrogeološke karte Krško–Brežice predstavlja digitalno organizirano zbirko geoloških in hidrogeoloških prostorskih podatkov, namenjeno učinkovitemu prikazovanju, analiziranju, dopolnjevanju in izmenjavi informacij. Hidrogeološka karta je pomembna aplikativna nadgradnja osnovne geološke karte in predstavlja strokovno podlago za upravljanje podzemnih voda, naravnih virov in prostora. Model je izdelan v okolju ESRI in organiziran v prostorski bazi ArcCatalog. Obsega 24 prostorskih objektov, razdeljenih v tri tematske sklope: geologijo z 11 prostorskimi objekti, hidrogeologijo z 12 objekti in obseg z enim prostorskim objektom. Vključuje prostorske, opisne in merilne podatke, ki so medsebojno povezani ter omogočajo prekrivanje različnih podatkovnih slojev in izvajanje prostorskih analiz.

Podatkovni model je zasnovan skladno z načeli direktive INSPIRE, kar zagotavlja standardizacijo, večnamensko uporabo ter boljšo dostopnost in izmenljivost prostorskih informacij. Posamezni prostorski elementi imajo določene attribute in kartografske kode, usklajene s standardi Geološkega zavoda Slovenije. Za vse podatke so izdelani tudi metapodatkovni opisi, ki omogočajo lažje iskanje, razumevanje izvora in uporabo podatkov. Digitalni model omogoča hitro posodabljanje, povezovanje in prenos podatkov v druga programska okolja. Namenjen je pripravi strokovnih podlag za upravljanje podzemnih voda, prostorsko načrtovanje, trajnostno gospodarjenje z naravnimi viri, varstvo okolja ter podporo odločanju na lokalni, regionalni in državni ravni.

Raziskava se izvaja v okviru ARIS projekta GeoAI (GC-0006) in dela programskih skupin P1-0020 (Podzemne vode in geokemija) in P1-0011 (Regionalna geologija).

Ključne besede: GIS (Geografski informacijski sistem), digitalni podatkovni model, hidrogeološka karta

Vodozadrževalne lastnosti zemljin na pilotnih lokacijah projekta ExtremEarth

Matej Maček¹, Jasna Smolar¹, Boštjan Pulko¹, Luka Žvokelj², Nejc Golob², Vesna Zupanc², Mateja Jemec Auflič³

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za geotehniko, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Univerza v Ljubljani, Biotehniška Fakulteta, Oddelek za agronomijo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

³Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Projekt ExtremEarth (ARIS, J7-60124) obravnava celostni pristop k preučevanju vplivov ekstremnih vremenskih dogodkov na procese na Zemljinem površju. Del projekta je preučevanje vplivov padavin na pojavljanje plitvih zemeljskih plazov s poudarkom na raziskovanju in razumevanju sprožilnih dejavnikov. Pri tem imajo pomembno vodozadrževalne lastnosti tal, saj določajo spreminjanje vodnih tlakov med padavinskimi dogodki.

Zaradi infiltracije vode se v tleh povečuje volumen vode, sukcija oziroma negativni tlak porne vode pa se zmanjšuje. V zasičeni zemljini je sukcija nična, nadaljnja infiltracija vode pa povzroči naraščanje tlaka porne vode. Naraščanje tlakov porne vode zmanjšuje efektivne napetosti v tleh in posledično strižno trdnost zemljine. V neugodnih geoloških in geomorfoloških pogojih lahko to privede do sprožitve zemeljskega plazua. Razumevanje spreminjanja tlakov porne vode med padavinskimi dogodki je zato ključno za ocenjevanje stabilnosti pobočij ter določanje kritičnih pogojev, pri katerih lahko pride do plazenja. V sklopu projekta smo izbrali tri pilotna območja, na katerih so bili v preteklosti evidentirani plitvi zemeljski plazovi oziroma so zaradi geoloških razmer prepoznana kot potencialno ogrožena: Spodnje Javorje, Spodnje Izlake in Volča. Na pilotnih območjih smo izvedli raziskovalne jaške, odvzeli vzorce zemljin in v enega izmed jaškov na vsakem območju vgradili merilnike sukcije in volumetrične vlage. Na vzorcih zemljin smo v laboratoriju izmerili retencijske krivulje, oziroma krivuljo vodozadrževalnih lastnosti, z metodo evaporacije (HYPROP) in rosišča (WP4-T).

Prvi rezultati kažejo, da so retencijske krivulje, izmerjene na terenu in v laboratoriju v fazi sušenja zemljin, na splošno primerljive. Na območju sukcije do 100 kPa meritve na terenu izkazujejo manjše spremembe vlage kot laboratorijske. To lahko pripišemo predpostavki ničnih volumenskih sprememb pri vrednotenju laboratorijskih preiskav in različnemu napetostnemu stanju. Manjša odstopanja so lahko tudi posledica različne začetne suhe gostote zemljin in vpliva porušitve okolne zemljine zaradi vgradnje merilnikov. Rezultati predstavljajo vhodni podatek za račun toka vode v tleh in za napovedovanje časovno pogojene stabilnosti pobočij.

Ključne besede: plaz, sukcija, retencijska krivulja

Karakterizacija organske snovi v karnijskih karbonatnih plasteh na Drenovem Griču in Liburnijski formaciji na Krasu

Neža Malenšek Andolšek¹, Miloš Markič¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Karakterizacija organske snovi v sedimentnih kamninah je pomembna za razumevanje izvora organske snovi, sedimentacijskega okolja in potenciala za nastanek ogljikovodikov. Po svetu poznamo številne primere kamnin, ki vsebujejo prevladujočo, pomembno, značilno ali le pojavno vsebnost organske snovi. Takšne kamnine najdemo tudi v Sloveniji, vendar doslej niso bile podrobno organsko-petrološko raziskane. Mednje sodijo tudi karnijske karbonatne plasti Drenovega Griča in Liburnijska formacija na Krasu, ki vsebujeta organsko snov v različnih deležih.

V raziskavo je bilo vključenih 38 vzorcev karnijskih karbonatnih kamnin in 117 vzorcev Liburnijske formacije z namenom karakterizacije organske snovi in izboljšanja poznavanja sedimentacijskega okolja. V vzorcih so bile določene vsebnosti skupnega organskega ogljika (TOC), vrednosti Rock-Eval pirolize, maceralna sestava, odsevnost vitrinita, indeks termičnega spreminjanja (TAI), fluorescenca ter biomarkerji. Na podlagi teh parametrov je mogoče določiti vrsto in izvor organske snovi, njeno termično zrelost ter kakovost organske snovi in potencial za nastanek ogljikovodikov. Prav tako lahko določimo redoks pogoje, ki so vladali v času odložitve sedimenta.

Rezultati kažejo, da je organska snov v obeh obravnavanih enotah predvsem kopenskega izvora, s prevladujočim kerogenom tipa III (vitrinitom) in prispevkom morskega detritusa. Karnijske karbonatne plasti vsebujejo v povprečju 0,7 ut.% skupnega organskega ogljika, kar kaže na dobro izvorno kamnino iz katere bi lahko ob ustreznih pogojih nastajali ogljikovodiki. Vendar je organska snov termično prezrela (>3 %RO), zato kamnine nimajo potenciala za nastanek tekočih ogljikovodikov. Možen bi bil le omejen nastanek termogenega suhega plina. Nasprotno pa organska snov v Liburnijski formaciji dosega ustrezno termično zrelost za nastanek nafte (~1 %RO), vendar vsebuje bistveno manj organske snovi (v povprečju 0,12 ut.%), zato prav tako predstavlja slabo izvorno kamnino. Kljub lokalno ugodnim pogojem nobena od obravnavanih enot ne predstavlja učinkovite izvirne kamnine.

Ključne besede: organska snov, organska petrografija, skupni organski ogljik, Rock-Eval piroliza, macerali, termična zrelost, odsevnost vitrinite

Vloga nezasičene cone pri transportu mikroplastike do podzemne vode

Nina Mali¹, Manca Kovač Viršek^{1,2}, Elvira Colmenarejo Calero¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Nacionalni inštitut za biologijo, Večna pot 121, 1000 Ljubljana, Slovenija

Mikroplastika je prepoznana kot novodobno onesnaževalo tudi v podzemni vodi, vendar procesi njenega transporta skozi nezasičeno cono še niso dovolj raziskani. Večina dosedanjega znanja temelji na laboratorijskih kolonah, ki ne zajamejo kompleksnih hidroloških in geokemijskih razmer v naravnem okolju. Posledično je razumevanje transportnih poti mikroplastike do podzemne vode še vedno omejeno, kar otežuje zanesljivo oceno ranljivosti vodonosnikov.

V okviru projekta GWMicroPlast je bil vzpostavljen terenski lizimetrski poskus za raziskovanje transporta mikroplastike v naravnih razmerah. Štirje lizimetri so bili napolnjeni z dobro opredeljenimi prodnimi sedimenti, značilnimi za medzrnske vodonosnike. Kot sledila mikroplastičnih delcev so bili uporabljeni polipropilenski delci različnih morfologij (kroglice, fragmenti in vlakna), skupaj z devterijem ($\delta^2\text{H}$) kot konservativnim sledilom toka vode. Takšen pristop omogoča neposredno primerjavo transporta vode in transporta delcev v istem sistemu.

Prvi rezultati kažejo, da transport mikroplastike ne sledi neposredno transportu vode. V primerjavi z devterijevim je preboj mikroplastike zakasnen in bolj razpršen, kar kaže na zadrževanje delcev v sedimentu nezasičene cone. Opažene so tudi razlike v mobilnosti med posameznimi oblikami delcev, pri čemer preliminarni rezultati nakazujejo večjo mobilnost kroglic v primerjavi s fragmenti in vlakni. Pomemben dejavnik transporta predstavljajo tudi padavinski dogodki, saj se pojavljajo pulzni izpusti predhodno zadržanih delcev ob intenzivnejšem pronicanju vode.

Rezultati potrjujejo, da nezasičena cona ni zgolj prehod med površjem in podzemno vodo, temveč predstavlja pomembno kontrolno cono, v kateri potekajo procesi zadrževanja, zakasnitve in ponovne mobilizacije delcev. Razumevanje teh procesov je ključno za oceno ranljivosti vodonosnikov, načrtovanje monitoringa in prihodnje ocene tveganja za vire pitne vode.

Ključne besede: mikroplastika, nezasičena cona, podzemna voda, sledilni poskus, lizimeter, transport onesnaževal, GWMicroPlast

Dejavniki, ki nadzorujejo nastajanje kompleksnih rudnih formacij v metasomatsko spremenjenih Ultrabazičnih masivih Srednje-dneprskega megabloka Ukrajinskega ščita

Maryna Malova¹, Maryna Ruzina², Svitlana Koval²

¹IRGO consulting d.o.o., Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana, Slovenija

²National Technical University "Dnipro Polytechnic", 19 Karla Marksa Ave, NMU bld 1, 49600 Dnipro, Ukrajina

Srednje-Dneprski megablok Ukrajinskega ščita predstavlja obsežno granitno-zelenokamninsko območje (ang. greenstone belt) arhajske starosti. Na njegovem območju je bilo opredeljenih enajst zelenokamninskih pasov (ZKS), s katerimi so povezana nahajališča in pojavi železovih rud, plemenitih in redkih kovin, bakra, kobalta, surovin magnezija ter krizotilnega azbesta. Petrologija in rudonosni potencial geoloških formacij Srednje-Dneprskega megabloka sta bila raziskana neenakomerno, predvsem glede ocenjevanja možnosti izkoriščanja železorumnih območij.

V razmerah vojne in povojne obnove je za Ukrajino eno ključnih vprašanj na področju mineralnih surovin zagotavljanje materiala za proizvodnjo magnezitnih ognjevarnih izdelkov za metalurško industrijo. Ker Ukrajina nima klasičnih nahajališč magnezita, bi lahko proizvodnja aktivnega magnezijevega oksida iz serpentinitov ultrabazičnih masivov Srednje-Dneprskega megabloka predstavljala pomemben alternativni vir visokokakovostnih magnezijevih surovin. Serpentinitni masivi so perspektivni tudi zaradi spremljajoče kompleksne mineralizacije, ki vključuje krizotilni azbest, magnezijeve surovine, nikelj, kobalt, baker in plemenite kovine. Ta mineralizacija je povezana z območji metasomatskih preobrazb ultrabazičnih kamnin. V prispevku bo analizirana vloga geoloških dejavnikov pri nastanku kompleksnih rudnih formacij v metasomatsko spremenjenih ultrabazičnih masivih Srednje-Dneprskega megabloka. Ugotovljeno je bilo, da se magnezijeva nahajališča pogosteje pojavljajo na območjih, kjer se križa več globokih prelomov. Ta zakonitost se lahko uporablja ne le kot dejavnik nadzora rudonosnosti, temveč tudi kot pomembno raziskovalno merilo pri iskanju različnih vrst mineralnih surovin, zlasti nekovinskih magnezijevih surovin. Prostorsko prekrivanje različnih metasomatskih procesov na območju sekanja globokih prelomov ima dvojni vpliv na procese nastajanja rud. Po eni strani omogoča razvoj kompleksne mineralizacije plemenitih kovin, bakrovo-kobaltove mineralizacije z zlatom in antimonovo-arzenovo-cinkove mineralizacije. Po drugi strani povzroča znižanje koncentracij koristnih komponent in poslabšanje kakovosti rud, nastalih v zgodnejših fazah metasomatskih procesov, kot sta nadomeščanje kromita z magnetitom med serpentinizacijo ultrabazitov in uničenje krizotilnega azbesta med poznejšo talkizacijo. Predstavljene zakonitosti utemeljujejo potrebo po nadaljnjih raziskavah, namenjenih oblikovanju zanesljivih meril za ocenjevanje ohranjenosti rudnih formacij na območjih globokih prelomov.

Ključne besede: Ultrabazični masivi, Ukrajinski ščit, Srednjedneprski megablok, serpentinitni masivi, magnezijeve surovine, kompleksna mineralizacija, globoki prelomi

Ostrakodna bioconska razčlenitev zgornjemiocenskih sedimentov vzhodne Slovenije

Miha Marinšek¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Uporaba ostrakodov v biostratigrafiji sega v prvo polovico 19. stoletja v poznejših delih pa so se uveljavili zlasti kot regionalno omejeni starostni markerji

Zabeležil sem zvezno pojavljanje ostrakodov v Laški, Drnovski in Bizeljski formaciji profila Imenska Gorca (Kozjansko) in profila Bizeljsko (Bizeljsko), medtem ko so ostrakodi v Selškem členu Špiljske formacije, ter v Lendavski in Murski formaciji na območju Slovenskih goric prisotni zgolj v posamičnih vzorcih. Pri določitvi starosti sem se skliceval na bioconacijo, katero so predstavljali Krstič, Jiříček in Sokač, vendar sem v večini uporabil bioconacijo, katero je predstavljal Jiříček, saj je avtor povzel predhodno določeno bioconacijo, poznejši avtorji pa so povzeli bioconacijsko razdelitev po njem. Biocone, uporabljene v teh delih so klasificirane kot biocone združb (assemblage biozone).

V profilu Imenska Gorca sem ločil štiri ostrakodne biocone:

- *Carinocythereis carinata* – *Phlyctenophora farkasi* NO-10 biocona (zgornji badenij).
- *Cytheridea hungarica* – *Aurila mehesi* NO-11 biocona (spodnji sarmatij).
- *Hemicytheria prisca* (NO-20?) biocona (zgornji panonij).
- *Pontoniella truncata* podcona del *Bakunella dorsarcuata* (NO-21) biocone (zgornji del zgornjega panonija).

V profilu Bizeljsko sem določil dve ostrakodni bioconi:

- *Acanthocythereis hystrix* – *Bythocypris lucida* NO-7 biocono (spodnji badenij).
- *Camptocypris flectimarginata* podcona je del *Bakunella dorsarcuata* (NO-21) biocone (zgornji del zgornjega panonija).

Ključne besede: Paratetida, miocen, biostratigrafija, biocona, ostrakodi

Radiocarbon dating of moonmilk deposits in Slovenian caves

Andrea Martín-Pérez¹, Vanessa E. Johnston², Adrijan Košir¹

¹ZRC SAZU, Ivan Rakovec Institute of Palaeontology, Novi trg 2, 1000, Ljubljana, Slovenia

²ZRC SAZU, Karst Research Institute, Titov trg 2, 6230, Postojna, Slovenia

In the caves Košelevka, Snežna jama and Potočka Zijalka in Slovenia, calcite moonmilk speleothems are very abundant and display several textures, from water-saturated, seemingly active calcite-precipitating deposits to crumbly, dry coatings and lithified/cemented/harden inactive deposits.

To evaluate their age and understand the rates and mechanisms of growth, several moonmilk samples have been dated by radiocarbon analysis.

Results show ^{14}C ages varying from 7560 $\pm$ 30 cal. years BP to post-nuclear bomb, confirming that some of the speleothems are very young. However, values older than expected have also been obtained in saturated, active moonmilk deposits. The validity of the radiocarbon dating method for moonmilk speleothems is discussed, analysing all the factors involved, from the role of the “dead” carbon fraction when dating carbonate samples, to sample preparation and, most importantly, the inherent properties of moonmilk such as large porosity and its non-accretionary growth.

This is a contribution of the project J1-50028 “Exploring the potential of moonmilk speleothems as archives of palaeo-environmental information”, financed by the Slovenian Research and Innovation Agency (ARIS).

Key words: speleothems, ^{14}C , diagenesis

Uporaba FloodWatch na terenu: prva ocena

Cyril Mayaud^{1,2}, Žan Kafol^{1,3}, Žiga Kokalj^{4,5,6}, Jaroslav Obu^{1,2}

¹ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje krasa, Titov trg 2, 6230 Postojna, Slovenija

²Univerza v Novi Gorici, UNESCO Chair on Karst Education, Vipavska 13, 5000 Nova Gorica, Slovenija

³Kafol.net, Žan Kafol s.p., Pivška ulica 2, 6230 Postojna, Slovenija

⁴ZRC SAZU, Inštitut za antropološke in prostorske študije, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenia

⁵Podiplomska šola ZRC SAZU, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenia

⁶University of Vienna, Franz-Kleingasse 1, 1190 Wien, Avstrija

To delo predstavlja prvo oceno uporabe mobilne aplikacije za državljansko znanost FloodWatch na terenu. Aplikacija je bila uradno izdana novembra 2025 in je namenjena merjenju dinamike poplav na kraških poljih in presihajočih jezerih z uporabo preprostega pametnega telefona. Od izdaje se FloodWatch uporablja za spremljanje dinamike gladine vode v Zgornji Pivški dolini med dvema poplavama. Prva poplava se je osredotočila na zajemanje dinamike poplav presihajočega jezera Petelinjsko jezero. Med drugim dogodkom so bile poplave presihajočih jezer Petelinjsko, Parsko in Palško jezero v celoti spremljane. V obeh primerih so bile gladine vode, izmerjene z aplikacijo, primerjane z gladinami vode, ki so jih spremljale avtomatske postaje, nameščene v vsakem jezeru. Rezultati so pokazali, da lahko FloodWatch natančno zajame dinamiko poplav, če uporabnik med vsakim terenskim izletom opravi nekaj meritev vzdolž obale jezera. Zahvaljujoč promocijski kampanji, ki je vključevala več intervjujev na različnih regionalnih in nacionalnih slovenskih radijskih postajah, časopisih in televizijah, ter intenzivnemu oglaševanju na družbenih omrežjih, ima FloodWatch zdaj 200 registriranih uporabnikov. Približno četrtina jih je že opravila eno meritev. To je omogočilo pridobitev podatkov o gladini vode 13 od 17 Pivških presihajočih jezer med zadnjo poplavo v dolini. Aplikacija ima zato potencial, da postane najsodobnejše orodje, ki ga bodo uporabljale tako znanstvene

kot javne skupnosti, s čimer bi se povečal potencial za zbiranje podatkov s polj in presihajočih jezer, ki nimajo avtomatskega nadzornega omrežja.

Ključne besede: kraška območja, poplave, državljanska znanost, mobilna aplikacija, FloodWatch

Holocenska dinamika sedimentacije vršaja Hlačevke (dolina Raše, JZ Slovenija) v povezavi s podnebnimi spremembami in potresno aktivnostjo

Eva Mencin Gale¹, Petra Jamšek Rupnik¹, Ana Novak¹, Jernej Jež¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Dolina Raše na SV robu Krasa ohranja geomorfološke in sedimentološke zapise povezane s holocensko dinamiko sedimentacije. V okviru paleoseizmoloških raziskav na Raškem prelomu smo analizirali holocenska sedimentacijska zaporedja, ki odražajo preplet vpliva podnebnih nihanj in potresne aktivnosti. Na lokaciji Hlačevka pri Kobdilju smo izvedli geomorfološko kartiranje, s pomočjo katerega smo identificirali različne geomorfološke oblike, ter izvedli raziskovalni izkop, v katerem smo s pomočjo popisa sedimentov izdvojili več enot in jih radiokarbonsko datirali. Geomorfologija površja ter zaporedje sedimentov nakazuje na dinamično izmenjavanje fluvialne sedimentacije vzdolž doline Raše ter odlaganja sedimentov na aluvialnih vršajih ob vznožju stranskih grap. Interpretacija in časovna opredelitev sedimentacijskih dogodkov je pokazala povezavo z globalno in regionalno prepoznanimi podnebnimi nihanji v holocenu. Najstarejši del raziskovanega zaporedja predstavljajo fluvialni sedimenti datirani na približno 19.000 let BP (tj. pred letom 1950), kar nakazuje na sedimentacijo v poznem glacialu. Sledi sedimentacija na aluvialnem vršaju, kjer so oglja datirana med 11.700 in 8300 let BP, kar ustreza toplemu obdobju na začetku holocena, ki ga prekine izrazito hladno obdobje pred 8200 leti. Nadalje je ohranjena enota aluvialnih sedimentov starih med 3200 in 2800 BP, ki ustreza hladnejšemu obdobju, sovпада pa tudi s predzadnjim potresom na Raškem prelomu, identificiranim v tem izkopu, tj. s premeščanjem povečane količine nesprijetega sedimenta mobiliziranega ob potresu. Sledi enota z razvojem paleotal z datacijami oglja med 1100–700 let BP, kar generalno sovпада s srednjeveškim toplim obdobjem ter povečano pogostostjo požarov. Zaporedje se zaključi z enoto sedimentov mlajših od 700 BP, ki odražajo večjo aktivacijo odlaganja sedimentov na vršaju v času male ledene dobe, sovpadajo pa tudi z zadnjim potresom na Raškem prelomu identificiranim na lokaciji gorvodno. Rezultati kažejo, da je sedimentacija v dolini Raše močno odvisna od podnebnih nihanj in potresne aktivnosti, pri čemer hladnejša obdobja in močni potresi sprožajo povečano mobilizacijo in odlaganje sedimentov.

Ključne besede: Raša, holocen, podnebne spremembe, potresna aktivnost, geomorfologija, sedimentologija, radiokarbonsko datiranje

Petrografske, mineraloške in geokemične lastnosti oligocenskih in miocenskih vulkanoklastičnih kamnin vzhodne Slovenije: preliminarni rezultati

Lara Mencinger¹, Kristina Ivančič¹, Mirijam Vrabec²

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva ulica 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

Oligocenske in miocenske vulkanoklastične kamnine se pojavljajo na širšem območju Panonskega bazena v vzhodni in severovzhodni Sloveniji. Kljub njihovi razširjenosti so bile doslej razmeroma slabo raziskane, zato je naša raziskava usmerjena v njihovo podrobno preučevanje. Skupno smo analizirali 38 vzorcev z 19 lokacij oligocenske in miocenske starosti: 15 vzorcev Ol2 iz vzhodne in severovzhodne Slovenije (vključno s 6 vzorci z območja Radovljice), 17 vzorcev Ol/Mc s Kozjanskega ter 6 vzorcev iz Mursko-Zalskega bazena in Ribniško-Selniškega bazena (Štajerski bazen).

Uporabljene analitske metode vključujejo optično mikroskopijo, rentgensko praškovo difrakcijo (XRD) in induktivno sklopljeno plazemsko masno spektrometrijo (ICP-MS). Petrografska analiza zbruskov je pokazala prevladujočo kriptokristalno osnovo z vtrošniki plagioklazov, K-glinencev, kremena in neprosojnih mineralov. Na podlagi teksture in mineralne sestave smo vzorce razdelili v sedem skupin: vitrični tuf (6 vzorcev), kristalo-vitrični tuf (14 vzorcev), litično-kristalo-vitrični tuf (1 vzorec), lava (4 vzorci), hialoklastit (2 vzorca), peperit (6 vzorcev) in tufit (2 vzorca).

Preliminarni rezultati XRD analiz kažejo na variabilno sestavo plagioklazov (albit, andezin, anortit, oligoklaz) ter K-glinencev (ortoklaz, sanidin). Sekundarne spremembe vključujejo zeolitizacijo, karbonatizacijo, sericitizacijo, kloritizacijo in transformacijo v glinene minerale, med katerimi prevladujejo vermikulit, klinoklor in montmorilonit. Med zeoliti sta najpogostejša analkim in klinoptilolit.

Geokemična klasifikacija kaže, da večina vzorcev ustreza riolitom, dacitom in riodacitom, posamezni vzorci pa andezitom, trahiandezitom in alkalnim bazaltom. Diskriminatorni diagrami (Th/Ta proti Yb; Th/Yb proti Ta/Yb) nakazujejo nastanek v okolju aktivnega kontinentalnega roba. Primerjava nekompatibilnih prvin kaže podobnosti s kamninami iz Madžarske, Slovaške in Hrvaške. ACNK diagram kaže, da na vzorce niso vplivali le procesi kemičnega preperevanja, temveč tudi drugi mehanizmi, npr. hidrotermalni alteraciji.

Raziskavo je financirala Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) v okviru programa »Mladi raziskovalci« (št. 115-0439) ter raziskovalnega programa »Mineralne surovine« (programsko financiranje št. P1-0025).

Ključne besede: vulkanoklastične kamnine, geokemija, mineralogija, petrografija, Panonski bazen, oligocen, miocen

Sedimentacijski model reliktna jame Malo Sošje (Logaška planota)

Primož Miklavc¹, Matej Dolenc¹, Andrej Šmuc¹

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva ulica 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

Reliktne jamske sedimente predstavljajo pomemben arhiv za rekonstrukcijo paleohidroloških procesov v kraških sistemih, vendar je iz območja Logaške planote objavljeno le omejeno število raziskav tovrstnih sedimentnih zapisov. V raziskavi predstavljamo prvo podrobno sedimentološko analizo reliktna jame Malo Sošje, opuščenega jamskega kanala na zahodnem delu Logaške planote, ki je bil odkrit ob širitvi industrijske cone Logatec. V jamskem zaporedju smo prepoznali šest sedimentnih enot, omejenih z erozijskimi površinami, ki odražajo zaporedne poplavne dogodke in razvoj erozijsko-akumulacijskih sekvenc. Zaporedje faciesov kaže prehod od visokoenergijskih tokov, ki so odlagali grobozrnate peščene sedimente, proti nizkoenergijskim razmeram, v katerih prevladujejo meljasti sedimenti. Granulometrične analize drobnozrnatih sedimentov nakazujejo izmenjevanje sedimentacije iz suspenzije ter kombinirane sedimentacije iz suspenzije in vlečnih tokov. Prepoznani faciesi odražajo večfazni sedimentacijski model, v katerem posamezni poplavni dogodki vključujejo začetno erozijsko fazo, odlaganje sedimentov pri spreminjajoči se energiji toka ter končno sedimentacijo drobnozrnatega materiala v umirjenih razmerah. Na podlagi sedimentoloških značilnosti predlagamo model, po katerem je jamski kanal med poplavnimi dogodki občasno deloval kot epifreatični prelivni kanal, kasneje pa je bil opuščen zaradi znižanja vodne gladine, tektonskega dviga ali zamašitve prevodnih poti. Primerjava z današnjo podzemno hidrodinamiko na Logaški planoti kaže izrazite podobnosti, kar nakazuje, da je tako reliktni kot aktivni jamski sistem deloval po sorodnih, poplavno pogojenih hidrodinamskih mehanizmi. Raziskava potrjuje pomen reliktnih jam kot ključnih paleookoljskih arhivov za razumevanje dolgoročnega razvoja večnivojskih kraških sistemov.

Ključne besede: kras, reliktna jama, klastični sedimenti, faciesi, sedimentacijski model

Značilnosti in izvor suspendiranih delcev v zraku v Postojnski jami - Characteristics and sources of suspended particulate matter in the Postojna Cave

Miloš Miler¹, Nina Zupančič^{2,3}, Simona Jarc², Stanka Šebela⁴

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, Slovenija

²Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, Ljubljana, Slovenija

³ZRC SAZU, Paleontološki inštitut Ivana Rakovca, Novi trg 2, Ljubljana, Slovenija

⁴ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje krasi, Titov trg 2, 6230 Postojna, Slovenija

Postojnska jama je najbolj obiskana turistična jama v Sloveniji. Obiskovalci in ostale turistične aktivnosti lahko povzročajo ne-trajnostne vplive na jamsko okolje. V Pisanem rovu v bližini močno obiskanega turističnega rova in v turistično manj obremenjeni Črni jami smo poleti in pozimi 7 dni z Grimm 1.109 OPC vzorčili in merili koncentracije suspendiranih delcev v zraku PM₁₀, PM_{2.5} in PM₁. Namen je bil določiti izvor PM glede na način ventilacije. Meritve so pokazale višje koncentracije PM pozimi kot poleti na obeh mestih, hkrati ima Črna jama višje koncentracije kot Pisani rov. Koncentracije PM so pogojene s tipom jamske ventilacije.

Analize posameznih delcev s SEM/EDS so pokazale, da so pozimi za PM v Pisanem rovu značilne Fe-faze in (Ca,Mg)-karbonati. Za Črno jamo so značilni (Na,Ca,Mg)-sulfati, C-faze in nekateri alumosilikati. Na obeh mestih smo v različnih količinah določili sferične in ne-sferične Fe-oksihidrokside, značilne za zimske emisije. Splošna sestava faz je pozimi različna na obeh mestih, kar kaže na različen izvor/različne transportne poti.

Poleti so (Cu,Zn,Cr,Ni)-faze in Ti-oksidi bolj značilni za Pisani rov. (Ca,Mg)-karbonati, C-faze, Pb, Pt-Rh-zlitine, Ag-sulfid in Ti-sulfat s (Cu,Fe) so bolj značilni za Črno jamo. Na obeh mestih smo našli (Ca,Mg)-karbonate, C-faze, (Cu,Zn,Cr,Ni)-faze, K-faze, Mg-Fe-alumosilikate, Mn-sulfate s K, Pb in Pt-Rh-zlitine, značilne za poletne emisije. V poletnih vzorcih smo našli veliko faz na obeh vzorčnih mestih, kar kaže na podoben izvor.

Ugotovitve potrjujejo, da sezonska ventilacija v jami vpliva na transport in vire PM Postojnske jame. Z zimsko ventilacijo pridejo v jamo zunanji delci in delci zaradi gradbenih del v vhodnih delih jame, s poletno pa se prenašajo delci iz notranjosti jame. Prašenje zaradi obnovitvenih del v jami bi v bodoče morali v času zimske ventilacije močno omejiti in v primeru del organizirati omilitvene ukrepe (začasne pregrade/zavesi) za preprečitev prenašanja ne-jamskih delcev v globlje dele in vzdrževanje trajnostne rabe jame.

Ključne besede: merjenje PM, analiza posameznih delcev, SEM/EDS, Postojnska jama, Slovenija

Vloga mineraloških, pedoloških in geokemičnih lastnosti vinogradniških tal v konceptu terroirja – preliminarni rezultati

Magdalena Mirt^{1,2}, Martin Gaberšek¹, Rok Brajkovič¹, Katja Šuklje Antalick³

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000, Ljubljana, Slovenija

²Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, 1000, Ljubljana, Slovenija

³Kmetijski inštitut Slovenije, Hacquetova ulica 17, 1000 Ljubljana, Slovenija

Koncept terroirja lahko opišemo kot preplet geogenih in antropogenih dejavnikov, ki vplivajo na tipičnost in kakovost vina določenega geografskega območja. Med geogene dejavnike terroirja sodijo litološka zgradba, hidrogeološke, geomorfološke, pedološke in podnebne značilnosti, medtem ko antropogeni dejavniki vključujejo specifične tehnike upravljanja vinogradov in postopke vinifikacije.

Mineraloške, pedološke in geokemične značilnosti vinogradniških tal sodijo med ključne dejavnike terroirja. Za celovitejše razumevanje vpliva omenjenih značilnosti na lastnosti vina smo izvedli raziskavo v sedmih slovenskih vinogradih, zasajenih s sorto modra frankinja in različno litološko podlago. V vsakem vinogradu smo izkopali pet talnih profilov do globine 65 cm. Vzorci tal so bili odvzeti iz treh globin: 0–20 cm, 20–40 cm in 40–60 cm. Skupno smo odvzeli 105 vzorcev. Določili smo mineraloško sestavo, pedološke lastnosti (pH, tekstura tal, vsebnost rastlinam dostopnega fosforja in kalija, skupni dušik, delež organske snovi ter karbonatov, kationska izmenjevalna kapaciteta) ter koncentracije 63 kemičnih elementov.

Mineraloška sestava se med vinogradi ne razlikuje bistveno. Povsod pričakovano prevladujejo kremen in glineni minerali, le v vinogradu Vinji Vrh (edini vinograd na Govški formaciji) sta dodatno prisotna še kalcit in aragonit. Ugotovili smo statistično značilne razlike med tlemi posameznih vinogradov za več pedoloških in geokemičnih parametrov, kar odraža kombiniran vpliv geogenih in antropogenih dejavnikov. Geokemična sestava tal, razvitih na podobnih litoloških podlagah, se pričakovano ne razlikuje bistveno. Na primer, tla dveh različnih vinogradov, a z isto litološko podlago (laporovec, apnenčev peščenjak in apnenčeva breča Velikotrnske formacije) se statistično značilno razlikujejo le v vsebnosti barija.

V nadaljevanju bomo mineraloške, pedološke in geokemične podatke povezali z litogeokemičnimi, morfološkimi in podnebnimi značilnostmi ter s senzoričnimi in kemičnimi lastnostmi grozdja ter vina.

Raziskava je bila sofinancirana s strani Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) v okviru raziskovalnega projekta »Poreklo vina: geo-klimatski, mikrobiološki ali človeški konstrukt? Primer slovenskih modrih frankinj« (št. L4-50141).

Ključne besede: tla, terroir, mineralogija, pedologija, geokemija

Otipljiva geologija: sodoben tehnološki pristop k izdelavi reliefnih modelov

Adem Mujanović¹, Amir Čekić², Domen Pucko³, Domen Lapuh⁴, Lidija Korat Bensa^{1*}

¹Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva ulica 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Peršinova cesta 3, 1210 Ljubljana-Šentvid, Slovenija

³Mala Polana 97, 9225 Velika Polana

⁴Plečnikova ulica 7, 2000 Maribor, Slovenija

*predavateljica

Vpeljava 3D-tiska (dodajalne proizvodnje) v proces izdelave reliefnih maket prinaša številne prednosti ter odpira nove možnosti za vizualizacijo prostorskih podatkov. Cilj raziskave je bil razviti metodologijo, ki omogoča natančen prenos digitalnih topografskih podatkov v fizični tridimenzionalni model ob hkratnem zmanjšanju porabe materiala in časa izdelave v primerjavi s tradicionalnimi metodami. Postopek je obsegal pridobivanje in obdelavo digitalnih modelov reliefa (DEM) v programu QGIS, izdelavo in optimizacijo 3D-modelov v programih AutoCAD in Rhinoceros ter pripravo modelov za tisk s tehnologijo Binder Jetting na tiskalniku ZCorp 310+.

Maketi Bosne in Hercegovine ter Slovenije sta bili zasnovani v merilu 1 : 500.000, pri čemer je bila višina projektirana v znatno večjem merilu, in sicer v 1 : 100.000, da bi bila geomorfološka razgibanost reliefa bolje izražena. Zaradi omejene delovne površine tiskalnika sta bila modela razdeljena na modularne segmente dimenzij 17 × 17 cm, ki so bili po tiskanju sestavljeni v enotno celoto. Posebna pozornost je bila namenjena geološki vizualizaciji z uporabo akrilnih barv ter projekcijskemu mapiranju, s katerim se fizični modeli preoblikujejo v interaktivne platforme za prikaz geoloških, topografskih in drugih prostorskih podatkov. Rezultati raziskave potrjujejo, da 3D-tisk predstavlja natančno in ekonomsko učinkovito metodo izdelave reliefnih modelov, ki pomembno nadgrajuje vizualizacijo in interpretacijo podatkov v geologiji, geografiji, prostorskem načrtovanju ter izobraževalnih in znanstvenih procesih.

Ključne besede: 3D-tisk, reliefna maketa, DEM, QGIS, Rhinoceros, Binder Jetting, geološka karta

Aktivnosti GeoZS v okviru Italija-Slovenija Interreg projekta CONCORDIA

Ana Novak¹, Andrej Anžel¹, Jernej Bavdek¹, Gisela Domej¹, Mateja Jemec Auflič¹, Jernej Jež¹, Eva Mencin Gale¹, Maša Mušič¹, Domen Turk¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Geološki zavod Slovenije je projektni partner v projektu CONCORDIA, ki ga sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija. Projekt CONCORDIA »Sodelovalno omrežje za usklajeno oceno vpliva naravnih nesreč« se osredotoča na skupne izzive čezmejne regije med Italijo in Slovenijo, ki izhajajo iz visoke dovzetnosti za potresno aktivnost ter povezane pobočne masne premike. V okviru projekta bo

vzpostavljena gosta mreža cenovno dostopnih pospeškometrov za natančnejše zaznavanje potresov ter GNSS senzorjev za zaznavanje premikov tal, povezanih s plazanjem. Zbrani podatki bodo uporabljeni v naprednih modelih, ki bodo ustvarjali harmonizirane rezultate, kot so čezmejni zemljevidi tresenja v realnem času in prilagojeni scenariji vplivov tresenja na pobočne masne premike. Poleg tega bodo razvite uporabniku prijazne digitalne platforme, ki bodo agencijam za zaščito in reševanje ter drugim deležnikom omogočale takojšen dostop do ključnih podatkov za nemoteno koordinacijo in hiter odziv po potresu. Geološki zavod Slovenije je vključen v večino delovnih paketov, največ aktivnosti pa izvaja v okviru paketa »Krepitev skupne čezmejne infrastrukture za odzivanje na nevarnosti«, kjer vzpostavlja mrežo GNSS enot za merjenje premikov na plazovih Slano blato in Stogovce ter v okviru delovnega sklopa »Celostna ocena nevarnosti in učinkov skalnih podorov in zemeljskih plazov, sproženih ob potresih«, kjer vodi delovni paket.

Ključne besede: Interreg projekt, potresi, podori, plazovi, pobočni masni premiki

Primerjava morfometrične in sedimentološke analize pri opredeljevanju sedimentacijskih procesov na aluvialnih pahljačah v dolini Planice

Andrej Novak¹, Tomislav Popit², Andrej Šmuc²

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

Aluvialne pahljače oziroma vršaji nastajajo z delovanjem različnih sedimentacijskih procesov, na katere vplivajo številni dejavniki, kot so litološka sestava zaledja, morfometrične značilnosti ter podnebne in vremenske razmere. Glavni sedimentacijski procesi so vodni tokovi, hiperkoncentrirani tokovi, drobirske poplave in drobirski tokovi, ki se med seboj razlikujejo po razmerju transportiranega sedimenta in vode ter po uničujočem vplivu na okolje. Na podlagi morfometrije pahljače in njenega zbirnega zaledja (Meltonovega koeficienta, dolžine struge, naklona in velikosti pahljače ter zbirnega zaledja, itd.) se lahko glede na mejne vrednosti morfometričnih parametrov razmeroma zanesljivo opredeli prevladujoči sedimentacijski proces. Pri tem morfometrija ne upošteva litoloških značilnosti zaledne kamnine. Na pahljačah Ciprnik in Rančev graben v dolini Planice smo s podrobnimi sedimentološkimi analizami določili sedimentacijske procese, ki so sodelovali pri njunem nastanku. Rezultate sedimentološke analize smo primerjali z morfometrično opredelitvijo prevladujočega sedimentacijskega procesa. Zaledje pahljače Ciprnik gradi izključno konzensuski dolomit, ki pri preperevanju tvori zelo malo drobnozrnatih delcev (63 μm). V zaledju Rančevega grabna je poleg konzensuskega dolomita prisotna tudi torska formacija, ki pri preperevanju tvori velike količine drobnozrnatih delcev. Obe pahljači imata morfometrične lastnosti, ki jih izrazito uvrščajo v skupino pahljač, ki jih gradijo drobirski tokovi (Meltonova koeficienta 1,03 in 1,25, kratki in strmi vodotoki, povprečni nakloni pahljač 7,7° ter 12,3°). Kljub temu pahljačo Planica gradijo izključno sedimenti konzensuskega dolomita, ki so ga odložile drobirske poplave in

vodni tokovi. V pahljači Rančevega grabna so prav tako prisotni sedimenti drobirskih poplav in vodnih tokov, kot tudi približno 3 m debel paket debrita. Debrit gradijo zrna torske formacije ter konzensusnega dolomita in je omejen s paleotlemi. Datacije paelotal umeščajo odložitev debrita oziroma dogodek drobirskega toka v prvo polovico 17. stoletja (1602-1640). Rezultati kažejo, da zgolj morfometrična opredelitev prevladujočih sedimentacijskih procesov na aluvialnih pahljačah ne zadošča v okoljih, kjer zaledje sestavljajo kamnine, ki pri preperevanju tvorijo le malo drobnozrnatih delcev.

Ključne besede: sedimentologija, morfometrija, aluvialne pahljače, pobočni masni premiki, kvartar

Kaj obeležuje mednarodni dan geopestrosti in kaj se vrednoti z indeksom geodiverzitete

Matevž Novak¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Najbolj pogosto citirana definicija opredeljuje geopestrost (ali geodiverziteto) kot »naravno raznovrstnost geoloških (kamnine, minerali, fosili), geomorfoloških (reliefne oblike, topografija, fizikalni procesi), talnih in hidroloških značilnosti. Vključuje njihove združbe, strukture in sisteme«. Vse definicije vključujejo geološke elemente.

Povod za predlog obeleževanja mednarodnega dneva geopestrosti je bil, da se v družbi poudarja pomen biodiverzitete, geodiverziteta, ki je pogoj zanjo, in je zato njen pomen vsaj enakovreden, je pri tem močno zapostavljena. Zagotavlja številne okoljske dobrine in ekosistemske storitve od naravnih virov, ki so gonilo naše družbe, do tal, na katerih gojimo pridelke; od oblik površja, ki definirajo naše fizično okolje, do narave, ki jo obiskujemo zaradi rekreacije. Je temelj za habitate in delovanje ekosistemov ter ključni element pri evoluciji. Kot član ekspertne skupine Združenja evropskih geoloških zavodov za geološko dediščino se čutim dolžnega, da pomisleke te skupine, in nekaj svojih, o tolmačenju geopestrosti in metodah njenega vrednotenja delim s slovenskimi raziskovalci. Nanašajo se na slovenske raziskave, a podobne prakse najdemo tudi v tujini. Kljub temu, da nekateri slovenski raziskovalci pri poskusih kvantitativnega vrednotenja citirajo definicije geopestrosti, pri njenem vrednotenju ne upoštevajo tako rekoč nobenega geološkega elementa.

Metodologije temeljijo (skoraj izključno) na analizi digitalnih kartografskih slojev, največkrat brez geološkega. Določitev elementov geopestrosti in uporabljeni sloji za izračun indeksa geopestrosti pričajo o tem, da gre za vrednotenje nečesa, kar bi lahko poimenovali pokrajinska pestrost, saj zajema samo reliefne oblike in elemente hidrološke mreže. Uporaba topografske razgibanosti kot približka za geopestrosti daje poenostavljeno predstavo o raznolikosti nežive narave in je zelo posredna ali celo slaba mera resnične geopestrosti.

Poimenovanje tega, kar vrednotijo, z geopestrostjo, ni primerno. Škodi vsemu trudu, ki ga pobudniki uveljavitve te paradigme in obeleževanja mednarodnega dne ter

geoznanstveniki vlagamo v to, da bi naravovarstveniki in tudi družba sploh geopestrosti pripisovali enak pomen kot biološki pestrosti.

Ključne besede: geopestrost, geodiverziteteta, definicija, mednarodni dan geopestrosti

SLO KARST NFO: multidisciplinarni observatorij za raziskave aktivne tektonike v krasu

Uroš Novak¹, Stranka Šebela¹, Magdalena Năpăruș-Aljančič¹

¹ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje krasa, Titov trg 2, 6230 Postojna, Slovenija

Obprelomni observatoriji so sodobna raziskovalna infrastruktura za opazovanje aktivnih prelomnih sistemov kot kompleksnih naravnih sistemov, katerih mehanske, hidrološke in geokemijske lastnosti se spreminjajo v času. Razumevanje potresnega cikla zahteva integracijo visokoločljivih večparametrskih opazovanj. V jugozahodni Sloveniji je bil zato vzpostavljen SLO KARST NFO, namenjen dolgoročnemu spremljanju aktivne tektonike in deformacijskih procesov zakraselih območjih severozahodnih Dinaridov. Observatorij je član evropske skupnosti Near Fault Observatories, tematske storitve raziskovalne infrastrukture EPOS.

Observatorij obsega približno 2000 km² med Postojno, Pivško kotlino, Ilirsko Bistrico, Snežnikom in kraškimi polji na vzhodu. Potresno aktivno območje sestavljajo predvsem zakrasele mezozojske karbonatne kamnine in eocenski fliš. Zaznamujejo ga desnozmčni prelomi dinarske smeri, zlasti Idrijski, Predjamski, Raški in Selški prelom, počasne deformacije 2–4 mm/leto ter šibka do zmerna instrumentalna in močna zgodovinska seizmičnost.

Jedro infrastrukture je sedem potresnih opazovalnic, ki dopolnjujejo državno mrežo in izboljšujejo zaznavanje ter lociranje potresov. V Postojnski jami se spremljajo tudi CO₂, radon, metan, temperatura, zračni tlak in mikropremiki z mrežo TM ekstenzometrov. Trije tiltmetri v Postojnsko-Planinskem jamskem sistemu zaznavajo kvazistatične deformacije in pomagajo ločevati tektonske vplive od hidrološkega obremenjevanja. Hidrogeološke meritve vključujejo dinamiko podzemne vode, temperaturo in električno prevodnost.

Zgostitev mreže izboljšuje zaznavanje šibke seizmičnosti, določanje potresnih parametrov in opredelitev aktivnih prelomov. Integrirani pristop povezuje seizmologijo, deformacije, hidrogeologijo, podzemno mikroklimo in geokemijo ter prispeva k razumevanju potresne nevarnosti.

Podatki mreže so vključeni v FDSN kot S5, drugi produkti pa v evropski prehod FRIDGE. Tokovi sledijo načelom odprte znanosti in FAIR. Razvoj podpirajo projekti RI-SI-EPOS, EPOS ON (HORIZON-EPOS ON-101131592) in TRANSFORM² (HORIZON-TRANSFORM2-101188365), ki krepijo infrastrukturo, storitve, senzorje, avtomatsko zaznavanje potresov, zgodnje opozarjanje in razvoj novih metod. SLO KARST NFO tako povezuje nacionalno infrastrukturo z evropskim sistemom opazovanja trdne Zemlje. Omogoča primerljive,

povezljive in dolgoročno uporabne podatkovne nize za raziskave deformacijskih procesov v kraških predelih Zemljine skorje.

Ključne besede: SLO KARST NFO, obprelomni observatorij, EPOS, aktivna tektonika, kras

Analiza fotogrametričnega 3D modela zgornjetriasnih stopinj pri Godoviču

Patrik Oberstar¹, Marko Vrabec¹, Luka Gale^{1,2}

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Severovzhodno od Godoviča je na zgornji površini ene od plasti norijsko-retijske formacije glavnega dolomita ohranjen niz petih stopinj dvonožne živali, predhodno pripisanih neznani vrsti arhozavra. V okviru raziskave smo odtise podrobneje analizirali, določili velikost živali in hitrost premikanja. Za namen natančne morfološke analize in meritev smo stezo fotogrametrično posneli s tal in z brezpilotnim letalnikom ter v programu AgiSoft Metashape izdelali georeferenciran visokoločljiv digitalni model površja z metodo večslikovne fotogrametrije. Na podlagi modela so bile v programu DigTrace izdelane višinske, primerjalne in interpretativne slike stopinj. Na podlagi skupnih točk, ki povezujejo različne stopinje istega primerka je bila izdelana statistična stopinja. Glede na izračunano povprečje stopinj je bila dolžina stopala 13,6 cm. Iz fotogrametričnega modela celotne steze izhaja, da je povprečna dolžina koraka 63,2 cm, dolžina razkoraka 31,6 cm in kot razkoraka 5°. Od tod izhaja, da se je žival premikala po mehkem blatu s povprečno hitrostjo 2,7 km/h, v kolikih pa je dosegla višino 54 – 81 cm. Manjše dvonožne tetrapode v času poznega triasa poznamo med skupinami Dinosauria (*Theropoda*, *Sauropodomorpha*) ter Crurotarsia (*Poposauroidae*). Možno je tudi, da je stopinje pustila izbirno dvonožna žival (*Silesauridae*, *Rauisuchidae*).

Ključne besede: ihnofosil, vretenčar, zgornji trias, Glavni dolomit, fotogrametrija

Primerjava 2D in 3D morfometričnih pristopov na primeru konodontne vrste *Pseudofurnishius murcianus*

Katja Oselj^{1,2}, Emilia Jarochowska³, Luka Gale^{1,2}, Tea Kolar-Jurkovšek¹, Bogdan Jurkovšek¹, Hannah Vogel³, Hamed Amiri³, Oliver Plümper³, Carlos Martínez-Pérez^{4,5}

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva ulica 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

³Utrecht University, Department of Earth Sciences, Princetonlaan 8a, 3584 CB Utrecht, Nizozemska

⁴University of Valencia, Cavanilles Institute for Biodiversity and Evolutionary Biology, Catedratic José Beltrán Martínez 2, 46980, Paterna, Valencia, Španija

⁵University of Bristol, School of Earth Sciences, Wills Memorial Building Queen's Road, Bristol BS8 1RJ, Anglija

Geometrijsko morfometrično analizo konodontnih elementov običajno izvedemo zgolj v dveh dimenzijah. Pri tem se pojavlja vprašanje, ali 2D slike zajamejo dovoljšen del morfološke variabilnosti. V raziskavi smo P1 elemente konodontne vrste *P. murcianus* skenirali z uporabo rentgenske tomografije (Xradia 610 Versa (μ -CT) v EM-centru Univerze v Utrechtu, za pridobitev 3D modelov. 2D slike elementov pa so bile pridobljene s SEM-om, na Univerzi v Valenciji. Na 3D modelih in 2D slikah smo z digitalizacijo oslonilnih in pol-oslonilnih točk zajeli celotno obliko elementov in primerjali tri različne nabore podatkov: 2D, 3Dsimp in 3Dall. Pri čemer 3Dsimp zajema iste (pol-)oslonilne točke kot 2D, vendar z dodano tretjo dimenzijo, medtem ko 3Dall vključuje še dodatne (pol-)oslonilne točke v tretji dimenziji. Med tremi nabori podatkov smo primerjali povprečno obliko, strukturo »morfoprostora« (eng. morphospace) in ekstremne variacije oblike. Podobnost med konfiguracijami v »morfoprostoru« smo statistično ocenili na podlagi parnega Prokrustesovega korelacijskega koeficienta. Parne primerjave so pokazale statistično značilno ujemanje, kar kaže, da je malo verjetno, da so opažene podobnosti naključne. Rezultati kažejo, da imajo vsi nabori podatkov podobne variacije v obliki, vendar ima vključitev tretje dimenzije v analizo večji vpliv na strukturo »morfoprostora« kot pogostitev (pol-)oslonilnih točk. Čeprav 3D analize pojasnijo nekoliko večji delež variacij oblike, tradicionalni in cenovno dostopnejši 2D morfometrični pristop še vedno ostaja uporabna metoda za kvantitativno analizo morfologije konodontov.

Ključne besede: geometrijska morfometrija, metodologija, konodonti

Aptijsko-maastrichtijski razvoj depozicijskih sistemov severnega sektorja Jadranske karbonatne platforme

Bojan Otoničar¹

¹ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje krasa, Titov trg, 6230 Postojna, Slovenija

Kras kot geološki in geomorfološki fenomen determinirajo predvsem zgornjekredne karbonatne kamnine Jadranske karbonatne platforme (JKP). Čeprav se na prvi pogled zdi, da karbonatna zaporedja gradijo bolj ali manj monotone sekvence mikritnih in rudistnih apnencev ter v manjši meri dolomitov notranje platforme, natančnejši pregled razkrije precej raznolike litofaciese in njihove združbe ter posledično litostratigrafske enote. Karbonati so se odlagali v izrazito diferenciranih sedimentacijskih okoljih, kar kaže, da površje obsežne in masivne mezozojske karbonatne platforme še zdaleč ni bilo ves čas izravnano.

Aptijsko-maastrichtijsko stratigrafsko zaporedje severnega dela JKP odraža postopno preobrazbo dolgožive izolirane karbonatne platforme od razmeroma enotnega sedimentacijskega sistema pasivnega kontinentalnega obrobja v tektonsko segmentirano predgorsko domeno. Kot posledica spreminjajočih se geotektonskih procesov na robovih Jadranske plošče in z njimi povezanih napetostnih stanj se je oblikoval prostorsko in časovno močno diferenciran akomodacijski okvir sedimentnih

zaporedij severnega dela JKP. Zaradi notranjih kompresijskih horizontalnih napetosti v Jadranski plošči, povezanih z orogenimi epizodami eoalpidске orogeneze med albijem in coniacijem, zlasti s turonijskim viškom v sosednjem avstroalpidskem območju, ter sočasnega začetka subdukcije Jadranske plošče pod Evropsko ploščo v srednjem turoniju so topografijo severnega sektorja JKP občasno determinirali različno veliki intraplatformni bazeni in sočasne kopnine – kraški otoki, med njimi pa so se oblikovali depozicijski sistemi karbonatnih ramp. V kampaniju in maastrichtiju se je tektonski značaj severnega sektorja JKP postopno preoblikoval v dinamični fleksurni predgorski sistem, ki je nastal kot posledica vertikalne obremenitve obrobni delov Jadranske plošče z napredujočim orogenim klinom. Posledično so se obrobni segmenti platforme poglobili in bili postopoma prekriti z zaporedjem plitvomorskih karbonatov, hemipelagičnih laporjev in fliša, depozicijskih enot, značilnim za podhranjen periferni predgorski bazen, medtem ko so bili bolj notranji deli platforme sočasno dvignjeni nad morsko gladino in zakraseli. Tektonsko pogojen akomodacijski okvir je predstavljal osnovo, na katero so se nalagali sedimentni zapisi evstatičnih in oceanografskih dogodkov, med katerimi sta bila posebej pomembna prvi in drugi kredni oceanski anoksični dogodek (aptijsko albijski OAE1 in cenomanijsko-turonijski OAE2). Z njimi povezane spremembe temperature, razpoložljivosti hranil, oksidacijsko-redukcijskih razmer in biotskih združb so vplivale predvsem na značaj karbonatne produkcije, razvoj mikrobnih združb in lokalno kopičenje organske snovi. Evstatični dvigi morske gladine, povezani s temi dogodki, niso neposredno povzročili enotne regionalne potopitve platforme, so pa ob že obstoječem tektonsko pogojenem akomodacijskem prostoru transgresijo občasno okrepili. Tudi globalni evstatični padci morske gladine tretjega reda za več deset metrov, dokumentirani v poznem aptiju ter na meji med srednjim in zgornjim turonijem, niso povzročili vseobsežne okopnitve celotne platforme. Na območjih, ki so bila že tektonsko dvignjena oziroma plitva, se je kopno razširilo, medtem ko so drugod globljemorske faciese nadomestili plitvomorski in periplimski sedimentacijski sistemi. Na lokalno močno restriktivne in evaporitne razmere opozarjajo do 150 metrov debel horizont breč in z njim povezani dedolomiti v cenomanijski Povirski formaciji. Domnevamo, da je njihov nastanek povezan s postdepozicijskim raztapljanjem prvotnih evaporitov (sadra in anhidrit), ter kolapsom in diagenetskimi spremembami gostiteljskih dolomitov. V pozni kredi je nadaljnja tektonska reorganizacija postopoma privedla do vzpostavitve fleksurnega predgorskega bazena, v katerem so se ob migraciji predgorske izbokline in pogrezanju njenih proksimalnih delov nekdanji notranjeplatformni depozicijski sistemi postopoma preoblikovali v sinorogene karbonatne sisteme ramp. Ti so predstavljali prehod med ponovno poplavljenimi deli platforme in vse globljimi območji predgorskega bazena ter so bili pozneje nadomeščeni s hemipelagično in flišno sedimentacijo. Tako stratigrafski zapis severnega dela JKP ne odraža le preprostega odziva platforme na spremembe globalne morske gladine, temveč predvsem kompleksno interakcijo regionalne tektonike, diferencialne akomodacije, evstazije in oceanografskih sprememb.

Ključne besede: Jadranska karbonatna platforma, zgornja kreda, karbonatni depozicijski sistemi, tektonska diferenciacija, periferna izboklina

Posodabljanje in validacija sistema za napovedovanje in zgodnje opozarjanje pred zemeljskimi plazovi (MASPREM)

Tina Peternel¹, Mateja Jemec Auflič¹, Špela Kumelj¹, Matija Krivic¹, Jasna Šinigoj¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Slovenija je zaradi geološke zgradbe in geomorfoloških ter podnebnih značilnosti zelo izpostavljena pojavom zemeljskih plazov, ki se najpogosteje prožijo ob intenzivnih kratkotrajnih ali dolgotrajnih padavinah. Leto 2023 je jasno pokazalo, da se ob spremenjenih podnebnih razmerah povečuje potreba po zanesljivem in operativnem sistemu za zgodnje opozarjanje pred zemeljskimi plazovi. Še posebej je izstopala avgustovska ujma leta 2023, ena največjih naravnih nesreč v zgodovini samostojne Slovenije, ko so obilne in intenzivne padavine povzročile obsežne poplave in sprožile številne zemeljske plazove, ki so neposredno ogrozili prebivalstvo, njihovo premoženje ter grajeno okolje. Dogodek je potrdil, da so zemeljski plazovi postali del našega vsakdana in zato je preventivno obvladovanje ter pravočasno opozarjanje ključno za zmanjševanje ali celo preprečevanje posledic.

MASPREM je državni sistem za napovedovanje povečane verjetnosti proženja zemeljskih plazov zaradi povečanih količin padavin, ki ga Geološki zavod Slovenije razvija že od leta 2011, operativno pa deluje od leta 2013. Sistem temelji na avtomatskem izračunavanju napovedi z uporabo kart verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov, empirično določenih sprožilnih količin padavin in padavinskih napovedi meteoroloških modelov ALADIN/SI in INCA/SI.

Namen validacije in posodabljanja sistema MASPREM je preveriti zanesljivost obstoječih napovedi ter opredeliti možnosti za izboljšanje napovedovanja plazov v Sloveniji. Validacija temelji na primerjavi modeliranih napovedi z evidentiranimi zemeljskimi plazovi iz spletne aplikacije e-Plaz.

Posodobitev sistema MASPREM je usmerjena v kalibracijo obstoječih sprožilnih količin padavin in vključevanje podatkov o predhodnih padavinah in namočenosti tal.

Prispevek je bil pripravljen v okviru raziskovalnega projekta UjMA, ki ga sofinancira Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost RS (ARIS) v okviru razvojnega stebra financiranja. Raziskave in razvoj so bili sofinancirani tudi v okviru razvojno-raziskovalne naloge MASPREM (naročnik: URSZR), raziskovalnega projekta Geoprostorske informacijske tehnologije za odporno in trajnostno družbo – GeoAI (GC-0006) ter programa Dinamična Zemlja (P1-0419).

Ključne besede: zemeljski plaz, padavine, napoved, preventiva, opozarjanje

Savski prelom

Ladislav Placer¹, Igor Rižnar², Jure Atanackov^{1,*}, Blaž Milanič¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Geološke ekspertize Igor Rižnar s. p., Ulica bratov Martinec 40, 1000 Ljubljana, Slovenija

*predavatelj

Savski prelom je odkril Teller na južnem obrobju Karavank in Kamniških Alp (Savski prelom *sensu stricto*). O njegovem nadaljevanju vzhodno od Kamniške Bistrice ni bilo enotnega mnenja, Buser ga je potegnil od Špitaliča, mimo Zagorja do Vrhovega ob Savi, kjer naj bi se nanj prislonil Hrastniški prelom, Premru ga je razdelil na vzhodni krak paleocenske starosti in jugovzhodni krak, ki naj bi bil povezan z neotektonsko dejavnostjo. Prvi naj bi potekal do Menine planine, drugi do doline Jablaniškega potoka pri Litiji. Fodor in sod. so menili, da v Posavskih gubah proti jugovzhodu ni prelomne strukture, ki bi ustrezala Savskemu prelomu, zato so ga povezali s Celjskim in Tuhinjsko-Libojskim prelomom, ki so ju naslonili na Šoštanjski prelom. Nekateri avtorji so sledili Fodorju in sod., npr. Placer, Atanackov, Jamšek Rupnik in sod., nekateri tega niso sprejeli, npr. Van Gelder in sod., Vukovski in sod., idr.

V letih 1990–2009 se je izvajalo jamsko kartiranje premogovnikov v Zagorski in Laški sinklinali v merilu 1 : 500 (Zagorje, Trbovlje, Ojstro, Hrastnik, Laško), kartiranje površja v merilu 1 : 5.000 in vrtanje proizvodnih in strukturnih vrtin. Končna obdelava podatkov je pokazala, da seka celotni terciar Zagorske sinklinale le Medijski prelom v smeri NW-SE, celotni terciar Laške sinklinale pa le Hrastniški prelom v smeri NW-SE in da na celotni dolžini terciarnega razvoja Laškega sinklinorija od Moravč do Rogatca, kjer se os Laške sinklinale naslanja na Šoštanjski prelom, ni preloma, ki bi sekal celotni terciar. Desni zmik ob Medijskem prelomu znaša okoli 1400 m, ob Hrastniškem prelomu okoli 1250 m. V obeh primerih gre za reaktivacijo predoligocenskih prelomov.

Na podlagi teh in drugih ugotovitev smo postavili hipotezo o trifaznem razvoju Savskega preloma. V prvi fazi je Savski prelom tvoril s Celjskim prelomom enotno dislokacijo, oziroma t. i. primarno varianto Savskega preloma ali Savski prelom-vzhodna varianta. V drugi fazi se je prekinila povezava s Celjskim prelomom in vzpostavila povezava s Tuhinjsko-Libojskim in Marijareškim prelomom. Nastala je modificirana oblika vzhodne variante Savskega preloma ali Savski prelom-modificirana vzhodna varianta. V tretji fazi se prekine povezava s omenjenima prelomoma in premik preide na Medijski in Hrastniški prelom. Nastane Savski prelom-jugovzhodna varianta.

Vzrok prekinjene povezave Savskega preloma *sensu stricto* s Celjskim in nato s Tuhinjsko-Libojskim in Marijareškim prelomom, je nastanek meninskega bloka znotraj kamniško-savinjskega velebloka med primarno varianto Savskega preloma in Periadriatskim prelomom povezanim s Šoštanjskim prelomom. Meninski blok je med desnim zмикanjem rahlo rotiral in se pomaknil proti jugu do jugovzhodu. To nakazujejo obročasti prelomi okoli Menine planine in ukrivljene geomorfološke trajektorije jugovzhodno od le-te. Medijski in Hrastniški prelom sta usmerjena proti meninskemu bloku.

Jugovzhodno od Zagorske sinklinale premik ob Medijskem prelomu polagoma zamre, premik ob Hrastniškem prelomu pa se je skoraj v celoti kompenziral v območju Laške sinklinale. Domnevamo, da imamo pred seboj začetni stadij razvoja Savskega preloma-jugovzhodna varianta.

Ključne besede: Savski prelom, Posavske gube

Sedimentološka raziskava kvartarnega zaporedja pri Zasipu, severozahodno od Bleda

Sandra Podobnik¹, Andrej Šmuc²

¹ZRC SAZU, Paleontološki inštitut Ivana Rakovca, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva ulica 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

Kvartarni sedimenti predstavljajo pomemben zapis okoljskih in klimatskih sprememb, povezanih z menjavanjem ledenih in medledenih dob. Kljub njihovem pomenu so v Sloveniji še vedno razmeroma slabo raziskani. Radovljiska kotlina je eden najizrazitejših kvartarnih sedimentacijskih bazenov, kjer se prepletajo fluvialni, fluvioglacialni in ledeniški procesi. Pomemben izdanek kvartarnih sedimentov se nahaja ob reki Savi Dolinki pri Zasipu, vendar doslej ni bil podrobneje sedimentološko raziskan.

Raziskava je temeljila na podrobnem sedimentološkem profiliranju, določitvi litofaciesov, granulometričnih, petroloških in mineraloških analizah, mikroskopski analizi ter rentgenski difrakciji (XRD) glinenih frakcij.

Rezultati kažejo, da proučevano zaporedje predstavlja fluvialni sedimentacijski sistem z izrazito lateralno in vertikalno variabilnostjo. Litofaciesna sestava, sedimentne strukture in granulometrični parametri kažejo na odlaganje v aktivnem rečnem kanalu, na njegovem robu in na poplavni ravnici. Menjavanje sedimentov različne zrnivosti, gradirane plasti in erozijske površine odražajo pulzno sedimentacijo s pogostimi spremembami transportne energije.

Petrografske analize kažejo prevlado karbonatnih klastov, medtem ko prisotnost siliciklastičnih kamnin ter paleozojskih foraminifer kaže na pomemben prispevek materiala iz karbonsko-permskih kamnin Karavank. Skupaj z litološko sestavo sedimentov rezultati potrjujejo, da je sedimentni material prinašala Sava Dolinka, pri čemer karbonatna komponenta izvira predvsem iz Julijskih Alp.

Prisotne deformacijske strukture kažejo na deformacijo sedimentov v nekonsolidiranem stanju in nakazujejo pomemben vpliv ledeniških procesov na preoblikovanje zaporedja. Raziskava pomembno dopolnjuje poznavanje razvoja kvartarnega sedimentacijskega sistema v Radovljiski kotlini ter predstavlja novo osnovo za nadaljnje paleoekološke in kronološke raziskave območja.

Ključne besede: sedimentologija, kvartar, fluvialni sedimenti, glaciotektonske deformacije, Sava Dolinka, fluvialno-glacialni sistem, sedimentološka analiza

Strukturne diskontinuitete kot regulator biološke sanacije: med mikrohabitatom in geotehničnim tveganjem

Željko Pogačnik¹

¹Georudeko d.o.o., Anhovo 1, 5210 Deskle, Slovenija

Ozelenitev brežin je pomemben del biološke sanacije površinskih kopov, vendar sama izbira vegetacije še ne zagotavlja erozijske odpornosti, krajinske vključenosti in ekološke funkcionalnosti območja. Takšno poenostavljeno izhodišče zanemarja vlogo razpok, lezik, plastnatosti, prelomnih con, litoloških stikov ter lokalno preperelih ali poroznih struktur. Te določajo podzemni pretok vode, prenos hranil in erodiranega materiala, usmerjajo rast korenin ter oblikujejo biogeokemijsko aktivne mikrocone. Hkrati opredeljujejo ploskve, ob katerih se lahko sprosti blok ali razvije preferenčni tok. Diskontinuitete zato delujejo kot regulator biološke sanacije: lahko jo podpirajo, omejujejo ali preusmerijo v destabilizacijo hribinske mase.

Nahajališči Lipovski vrh in Anhovo predstavljata študijska primera za presojo povezav med strukturnogeološkimi značilnostmi in stabilnostjo brežin. Analiza izpostavlja mehansko degradacijo in biopreperevanje zaradi mehanskega klinjenja korenin, ki lahko poveča infiltracijo meteornih voda v razpoke in pospeši njihov razvoj. Posebno pomembni so usmerjenost diskontinuitet in klastov, povečana poroznost ter nastanek labilnih con. Predlagani kriterij zato erozijski in mehanski vpliv korenin vrednoti skupaj z naravnimi lastnostmi kamnine ter rezultate prevaja v odločitve o območjih sanacije, izboru rastlinskih vrst, globini koreninjenja, drenaži in monitoringu.

Za prehod od opisne presoje k merljivemu odločanju okvir dopolnjuje PAR indeks, numerična metoda, ki okoljske vplive pridobivanja mineralnih surovin pretvarja v primerljive in preverljive vrednosti. Uporablja podatke obstoječega monitoringa, poročil o vplivih na okolje, sanacijskih načrtov in ekvivalentnih digitalnih dvojčkov. Za obravnavani problem sta ključna zlasti degradacija tal in odvodnjavanje. PAR ne nadomešča postopkov presoje ali pristojnosti organov, temveč jih dopolnjuje z numeričnimi kazalniki, omogoča primerjavo lokacij in podpira pravočasno revizijo sanacijskih scenarijev ob zaznanem povečanju tveganj za lokalno okolje.

Vegetacijska pokrovnost zato sama ni dokaz uspešne sanacije. Uspeh je treba dokazati z ohranjanjem geometrije brežin, preprečevanjem razvoja razpok, funkcionalnim substratom, samovzdržno vegetacijo in merljivim zmanjšanjem obremenitev. Diskontinuiteta tako postane prostorska informacija za argumentirano načrtovanje ter skupna osnova dialoga med koncesionarjem, lokalno skupnostjo in organom odločanja.

Ključne besede: biološka sanacija, litologija in diskontinuitete, PAR indeks, okoljski monitoring

Vpliv pobočnih procesov na prostorsko razporeditev arheoloških artefaktov na območju nad Budanjami v Vipavski dolini

Tomislav Popit¹, Vesna Tratnik², Janka Istenič²

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Narodni muzej Slovenije, Prešernova cesta 20, 1000 Ljubljana, Slovenija

Študija obravnava vpliv pobočnih procesov na prostorsko razporeditev arheoloških artefaktov nad Budanjami v Vipavski dolini. Narodni muzej Slovenije na tem območju raziskuje območje vojaškega spopada s konca 4. st. n. št. ter ostaline rimskih stavb s pripadajočim grobiščem. Najdišče je izjemnega pomena saj so materialni sledovi bojišč rimske vojske izjemno redko ohranjeni in prepoznani v arheološkem zapisu. Obravnavano najdišče je doslej edino arheološko ugotovljeno bojišče iz 4. stoletja in kot tako pomembno v širšem evropskem kontekstu. Mogoča povezava najdišča z bitko pri Mrzli reki leta 394 n. št., dokumentirano v antičnih pisnih virih, dodatno poudarja njegov raziskovalni pomen. Arheološka interpretacija najdišča vključuje razumevanje antropogenih in naravnih sprememb krajine. Pri interpretaciji poznoantičnega vojaškega spopada je zato ključno razlikovanje med primarno ohranjenimi najdbami in situ in gradivom, ki je bilo po odložitvi sekundarno premeščeno. Namen geološke študije je opredeliti, v kolikšni meri so kvartarni pobočni procesi vplivali na razporeditev arheološkega gradiva. Raziskava se osredotoča na kvartarne pobočne sedimente vzdolž severnega roba Vipavske doline, kjer kompleksna heterogena litološka zgradba in izrazita geomorfološka razgibanost odražata delovanje številnih fosilnih in recentnih pobočnih procesov.

Metodološki pristop temelji na podrobnem geomorfološkem kartiranju ter sedimentološki analizi pobočnih sedimentov. Sistematično smo dokumentirali prostorsko razporeditev sedimentnih teles, njihovo litološko sestavo, geomorfološki položaj ter notranjo zgradbo. Rezultati omogočajo rekonstrukcijo mehanizmov transporta in sedimentacijskih procesov pobočnih sedimentov ter s tem tudi razvoj konceptualnega modela stabilnosti pobočij v postrimskem obdobju. Model predstavlja podlago za oceno stopnje premeščenosti arheološkega materiala in za identifikacijo območij, kjer je verjetna ohranitev artefaktov in situ večja, v nasprotju z območji intenzivnega pobočnega premeščanja. Na tej osnovi je bila izdelana geomorfološka karta visoke ločljivosti, ki omogoča razmejitve stabilnih površin od območij z aktivno ali fosilno dinamiko pobočnih procesov.

Preliminarni rezultati kažejo, da je na nekaterih območjih prišlo do postdepozicijske prerazporeditve artefaktov zaradi pobočnih procesov, medtem ko drugod sedimentološke in geomorfološke značilnosti kažejo na razmeroma stabilne razmere oziroma na to, da so se glavni pobočni dogodki zgodili že pred rimsko dobo. Raziskava poudarja pomen integracije geomorfoloških in sedimentoloških analiz pri celostni interpretaciji arheoloških najdišč v dinamičnih pobočnih okoljih.

Ključne besede: pobočni procesi, plaz, kvartar, arheologija

Določanje izvora geokemičnih anomalij v tleh na rudarskih območjih za potrebe raziskav mineralnih surovin

Emil Pučko¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Pridobivanje mineralnih surovin poteka že od začetka naše civilizacije. Danes so površinska in lahko dostopna nahajališča večinoma že izkoriščena, odkrivanje novih rudnih teles pa postaja vse bolj zahtevno. Zaradi vedno večjih potreb družbe po mineralnih surovinah se zato geologi vse pogostejše odločajo za ponovno preučevanje zapuščenih rudnikov, kjer poskušajo s pomočjo sodobnih metod odkrivati še neizkoriščene zaloge.

Raziskovalci se pri preučevanju opuščenih rudarskih območij pogosto srečujejo z izzivom razlikovanja med naravnimi in antropogenimi viri elementnih obogatitev v tleh. Ključno vprašanje je, ali je geokemična anomalija tal na določeni lokaciji posledica onesnaženja zaradi rudarskih in metalurških aktivnosti, ali pa je povezana z naravnimi procesi, ki so obogatile tla. V študiji smo preučili različne metode za ugotavljanje izvora elementnih obogatitev v tleh na izbranih območjih. Raziskava je bila izvedena na treh opuščenih rudarskih območjih v Sloveniji, v Mežici, Idriji in Litiji, ter je temeljila na 154 vzorcih tal, odvzetih iz različnih globin testnih profilov, izkopanih v neposredni bližini rudišč, ter iz kontrolnih profilov, ki so predstavljali geokemično ozadje.

Na izbranih lokacijah smo izvedli podrobnejše analize tal z uporabo več sodobnih metod, in sicer masno spektrometrijo z induktivno sklopljeno plazmo (ICP-MS), rentgensko praškovno difrakcijo (XRD) in vrstično elektronsko mikroskopijo (SEM/EDS). Takšen pristop je omogočil celovito karakterizacijo vzorcev ter ločevanje med posameznimi potencialnimi viri obogatitev.

Rezultati študije so pokazali, da zgolj ena metoda ne zadošča za zanesljivo določitev izvora elementnih obogatitev. Natančna identifikacija naravnih in antropogenih virov zahteva kombinacijo različnih tehnik, ki skupaj omogočajo boljšo ločljivost med geogenim ozadjem in vplivi človekove dejavnosti. Ugotovitve poudarjajo pomen celostnega pristopa pri interpretaciji geokemičnih podatkov na območjih opuščenih rudnikov, kar je ključno tako za okoljske študije kot tudi za usmerjanje prihodnjih raziskovalnih del v iskanju novih nahajališč mineralnih surovin.

Ključne besede: raziskave mineralnih surovin, tla, rudarstvo, geokemija, Mežica, Idrija, Litija

Toplotni parametri miocenskih kamnin in sedimentov Panonskega bazena

Dušan Rajver¹, Kristina Ivančič¹, Karlo Borko¹, Simona Adrinek¹, Petra Škrap¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Območje vzhodne in severovzhodne Slovenije pretežno gradijo klastične sedimentne kamnine, nastale na območju Panonskega bazena. Ker imajo predvsem peščeni sedimenti pomembno vlogo pri izkoriščanju geotermalne energije ter določanju hidrogeoloških lastnosti, je poznavanje njihovih termičnih lastnosti izrednega pomena. Kamnine so si kljub različni starosti in sedimentacijskemu okolju nastanka litološko zelo podobne, zato smo želeli ugotoviti, ali je podobna tudi njihova toplotna prevodnost, ki smo jo določili na preko 70 vzorcih drobno do debelozrnatih sljudnatih, karbonatnih, polilitičnih peskih in peščenjakih, meljastih peskih in peščenjakih, lapilnih tufih ter biokalkarenitih iz 17 lokacij (Plohov breg, Pruh, Ranca, Voličina, Cerovec, Graba Osek, Kresnica, Sveta Ana, Vranji Vrh, Lipovci, Osek, Lesično, Pijovci, Gradiška, Sveti Urban, Drevenik in Raka). Laboratorijske meritve so bile izvedene na litificiranih vzorcih, in sicer z nekontaktnim optičnim skeniranjem s TCS merilnikom. Slabo vezane in nevezane sedimente smo merili z nestacionarno metodo z linijskim virom toplote (iglaste sonde) ter z napravama KD2 Pro oz. TERMOS.

Rezultati meritev kažejo, da imajo peščenjaki praviloma višjo toplotno prevodnost kot biokalkareniti. Višje vrednosti so značilne za vzorce iz lokacij Kresnica, Sveta Ana, Vranji Vrh, Sveti Urban, Drevenik in Voličina, medtem ko nižje vrednosti prevladujejo pri biokalkarenitih iz Lesičnega, Plohovega brega, Pruh in Osek. Nekoliko višje vrednosti med karbonatnimi kamninami dosega biokalkareniti iz lokacij Pijovci in Lipovci. Razlika med klastiti in karbonati je še izrazitejša pri peščenjakih z večjim deležem kremenovih zrn. Izjemo predstavljajo nekateri polilitični meljasti in slabo litificirani peščenjaki (Graba Osek), karbonatni meljasti peščenjak (Osek) in nekateri polilitični peščenjaki (Gradiška), ki izkazujejo nekoliko nižje vrednosti toplotne prevodnosti. Zanimiv je tudi primer lapilnega tufa iz Cerovca, ki dosega bistveno višje vrednosti toplotne prevodnosti kot lapilni tufi iz Rance.

Raziskavo je financirala Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) v okviru P1-0025, P1-0011, P1-0020, v okviru programa »Mladi Raziskovalci« (št. 115-0439, 115-0342), projekta PROPERock (RSF, št. SN-ZRD/22-27/0215).

Ključne besede: toplotna prevodnost, sedimenti, sedimentne kamnine, neogen, TCS, nestacionarna metoda, vzhodna Slovenija

Kako bodo podnebne spremembe vplivale na vodni režim izvira Zelenci?

Nataša Ravbar^{1,2}, Hervé Jourde³, Matej Blatnik^{1,2}, Cyril Mayaud^{1,2}, Blaž Kogovšek^{1,2}, Metka Petrič^{1,2}

¹ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje krasa, Titov trg, 6230 Postojna, Slovenija

²Univerza v Novi Gorici, UNESCO Chair on Karst Education, Vipavska 13, 5000 Nova Gorica, Slovenija

³HydroSciences Montpellier, Université de Montpellier, Montpellier, Francija

Izvir Zelenci je eden najpomembnejših alpskih izvirov v Sloveniji ter izjemno pomembno območje z vidika biotske raznovrstnosti. Zaradi občutljivosti na padavinske in temperaturne razmere je izvir primeren za preučevanje vpliva podnebnih sprememb. Njegovo hidrološko dinamiko smo ocenili z modelom KarstMod, ki temelji na podatkih o padavinah, temperaturi zraka in evapotranspiracije z meteorološke postaje Rateče ter na meritvah pretokov Save Dolinke z vodomerne postaje Kranjska Gora za obdobje 1981-2023. Za simulacijo prihodnjih razmer smo uporabili ansambel šestih globalnih in regionalnih podnebnih modelov za scenarija RCP 4.5 in RCP 8.5 za obdobja 2011-2040, 2041-2070 in 2071-2100. Model dobro opisuje letno dinamiko pretokov, pri čemer skupno odstopanje od izmerjenih vrednosti znaša približno 6 %. Nekoliko podcenjuje poznopomladanske in poletne pretoke, medtem ko jih pozimi in jeseni rahlo precenjuje. Simulacije prihodnjih podnebnih razmer kažejo, da se skupni letni pretok izvira predvidoma ne bo bistveno spremenil. Analiza trendov kaže večinoma šibke in statistično neznačilne spremembe, pri čemer rezultati ostajajo odvisni od izbranega podnebnega modela. Pričakovati pa je spremembe v sezonski razporeditvi pretokov. Večina simulacij nakazuje višje pretoke jeseni in spomladi ter nižje pozimi in poleti, razlike med scenarijema RCP 4.5 in RCP 8.5 pa ostajajo razmeroma majhne. Rezultati kažejo, da bodo prihodnji odzivi izvira Zelenci predvsem posledica sprememb v časovni razporeditvi padavin in temperature. Čeprav nanje pomembno vplivajo tudi geološke in hidrogeološke značilnosti zaledja, predstavljajo pomembno podlago za razumevanje odziva alpskih kraških vodonosnikov na podnebne spremembe ter za njihovo dolgoročno spremljanje in trajnostno upravljanje.

Ključne besede: alpski kras; hidrološka dinamika; vodni viri; podnebne projekcije; KarstMod

Sedimentološki pogled na potencial izrabe naravnega kamna v opuščenem kamnolomu Kazlje

Jasmina Rijavec¹, Janez Tomaž Šolar², Boštjan Rožič³, Petra Žvab Rožič³

¹Marmor, Sežana d. d., Partizanska c. 73a, 6210 Sežana, Slovenija

²Cankarjeva cesta 25a, 4260 Bled, Slovenija

³Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

Kras velja za enega najpomembnejših območij za pridobivanje naravnega kamna pri nas. Na tem prostoru se pojavljajo različni tipi krednih apnencev, ki so jih v preteklosti pridobivali v številnih kamnolomih, tradicija izrabe in obdelave naravnega kamna pa se nadaljuje tudi danes. Zaradi potrebe po pestrejši ponudbi naravnega kamna na trgu, je prepoznavanje novih različkov ter ocena njihovih možnosti izkoriščanja ključnega pomena.

Podjetje Marmor Sežana d.d. je maja 2021 v opuščenem kamnolomu Kazlje zavrtalo 15 metrov dolgo vrtino. Namen je bilo ugotoviti globinski obseg in pestrost posameznih različkov apnencev Lipiške formacije s posebnim poudarkom na t.i. Kazeljskem apnencu, ki bi bili lahko v prihodnosti zanimivi za izkoriščanje naravnega kamna. Dodatno je bil preko stene opuščenega kamnoloma posnet 9 metrov dolg detajlni sedimentološki profil, ki predstavlja neposredno nadaljevanje vrtine. Sedimentološko zaporedje v vrtini in na profilu kaže litološko spremenljivost, s tem da v spodnjih delih prevladujejo tankoplastnati različki tipa mudstone in wackestone, občasno z vidnimi biogenimi laminacijami. Mikroskopska analiza teh apnencev kaže na sedimentacijo v zelo restriktivnem okolju zaprte lagune ali intraplatformskega bazena. Ti faciesi odgovarjajo členu Tomajskega apnenca. Navzgor tankoplastnati apnenci postopoma preidejo v debeloplastnate do masivne različke tipa rudistni rudstone in floatstone. Ta del zaporedja je bil v preteklosti izkoriščen kot cenjen arhitektonski kamen znan pod imenom Kazeljski apnenec. Mikroskopska analiza kaže na sedimentacijo na rudistnih tratah, oziroma njihovi neposredni bližini, del plasti pa bi lahko nastajal tudi v odprti laguni. Faciesi kažejo podobnosti s tipičnimi razvoji Lipiške formacije, a z večjo ohranjenostjo organske snovi, kar daje kamnini tipično temno barvo.

Horizont Kazeljskega apnenca je prisoten v steni opuščenega kamnoloma, v globino pa postopoma pojenja in sega le do 6,4 m. Zaključimo lahko, da bi bila izraba tega različka kot naravnega kamna vprašljiva, saj se po zaporedju tip in debelina apnenca spreminjata, kar omejuje izrabo večjih in nepoškodovanih kosov kamnine.

Ključne besede: naravni kamen, Lipiška formacija, Kazeljski apnenec, sedimentološka karakterizacija, Kras

Novosti projekta CRM-geothermal – atlas geotermalnih fluidov in učni načrt

Nina Rman¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Ključna ideja projekta CRM-Geothermal - Surovine iz geotermalnih fluidov: pojav, obogatitev in pridobivanje je združitev pridobivanja kritičnih mineralnih surovin (angl. CRM, npr. litija, REE in podobno) in geotermalne toplote iz termalne vode. Ker se bo petletni projekt v letu 2027 zaključil, je večina ciljev že dosežena. S stalnim obveščanjem strokovne javnosti smo omogočili dvig zavedanja o možnostih takšnega pristopa preko spletnih seminarjev in s sodelovanjem naše javnosti v raziskavi o javnem nasprotovanju/podpori rudarskim in geotermalnim projektom.

Za Slovenijo je pomembna predvsem javna predstavitev naših podatkov na spletnem GIS pregledovalniku CRM-geothermal Fluid Atlas for Europe and Eastern Africa. Tu so vključeni podatki o vrtinah, sestavi termalne vode in lastnostih jeder iz Slovenije – večinoma vzeti iz baze projekta REFLECT – Evropski atlas geotermalnih tekočin.

Uporabna zna biti tudi Ocena zakonodajnih postopkov in omejitve za sočasno pridobivanje energije in snovi s pregledom po državah, kjer je kratek pregled za Slovenijo.

Za razvoj področja pa je pomemben Načrt izobraževanja, ki je namenjen vsem stopnjam. Združuje pregled stanja in priporočila za poučevanje v srednjih šolah in na fakultetah ter rezultate video tekmovanja. Predvsem poudarja pomen vizualizacije, uporabe modelov (GIS, 3D, AR, VFT), učenje na terenu in, na splošno, problemsko in interdisciplinarno učenje. Ključna pa je podpora učiteljem in povezovanje v mreže znanja, saj so kompetence šibke in področje se šele razvija. Slovenija ni prepoznana kot država, ki bi imela univerzitetni program, vezan na mineralne surovine ali geotermalno energijo, a ni edina. Zato se spodbuja pripravo izbirnih modulov, študijske izmenjave, razvoj skupnih programov na magistrski stopnji, sodelovanje industrije (tudi kot praktično delo) in razvoj evropskih centrov odličnosti.

Projekt se financira iz programa Evropske unije za raziskave in inovacije Obzorje Evropa v okviru sporazuma št. 101058163. GeoZS sodeluje kot tretja oseba preko Slovenskega geološkega društva. Več na <https://crm-geothermal.eu/>.

Ključne besede: termalna voda, soprodukcija, geotermalna energija, litij, kemijska sestava, izobraževanje

Spodnjejurska karbonatna platforma na severnem pasivnem robu Indije (Jomsom formacija, dolina Kali Gandaki, Nepal)

Boštjan Rožič¹, Michał Krobicki², Petra Žvab Rožič¹, Krzysztof Starzec², Luka Gale^{1,3}, Jolanta Iwańczuk⁴, Anna Kwietniak²

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Faculty of Geology, Geophysics and Environmental Protection, AGH University, al. Adama Mickiewicza 30, Krakov, Poljska

³Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, Slovenija

⁴Polish Geological Institute–National Research Institute, Rakowiecka 4, Varšava, Poljska

Preučevano zaporedje se nahaja v Tetidini Himalaji, tj. v fanerozojskem sedimentnem zaporedju severno od Južno-Tibetanskega ločilnega preloma. Celotno mezozojsko zaporedje sestavljajo raznolike klastične in karbonatne formacije, odložene vzdolž indijskega segmenta pasivnega roba Gondvane, južno od oceana Neotetida. V prispevku predstavljamo sedimentološko raziskavo prehoda iz vrhnjega dela zgornjetriasne klastične Thini formacije v spodnjejursko karbonatno Jomsom formacijo (Kioto platformo). Območje raziskave se nahaja v Nepal, v dolini reke Kali Gandaki pri vasi Jomsom. Posneti so bili trije profili, izvedena mikrofacijska in biostratigrafska analiza. Osrednji profil (260 m) se nahaja 5 km severno od vasi, dva dopolnilna profila (92 m in 50 m) pa v neposredni bližini vasi. Glavni profil se začne z 20 metri domnevno zgornjetriasnega kremenčevega peščenjaka, ki kaže izrazite navzkrižne laminacije, pogosto v obliki ribje kosti, kar indicira sedimentacijo v estuariju. Sledi hitra (?spodnjejurska) transgresija, ki se začne z 10 metrov debelim medplimskim zaporedjem, v katerem se menjavajo drobnozrnati klastiti in apnenec. Slednji je bodisi mikriten (pogosto s klastično primesjo in znaki okopnevanja), bodisi v obliki lumakel. V dopolnilnem profilu je ta prehod bistveno debelejši (80 m), kar kaže na proti severu tonečo paleotopografijo. V naslednjih 35 m glavnega profila prevladujejo hettangijski navzkrižno laminirani ooidni apnenci, značilni za robne sipine. Višje v zaporedju pa prevladujejo lagunski (bioklastični, peloidni, intraklastični) apnenci, vendar se medplimski klastiti in ooidni apnenci še vedno pojavljajo. V zgornji polovici profila, ki je že pliensbachijske starosti, so opazne navzgor poglabljajoče parasekvence, ki se začenjajo z medplimskimi klastiti/apnenci, prehajajo preko zaprtolagunskih, tankoplastnih, mikritnih apnencev v odprtolagunske, debeloplastne, bioklastične apnence, zaključijo pa se bodisi s paleokraškimi površinami bodisi z navzkrižno laminiranimi, ooidno/intraklastičnimi apnenci. Okoli 230 m se začnejo pojavljati litiotidne školjke. Praktično identično zaporedje z litiotidami opazujemo v dopolnilnem profilu, kar kaže na poenotenje, oziroma razširitev območja karbonatne platforme. Raziskava je bila izvedena v okviru projekta IGCP710 in znanstvene pobude Himalajska Akademija.

Ključne besede: karbonatna platforma, Jomsom formacija, spodnja jura, litiotide, microfacies, Himalaja

Kemostratigrafija norijsko–hettangijskega sedimentnega zaporedja Slovenskega bazena (Južne Alpe, SZ Slovenija)

Lucija Slapnik¹, Boštjan Rožič¹, Petra Žvab Rožič¹, Šimon Kdýr⁴, Tea Kolar Jurkovšek², Luka Gale^{1,2}, Alenka Eva Črne³, Tomislav Popit¹

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

³Harbour Energy Norway, Haakon VII's Gate 1, 0161 Oslo, Norveška

⁴Geološki inštitut Česke akademije znanosti, v. v. i., Rozvojová 269, 165 02 Praha 6, Češka

Območje raziskav leži v Julijskih Alpah, ki strukturno pripadajo vzhodnemu delu Južnih Alp. Te sestavljata Tolminski pokrov s kamninami Slovenskega bazena in nad njim Julijski pokrov z zaporedji Dachsteinskega apnenca Julijske karbonatne platforme. Tolminski pokrov je razdeljen na Podmelški, Rutarski in Koblanski pokrov. V prispevku predstavljamo rezultate kemostratigrafskih raziskav zgornjenorijsko–retijske Slatniške formacije, ki je znana le iz Koblanskega pokrova in jo sestavlja menjavanje hemipelagičnih in presedimentiranih apnencev. Raziskali smo profila Kobla in Povdnar, za katera je bil predhodno vzpostavljen sedimentološki in biostratigrafski okvir. Norijsko–retijska meja je bila določena na podlagi prvega pojavljanja konodontne vrste *Misikella posthernsteini*. Interval triasno–jurske meje leži nad zadnjimi pojavljanji konodontov in značilnih triasnih foraminifer, odsotnost cone *Misikella ultima* pa kaže na možno kondenzacijo ali nepopolnost najvišjega retija.

Litostratigrafski in biostratigrafski okvir smo nadgradili z analizami stabilnih izotopov ogljika in kisika. V profilu Povdnar smo izvedli tudi geokemične analize za rekonstrukcijo paleoklime, detritičnega vnosa, paleoproduktivnosti, kroženja hranil, redoks razmer in vnosa živega srebra ter dopolnili mikropaleontološke podatke. Zaporedje smo razdelili na norijsko–retijsko mejo, retijski interval povišanih vrednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{CARB}}$ ter zgornjeretijsko–spodnjehettangijski interval z negativnimi ogljikovoizotopskimi ekskurzijami. Na norijsko–retijski meji ni bilo izrazitih kemostratigrafskih posebnosti. Retijski interval spremlja spremembe detritičnega vnosa, kroženja hranil in lokalnih redoks razmer ter znaki možnega vulkanskega vpliva. Negativne ekskurzije $\delta^{13}\text{C}_{\text{CARB}}$ skupaj s povišanimi vrednostmi Hg kažejo na več zaporednih okoljskih motenj, verjetno povezanih s pulznim delovanjem Centralnoatlantske magmatske province (CAMP).

Rezultati kažejo, da so se širše motnje ogljikovega cikla prepletale z lokalnimi bazenskimi razmerami, profila pa predstavljata pomemben regionalni zapis sprememb od norija do hettangija v zahodnem delu Tetide.

Ključne besede: Slovenski bazen, Slatniška formacija, triasno–jurska meja, kemostratigrafija, Centralnoatlantska magmatska provinca (CAMP)

Nastanek pohorskega diamanta in moissanita

Tim Sotelšek¹, Jesse B. Walters², Marian Janák³, Sašo Šturm^{1,4}, Sergej Ražnjevič⁴, Nik Gračanin⁴, Viera Dujnič⁵, Darko Hanžel⁶, Mirijam Vrabec¹

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

²University of Graz, Department of Earth Sciences, Universitaetsplatz 3, 8010 Graz, Avstrija

³Slovak Academy of Sciences, Earth Science Institute, Dúbravská cesta 5805/9, 841 04 Bratislava, Slovaška

⁴Institut Jožef Stefan, Odsek za nanostrukturne materiale, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija

Granati v ultravisokotlačnih (UHP) metapelitih JV Pohorja vsebujejo številne vključke, med njimi večfazne fluidne vključke (MFI), ki se pojavljajo na robovih granatov. MFI vsebujejo karbonate, pirofilit, grafit z različnimi stopnjami strukturne urejenosti, diamant, amorfno snov, moissanit in C–O–H fluide (prevladuje CO₂, podrejeno nastopata CH₄ in H₂O). Ta parageneza je z redoks vidika nenavadna, saj se ogljik pojavlja v vseh treh oksidacijskih stanjih hkrati (C⁴⁻ v metanu in moissanitu, CO v diamantu in grafitu in C⁴⁺ v karbonatih). S termodinamskim modeliranjem smo preučili razvoj sistema med metamorfozo in določili mehanizme ter zaporedje nastanka posameznih faz.

Moissanit (naraven SiC) je na Zemlji izjemno redek mineral, saj njegova stabilnost zahteva zelo nizko fugativnost kisika (fO_2), medtem ko so kamnine skorje in zgornjega plašča običajno uravnotežene pri bistveno višjih vrednostih fO_2 . Termodinamski izračuni kažejo, da je bil med UHP metamorfozo metapelit v ravnotežju s fluidnim sistemom H₂O–CH₄, pri čemer so bile vrednosti fO_2 previsoke za stabilizacijo moissanita. Zato predlagamo alternativni model, po katerem je moissanit (in diamant ter preostale faze) nastal med ekshumacijo zaradi difuzije vodika. Ta proces je bil sprožen zaradi gradienta v fugativnosti vodika (fH_2), ki se je vzpostavil med MFI in okoliško kamninsko osnovo.

Difuzija vodika iz vključka je povzročila spremembo sestave fluidne faze in omogočila kristalizacijo diamanta iz CH₄. Po prehodu iz stabilnostnega polja diamanta v polje grafita so reakcije med CH₄, H₂O in granatom privedle do nastanka moissanita. Interakcija med fluidom in granatom je nazadnje povzročila tudi nastanek karbonatov in pirofilita, medtem ko se je preostala fluidna faza obogatila s CO₂.

Rezultati raziskave kažejo, da lahko difuzija vodika med ekshumacijo spremeni ravnotežje v sistemu tako, da lahko moissanit nastane tudi v razmerah običajne metamorfoze, brez potrebe po izjemno nizki fO_2 , ki velja za nujen pogoj njegovega nastanka. Hkrati to vodi v nastanek na videz paradokсне parageneze.

Ključne besede: Pohorje, granat, UHP metamorfoza, diamant, moissanit, termodinamsko modeliranje, difuzija vodika

Nadgradnja hidrogeoloških vsebin in prikazov podzemnih voda v okviru prenove spletnih strani Agencije RS za okolje (ARSO)

Petra Souvent¹, Urška Pavlič¹, Dejan Šram¹, Peter Frantar¹, Marjan Moderc¹, Vanja Blažica¹

¹Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana, Slovenija

ARSO izvaja obsežno prenovo svojih spletnih strani z namenom izboljšanja uporabniške izkušnje ter dostopnosti in preglednosti okoljskih informacij. Projekt vključuje posodobitev informacijske arhitekture, poenotenje vizualne podobe ter prilagoditev vsebin sodobnim standardom digitalne dostopnosti in mobilne uporabe. Poseben poudarek je na enostavnejšem dostopu do vremenskih, hidroloških in okoljskih podatkov ter na večji zanesljivosti, odzivnosti in stabilnosti sistemov v času povečanega obiska.

V okviru prenove pomembno nadgrajujemo tudi hidrogeološke vsebine arhivske spletne strani Vodni krog (<https://meteo.arso.gov.si/met/sl/watercycle/>). Posodobitve vključujejo bolj pregleden in interaktiven dostop do podatkov merilnih mest preko kartnega prikaza, kjer lahko uporabniki z nekaj kliki dostopajo do izbranih lokacij in pripadajočih časovnih nizov izbranih parametrov. Dodaja se interaktivni kartografski prikaz rezultatov vodnobilančnega modela mGROWA-SI, podprt z grafičnimi prikazi ključnih parametrov. Razširjajo se vsebine modeliranja toka podzemnih voda za vse večje aluvialne vodonosnike, kjer se rezultati modelov in modela mGROWA-SI prikazujejo na interaktivnih kartah s pomočjo časovnega drsnika. Ta omogoča pregled časovnega razvoja hidrogeoloških razmer, primerjavo med različnimi obdobji ter lažje prepoznavanje trendov, sezonskih vzorcev in dolgoročnih sprememb v vodnem režimu. Takšen pristop bistveno izboljša razumevanje dinamike podzemnih voda in pomaga pri pravilni interpretaciji podatkov. Na novo so zasnovane tudi vsebine hidroloških analiz podzemnih voda, kjer so preko dinamičnih kart in grafov predstavljena dnevna povprečja gladine podzemne vode, mesečni kazalnik gladin podzemne vode ter mesečne in letne statistike višine gladine podzemne vode in temperature.

Prenovljene hidrogeološke vsebine so zasnovane tako, da omogočajo bolj intuitivno razumevanje hidrogeoloških procesov, hitrejši dostop do podatkov ter boljšo podporo tako strokovnim analizam kot tudi splošnemu informiranju javnosti. S takšnim pristopom želimo dvigniti ozaveščenost o pomenu podzemnih voda, njihovi dinamiki in ranljivosti ter prispevati k boljšemu razumevanju in varovanju tega dragocenega vira pitne vode.

Prenova celotnega spletnega okolja agencije predstavlja pomemben korak k sodobnemu, podatkovno podprtemu in uporabniku prijaznemu komuniciranju okoljskih vsebin ter krepitvi odprtih okoljskih podatkovnih storitev.

Ključne besede: hidrogeologija, prenova spleta, ARSO

Varstvo nahajališč fosilov in mineralov ter drugih geoloških naravnih vrednot

Martina Stupar¹, Tanja Lukežič¹, Manca Hočevar², Mojca Bedjanič³, Andreja Škedelj Petrič⁴, Ljudmila Strahovnik⁵

¹Zavod Republike Slovenije za varstvo narave, OE Nova Gorica, Delpinova ulica 16, 5000 Nova Gorica, Slovenija

²Zavod Republike Slovenije za varstvo narave, OE Kranj, Planina 3, 4000 Kranj, Slovenija

³Zavod Republike Slovenije za varstvo narave, OE Maribor, Pobreška cesta 20, 2000 Maribor, Slovenija

⁴Zavod Republike Slovenije za varstvo narave, OE Novo Mesto, Adamičeva ulica 2, 8000 Novo mesto, Slovenija

⁵Zavod Republike Slovenije za varstvo narave, OE Celje, Vodnikova ulica 3, 3000 Celje, Slovenija

Geološka naravna vrednota je termin, ki ga določa zakonodaja s področja ohranjanja narave in opredeljuje geološki naravni pojav, če je izjemen, redek, ohranjen, tipičen, znanstveno raziskovalno pomemben ali ima pričevalni pomen. Sem sodijo nahajališča fosilov, mineralov, kamnin, stratigrafski profili, izdanki tektonskih elementov, mineralni in termalni izviri ter ledeniška jezera in morene. Med 552 geološkimi naravnimi vrednotami so nahajališča mineralov in fosilov posebnost. Posegi na teh območjih so povečini uničujoči in nepovratni. Velikokrat so ta območja prepuščena naravnim procesom zasipanja in zaraščanja terena, grožnjo predstavljajo tudi zbiralci in neozaveščeni raziskovalci. Varstvo nahajališč mineralov in fosilov je opredeljeno z zakonom, pravilniki in uredbami. Zakonodaja določa tudi ravnanja v primeru najdb novih potencialnih geoloških naravnih vrednot ter ex-situ vzorcev. Posebej se varujejo štirje minerali in devet skupin fosilov merila za status naravne vrednote za slednje določa pravilnik.

Podatki o naravnih vrednotah in njihovih lokacijah so javno dostopni. V primeru, da je ogroženost naravne vrednote v naravi zelo visoka (npr. zaradi zbiralcev, raziskovalcev), zakonodaja opredeljuje možnost skrite lokacije (posebna oznaka OP), ko so grafične koordinate nahajališča v javnem prikazu zaokrožene na pet kilometrov natančno. V času medmrežja in enostavnega dostopanja do podatkov o lokacijah in najdbah, ugotavljamo, da se je potreba po prikrivanju točnih lokacij geoloških naravnih vrednot z oznako OP izgubila oz. ni več smiselna. Zaradi netočne lege v javnih profilih obstaja možnost, da se v različnih postopkih (npr. pridobivanje gradbenih dovoljenj, naravovarstvenih soglasij) najpomembnejše lokacije lahko tudi prezre. Marsikje so nahajališča tudi že zaraščena in prekrita ali izropana, zato prikrivanje teh lokacij naravnih vrednot prav tako ni več smiselno. Na ZRSVN smo preverili učinkovitost mehanizma varstva naravnih vrednot s skrito lokacijo in ugotovili, da zaradi označitve naravne vrednote z oznako OP ni bilo varovanje teh nič bolj učinkovito. Z leti se je potreba po tem mehanizmu, razen nekaterih izjem, izgubila. V ta namen smo zato pripravili predlog za naslednje spremembe Pravilnika o določitvi in varstvu naravnih vrednot, da se oznaka OP na vseh geoloških naravnih vrednotah izbriše.

Ključne besede: geološke naravne vrednote, varstvo nahajališč, fosili, minerali

Detekcija snežne odeje na območju Radovne z uporabo multispektralnih satelitskih posnetkov Sentinel 2 v programskem jeziku R

Laura Sziller¹, Luka Serianz¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Snežna odeja predstavlja pomemben dejavnik hidrološkega cikla ter pomembno vpliva na razpoložljivost vodnih virov v gorskih območjih. V raziskavi je bila analizirana prostorska in časovna dinamika snežne odeje na območju Radovne z uporabo multispektralnih satelitskih posnetkov Sentinel 2 za obdobje 2022–2026. Obdelava in analiza podatkov sta bili izvedeni v programskem jeziku R. Za detekcijo snega je bil uporabljen indeks NDSI (Normalized Difference Snow Index), medtem ko je bil indeks NDWI uporabljen za izločanje vodnih površin. Pri interpretaciji rezultatov so bili upoštevani tudi podatki Scene Classification Layer (SCL). Za vsak analiziran satelitski posnetek je bila določena površina, prekrita s snežno odejo, izdelani pa so bili tudi zemljevidi razširjenosti snega, preglednice in grafi sprememb skozi čas. Rezultati omogočajo primerjavo sezonskih in medletnih sprememb snežne odeje ter potrjujejo uporabnost podatkov Sentinel 2 in programskega jezika R za učinkovito spremljanje snežnih razmer v gorskih območjih.

Ključne besede: Sentinel-2, NDSI, NDWI, snežna odeja, daljinsko zaznavanje, programski jezik R, Radovna

Jama Vrelo na stiku karbonatov in klastitov: mikroklima, hidrogeologija in dinamika radona (Gorski Kotar, Hrvaška)

Filip Šarc¹, Nina Trinajstić², Gordana Žauhar³, Franci Gabrovšek¹, Uroš Novak¹, Marija Čargonja³, Nenad Buzjak⁴, Jagoda Ravlić Gulan⁵, Ivana Rogić⁶

¹ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje krasa, Titov trg 2, 6230 Postojna, Slovenija

²Croatian Geological Survey, Sachsova 2, 10000 Zagreb, Hrvaška

³University of Rijeka, Faculty of Physics, Radmile Matejčić 2, 51000 Rijeka, Hrvaška

⁴University of Zagreb, Faculty of Science, Department of Geography, Marulićev trg 19/II, 10000 Zagreb, Hrvaška

⁵University of Rijeka, Faculty of Medicine, Braće Branchetta 20/1, 51000 Rijeka, Hrvaška

⁶Public Institution "Priroda", Grivica 4, 51000 Rijeka, Hrvaška

Jama Vrelo pri Fužinah se nahaja v geološko in hidrogeološko raznolikem območju Gorskega kotarja, ki ga zaznamuje stik permsko-triasnih klastičnih in mezozojskih karbonatnih kamnin. Njihova prostorska razporeditev se odraža v razvoju kraškega reliefa in hidrološki podobi širšega območja Fužin, kjer se prepletajo površinski in podzemni vodni tokovi. Posebnosti geološke zgradbe so imele pomembno vlogo tudi pri oblikovanju današnje pokrajine z več akumulacijskimi jezери, jama Vrelo pa je bila odkrita prav med gradbenimi posegi, povezanimi z urejanjem območja akumulacije. Jama je razvita v karbonatnih kamninah in predstavlja aktiven kraški sistem s podzemnim tokom, izviri in

stalnim sifonom. Njegovo nihanje ob visokih vodah povzroča občasno poplavljanje dela jamskih rovov. Geološko zanimivost predstavljajo tudi obsežni nekarbonatni sedimenti v jami, ki pričajo o dotoku in transportu materiala iz litološko heterogenega zaledja ter omogočajo dodatno interpretacijo razvoja in hidrološkega delovanja jamskega sistema. V jami poteka multidisciplinarno spremljanje radona, CO₂, temperature, zračnih tokov in dinamike sifona, dopolnjeno s hidrogeokemičnimi analizami jamskih voda in okoliških kraških izvirov. Meritve radona kažejo izrazito sezonsko dinamiko z višjimi koncentracijami v toplejšem delu leta in nižjimi pozimi. Mesečna povprečja so znašala med 548 in 7554 Bq/m³, najvišje izmerjene koncentracije pa so presegle 22.000 Bq/m³. Poleg sezonskega poteka so bili zabeleženi kratkotrajni porasti radona, ki niso neposredno povezani s spremembami zunanje temperature. Ti dogodki kažejo na kompleksnejšo povezavo med jamsko atmosfero in hidrološko dinamiko, predvsem nihanjem sifona, poplavljanjem rovov in možnim razplinjevanjem radona iz podzemne vode. Posebno raziskovalno vprašanje predstavlja tudi morebitna vloga nekarbonatnih sedimentov pri radonskem signalu. Jama Vrelo tako ponuja zanimiv primer za raziskovanje povezav med geološko zgradbo, razvojem krasa, aktivno hidrologijo in dinamiko radona.

Ključne besede: radon, jamska mikroklima, podzemna voda, jamski sedimenti, prezračevanje

Triasna vulkanogena zaporedja Južnih Alp v severozahodni Sloveniji

Petra Škrap¹, Anže Markelj¹, Rok Brajkovič¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Raziskavo izvajamo v okviru projekta RSF »Karakterizacija triasnih vulkanogenih zaporedij Južnih Alp v severozahodni Sloveniji« z namenom ovrednotenja njihove paleogeografske umestitve v srednjem triasu.

Izvedli smo revizijo geoloških kart ter na izbranih lokacijah štirih detajlnih profilov zajeli celotna vulkanogena zaporedja posamezne strukturne enote, ki pripadajo Slovenskemu bazenu, Julijski karbonatni platformi in Blejskemu bazenu. Metodologija je vključevala faciesno analizo, petrološke preiskave, mineraloške (XRD) in geokemijske (ICP-MS) analize celokupne sestave kamnin ter U-Pb geokronologijo (konkordantna analiza). Za ovrednotenje korelacijskih markerjev smo uporabili statistične analize in paleogeografske proksije.

Proučeno vulkanogeno zaporedje Tolminskega in Krnskega pokrova gradijo pretežno piroklastične kamnine, v zaporedju Pokljuškega in Jelovškega pokrova prevladujejo vulkanski faciesi. Petrološke, mineraloške in geokemične analize kažejo na pretežno dacitno-riolitno sestavo, medtem ko v Jelovškem pokrovu prevladujejo andezitno-trahitne združbe. Analiza geokemične sestave uvršča vzorce v kalk-alkalni magmatski niz. Multivariatne analize omogočajo ločevanje vzorcev iz različnih pokrovov, pri čemer

smo Zr, TiO₂ in Sc prepoznali kot statistično zanesljive geokemične kazalnike regionalne korelacije.

Z U-Pb analizo starosti smo potrdili obsežno vulkansko fazo v srednjem do poznem aniziju ($244,5 \pm 2,6 - 242,3 \pm 2,4$ Ma) v vseh podenotah ter prepoznali mlajši fazi vulkanske aktivnosti na JKP Krnskega pokrova ($236,5 \pm 5,5$ Ma) in Slovenskem bazenu ($233,4 \pm 2,1$ Ma; $223,7 \pm 1,5$ Ma).

Preliminarni rezultati nakazujejo, da so vulkanogena zaporedja v poznoanizijski fazi vulkanske aktivnosti verjetno nastala v ekstenzijskem zaločnem bazenu povezanem s subdukcijo. Mlajše zgornjetriasne vulkanske faze v tem kontekstu lahko odražajo nadaljevanje magmatizma, ki ga povezujemo z umikanjem subducirane plošče (slab rollback). Nadaljnje sistematično vzorčenje in širjenje raziskave na vzhod bo omogočilo pridobitev zanesljivejših rezultatov.

Ključne besede: srednji trias, zgornji trias, Slovenski bazen, Julijska karbonatna platforma, Blejski bazen, paleogeografija

Petkratno povečanje sedimentacijskih hitrosti na poplavni ravnici Dragonje v zadnjih 5500 letih

Andrej Šmuc¹, Mihael Brenčič^{1,†}, Dolenec Matej¹, Nina Caf², Primož Miklavc¹

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

²ZRC SAZU, Inštitut za arheologijo, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

Leta 2022 je bila v spodnjem delu Zbirnega centra Deponije Dragonja za potrebe okoljskih in hidrogeoloških raziskav izvrtana 20 m globoka raziskovalna vrtina. Na podlagi sedimentoloških, mineraloških, geokemičnih in radiokarbonskih analiz predstavljamo prvo celovito rekonstrukcijo razvoja poplavne ravnice Dragonje v zadnjih približno 5500 letih. Vrtino pretežno gradijo homogeni do rahlo horizontalno laminirani melji s spremenljivo vsebnostjo peska in gline. V zgornjem delu so sedimenti pedogeno preoblikovani, v globljih delih pa vsebujejo številne ostanke višjih rastlin in polžev. Drobnozrnate sedimente mestoma prekinjajo do 0,5 m debele peščene plasti s posameznimi prodniki, od katerih nekatere kažejo normalno gradacijo. Mineralna sestava je po celotni vrtini razmeroma enotna; prevladujejo kremen, kalcit in glineni minerali (illit, klorit in kaolinit), v manjšem deležu pa so prisotni tudi glinenci. Z globino se zmanjšuje vsebnost kalcita, geokemične analize pa potrjujejo tesno povezavo med mineralnimi fazami in glavnimi elementi (Si, Ca in K).

Sedimentološke značilnosti kažejo na prevladujoče odlaganje drobnozrnatih sedimentov na poplavni ravnici Dragonje, ki so ga občasno prekinjali nanosi prebojnih pahljač oziroma pobočnega gradiva iz okoliškega zaledja. Mineralna sestava kaže, da je sedimentni material pretežno izviral iz preperevanja flišnih kamnin porečja Dragonje.

Radiokarbonske datacije kažejo, da spodnji del vrtine dosega starost najmanj 5570 let BP. Povprečna hitrost sedimentacije znaša približno 3,3 mm/leto, pri čemer je razvidno

izrazito povečanje hitrosti odlaganja – od približno 1,9 mm/leto pred 5570 leti do današnjih približno 11,3 mm/leto. Ta trend odraža postopno povečevanje vnosa sedimenta v poplavno ravnico in najverjetneje predstavlja odziv porečja na stopnjevanje antropogenega vpliva, predvsem poselitve in agrarizacije, v poznem holocenu. Vrtina tako predstavlja enega redkih večtisočletnih sedimentnih zapisov razvoja poplavne ravnice v slovenski Istri ter pomembno izhodišče za razumevanje dolgoročnega prepletanja naravnih procesov in človekovega vpliva na sedimentni sistem Dragonje.

Ključne besede: poplavna ravnica, Dragonja, sedimentacija, Holocen, radiokarbonsko datiranje, antropogeni vpliv, erozija zaledja

Kdo potrebuje naše podatke? Izkušnje z vključevanjem ciljnih javnosti v projektu Geološka služba za Evropo (GSEU)

Urška Šolc¹, Jasna Šinigoj¹, Renata Barros², Julie Hollis², Tracey Dancy³, Gabriele Leoni⁴, Luca Guerrieri⁴, Claudia Delfini⁴, Marzia Rizzo⁴, Santiago Martín Alfageme⁵, Evelyng Peña Chávez⁵

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

²EuroGeoSurveys, Rue Joseph II, 36-38 Box 7, 1000 Bruselj, Belgija

³Dancy Energy Consulting, Braga, Portugalska

⁴Geološka služba Italije, Italijanski inštitut za varstvo okolja in raziskave (ISPRA), Via Vitaliano Brancati 48, 00144 Rim, Italija

⁵Geološki in rudarski inštitut Španije (IGME-CSIC), Calle de Ríos Rosas 23, 28003 Madrid, Španija

Znanstveni projekti se praviloma osredotočajo na znanstveno odličnost in tehnične rešitve, pomen in uporabnost rezultatov za oblikovalce politik in odločevalce pa se obravnavata kot stranska dejavnika pri zasnovi in kasneje pri izvedbi projektov. Tak pristop daje prednost rezultatom samim in predpostavlja, da znanstvena zanesljivost že sama po sebi zagotavlja njihovo uporabo v procesih odločanja. Dejansko pa so odločevalci zelo raznolika skupina akterjev, ki delujejo v okviru različnih mandatov, časovnih okvirov, pravnih odgovornosti in dejavnikov tveganja – vse to pa vpliva na to, ali in kako je mogoče znanstvena spoznanja uporabiti v procesih odločanja. Na podlagi izkušenj iz projekta Geološka služba za Evropo (GSEU), ki se sofinancira iz programa Obzorje Evropa, zagovarjamo stališče, da se učinkovito povezovanje geoznanosti z oblikovanjem politik in odločanjem začne z jasno opredelitvijo, komu so rezultati namenjeni in katero znanje oziroma rezultati so zanje uporabni.

Projekt GSEU povezuje evropske geološke zavode z namenom zagotavljanja usklajenih podatkov, informacij, orodij in znanja o podpovršju na ravni celotne Evrope. Raziskovalcem ponuja izzive in priložnosti za vzpostavitev neposrednega sodelovanja z institucijami EU, ki so glavna ciljna skupina projekta. V prispevku predstavljamo spoznanja, pridobljena pri poskusih uskladitve znanstvenih rezultatov z zahtevami odločevalcev na področju kritičnih mineralnih surovin.

Poudarjamo pomen zgodnjega prepoznavanja ključnih deležnikov, analize njihovih potreb in pričakovanj, izvajanja stalnega dialoga z njimi ter postopnega prilagajanja znanstvenih rezultatov njihovim potrebam. Obravnavamo tudi nekatere izzive, kot sta pojasnjevanje negotovosti in usklajevanje neskladja med znanstvenimi in političnimi časovnimi okviri delovanja oziroma odločanja.

Z zagovarjanjem pristopa »kdo« pred »kaj« želimo ponuditi prenosljive smernice geoznanstvenikom, ki si prizadevajo za učinkovitejše vključevanje znanstvenih spoznanj v procese oblikovanja politik in odločanja.

Ključne besede: geoznanost, GSEU, ciljne skupine, EU institucije, prenos znanja, oblikovanje politik, odločanje

Hidrogeološki modelski sistem Agencije RS za okolje: Aluvialni vodonosnik Krško – Brežiško polje

Dejan Šram¹, Petra Souvent¹, Marina Gacin¹, Sašo Petan¹

¹Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana, Slovenija

Na območju aluvialnega vodonosnika Krško – Brežiško polje se prepletajo posebnosti naravnih danosti ter človeških posegov v okolje. Tako so v prostor med drugim umeščeni objekti in spremljajoče tesnilne zavesa za objekte nuklearna elektrarna Krško (NEK), odlagališče nizko- in srednje radioaktivnih odpadkov (NSRAO) in pretočna akumulacija HE Brežice (PAB), ki spreminjajo naravno dinamiko podzemne vode. Po izgradnji in zapolnitvi PAB na koto približno 153 m n. m., se je gladina reke Save od približno mostu čez Savo pri tovarni papirja Vipap do HE Brežice dvignila na enotno višino približno 153 m n.m. Tesnilna zavesa za PAB poteka skoraj po celotni dolžini aluvialnega vodonosnika, tj. od približno obvozne ceste (mostu) čez Savo v Krškem pa do HE Brežice, na tem delu je povezava Save s podzemno vodo prekinjena oz. zelo omejena. Prav tako je stik prekinjen na območju NEK in od sredine 2025 dalje na območju NSRAO. Napajanje podzemne vode iz reke Save je tako omejeno na območje med most čez Savo (Vipap) in mostu čez Savo (obvoznica). Kljub bistveno krajšem odseku stika Save s podzemno vodo kot pred izgradnjo PAB, se je nivo podzemne vode dvignil. Smer toka podzemne vode na Brežiškem delu je generalno severozahod – jugovzhod, prav tako tudi na Krškem delu vodonosnika na območju obširnega in dobro izdatnega vodonosnika. Na robu zahodnega in jugozahodnega dela Krškega polja (Velika vas pri Krškem – Gorica – Črešnjice pri Cerkljah), na območju manj izdatnih vodonosnikov pa je smer toka podzemne vode približno jugozahod – severovzhod. Iztok podzemne vode se vrši preko drenažnih kanalov, ki potekajo ob PAB, v reko Krko od Boršta do sotočja s Savo, ter v Savo, dolvodno od HE Brežice. V prispevku bomo predstavili konceptualni model za aluvialni vodonosnik Krško – Brežiško polje ter preliminarne rezultate 2D statičnega numeričnega modela za srednje vodno stanje (september 2019).

Ključne besede: vodonosnik, Krško polje, Brežiško polje, numerični model, HGMS ARSO

Geokemične lastnosti sedimenta na podmorskem iztoku žveplene podzemne vode pri Izoli

Kaja Šušmelj¹, Branko Čermelj², Matej Dolenc¹, Petra Žvab Rožič¹

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja Piran, Fornače 41, 6330 Piran, Slovenija

Podmorski iztok podzemne vode pri Izoli predstavlja posebne biogeokemijske točke, kjer iztok mešanice meteorne in paleo-morske vode ustvarja specifične fizikalno-kemijske razmere na morskem dnu. Podzemna voda iz karbonatnega vodonosnika se globoko pod morskim dnem ob stiku s premogovnimi plastmi Liburnijske formacije obogati s H₂S. Sediment na mestu iztoka je izrazito črno obarvan, kar običajno nakazuje prisotnost železovih sulfidov, lahko pa je povezano tudi z organsko bogatim anoksičnim sedimentom. Namen raziskave je bil ugotoviti vzrok črne obarvanosti in razumeti geokemične procese v površinskem sedimentu. Vzorce smo analizirali z rentgensko praškovno difrakcijo (XRD) in elementno analizo CNHS. Po sušenju pri 40 °C je sediment izgubil črno obarvanost in postal siv. Mineralna sestava sedimenta je primerljiva z okoliškim sedimentom na morskem dnu. Rezultati niso pokazali prisotnosti kristaliničnih železovih sulfidov niti večjih količin železovih ali manganovih oksidov, zaznana pa je bila manjša količina sadre, ki nakazuje oksidacijo H₂S v sulfat ob stiku z oksično morsko vodo ter njegovo nadaljnjo reakcijo s Ca²⁺ iz karbonatnega vodonosnika. Rezultati elementne sestave CNHS so pokazali atomsko razmerje C/N blizu Redfieldovega razmerja, kar kaže na prevladujoč morski oziroma algi izvor organske snovi, ter visoko masno razmerje C/S, ki kaže na majhno akumulacijo žvepla glede na organski ogljik. Rezultati kažejo, da se reducirani žveplovski produkti v površinskem sedimentu verjetno ne ohranijo kot stabilni sulfidi, temveč se oksidirajo ali odnašajo iz sistema. Črna obarvanost je lahko posledica organske snovi v lokalno anoksičnih razmerah, prisotnosti majhnih količin amorfnega FeS, ki ga XRD ne zazna, ali kombinacije obojega. Za dokončno razjasnitev vzroka obarvanosti in razumevanje procesov bi bile potrebne boljše meritve z XRD ter dodatne analize amorfnih Fe-S faz ter speciacije železa in žvepla.

Ključne besede: geokemija, sediment, podmorski iztok podzemne vode, sulfidi, organska snov

Rekonstrukcija hidrogeoloških in sedimentoloških sprememb med fazami tektonskih dvigov v Postojnskem kontaktnem kras

Astrid Švara¹, Nadja Zupan Hajna¹

¹ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje krasa, Titov trg 2, 6230 Postojna, Slovenija

Klasični kras v Sloveniji predstavlja eno najpomembnejših tektonsko aktivnih območij za raziskovanje hidrogeologije in sedimentacije skozi razvoj krasa. Hidrološke spremembe in speleogeneza na Postojnskem krasu sta bili v preteklosti interpretirani predvsem kot posledica podnebnih nihanj. Novejše multidisciplinarne raziskave kažejo, da imajo odločilno vlogo pri dolgoročnem razvoju krasa tektonske spremembe. V preteklih raziskavah in obstoječem projektu, skušamo na podlagi jamskih sedimentov rekonstruirati hidrogeološki in sedimentološki razvoj kontaktnega krasa Postojnske kotline in dokazati njegovo odvisnost s fazami tektonskih dvigov. Obravnavano območje je pod vplivom kompresijskega tektonskega režima Zunanjih Dinaridov ter proti-urne smeri vrtenja Jadranske mikroplošče že približno zadnjih 6 milijonov let. Posledice teh procesov so razdrobljenost kraškega območja, preusmeritve površinskega vodnega toka ter spremembe v pretakanju podzemne vode, ki so dobro ohranjene v jamskih sedimentih. V večjih jamskih sistemih se pojavljata dva glavna sedimentna zapisa: alogeni klastični sedimenti, odloženi v epifreatičnem okolju, ter sige, nastale v vadoznem okolju. Njuno stratigrafsko zaporedje omogoča rekonstrukcijo sprememb sedimentacijskih okolij, dinamike podzemne vode in razvoja jamskih sistemov. Starost teh procesov določamo s paleomagnetnimi in paleontološkimi raziskavami, U-Th datacijami in analizami kozmogenih nuklidov. Rezultati kažejo, da je do pomembne hidrogeološke reorganizacije Postojnske kotline, vključno s preusmeritvijo reke Nanoščice, prišlo med 3,59 in 1,77 milijona let pred sedanostjo, predvsem zaradi tektonskega dviganja in ne podnebnih sprememb. Tektonsko stabilna obdobja so omogočala razvoj obsežnih vodoravnih jamskih rogov in dolgotrajno alogeno sedimentacijo, medtem ko so faze dviganja povzročile vrezovanje reke, razvoj udornic, razvoj vadoznih poti, opuščanje starejših odtočnih poti ter odlaganje sig. Predhodni rezultati potrjujejo, da je bilo tektonsko dviganje glavni dejavnik hidrogeološkega razvoja in sedimentne dinamike v tektonsko aktivnem kontaktnem krasu. Slednji omogočajo razvoj metodologije raziskav območij kontaktnega krasa tudi v drugih podobnih tektonsko aktivnih območjih.

Raziskavo je financirala Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) v okviru P6-O119, v okviru programa »Mladi Raziskovalci« (MR-52013) in po-doktorskega projekta (Z6-70199).

Ključne besede: kontaktni kras, tektonsko dviganje, hidrogeološki razvoj, plio-kvartarni razvoj, jamski sedimenti, speleogeneza, Postojnska kotlina

Integrated geochemical and geophysical exploration of antimony mineralization at Trojane, Slovenia

Klemen Teran^{1,2}, Gorazd Žibret^{1,2}, Emil Pučko^{1,2}, Martin Gaberšek¹, Barbara Čeplak¹, Savo Vuksanović¹, Marjana Zajc¹, Lovro Rutar¹, Killian Sandford¹, Josephmartin Izuchukwu Korie¹, Edmundo Placencia Gómez¹

¹Geological Survey of Slovenia, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenia

²Mineral Resources Expert Group, EuroGeoSurveys, Rue Joseph II, 36-38, 1000 Brussels, Belgium

Antimony is classified as a Critical Raw Material (CRM) by the EU, and domestic exploration has gained importance under the Critical Raw Materials Act. Sb occurrences are among the most prospective CRMs in Slovenia, with the Trojane area selected for investigation.

The Trojane mineralisation, located in central Slovenia within the Sava Folds, occurs as quartz–stibnite veins hosted by Carboniferous black shales interlayered with conglomerates and sandstones.

Exploration is challenging because of the thick soil cover and the inaccessibility of former underground workings. An integrated approach combining soil geochemistry and geophysical methods was therefore used.

Deep-soil sampling was conducted at 72 locations on a 125 × 125 m grid covering 1.125 km² between Trojane and Polšina, including the historically mined Kralj, Podzid and Zinka localities. Samples were collected from the soil C horizon, approximately 20 cm above bedrock, using a manual auger to a maximum depth of 3.7 m. Geochemical analyses were performed using ICP-MS/ICP-ES following lithium borate fusion, and ICP-MS following aqua regia digestion. Statistical analyses showed that antimony correlates only with arsenic, confirming the predominantly monometallic nature of the mineralisation. A single, spatially constrained Sb–As anomaly was identified near the Kralj mine workings.

Geophysical investigations were undertaken at selected, more accessible target areas in the Kralj, Brezje and Znojile areas using ERT, TDIP and GPR. Combined ERT and TDIP surveys successfully distinguished black shales from sandstone units, while GPR effectively delineated the boundaries between lithological units, the soil–bedrock interface and lateral lithological variations. At the Brezje-1 site, the historically documented stibnite vein was associated with shallow, high-resistivity anomalies coincident with geological mapping, further supported by elevated antimony concentrations in the soil.

This study demonstrates that antimony mineralisation can be effectively detected using unconventional exploration methods, helping to address a significant knowledge gap in multidisciplinary antimony research.

Key words: Critical Raw Materials, ERT, geochemical anomaly, ore deposit, stibnite

Mikroplastika v kraškem vodnem viru Malni – rezultati raziskav

Anja Torkar¹, Ines Vidmar¹, Mateja Jelovčan¹, Mihael Brenčič^{1,2,†}, Edi Šibenik³, Nejc Bizjak², Manca Kovač Viršek^{2,4}

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

³Kovod Postojna, d.o.o., Jeršice 3, 6230 Postojna, Slovenija

⁴Nacionalni inštitut za biologijo, Večna pot 121, 1000 Ljubljana

Plastika postaja vse bolj problematično okoljsko onesnaževalo. Svetovna proizvodnja plastike se iz leta v leto povečuje, kar prispeva k večjemu vnosu mikroplastike (MP) v vodne sisteme. Emisije MP prispevajo dolgoročno onesnaževanje ekosistemov in prehranjevalnih verig, kar povzroča (eko)toksične učinke na žive organizme. Prisotnost MP v površinskih vodah in morskih okoljih je že bolj obsežno raziskana, medtem ko sta pojavnost in obnašanje MP v podzemnih vodah, zlasti tistih, ki se uporabljajo za oskrbo s pitno vodo, večinoma slabo raziskana. Eden glavnih izzivov na tem področju je pomanjkanje celostnega pristopa k upravljanju MP v vodnem okolju. Za učinkovito zmanjševanje onesnaževanja so nujni zanesljivi sistemi spremljanja ter razvoj izboljšanih in usklajenih politik za omejevanje onesnaženja z MP. S to problematiko smo se ukvarjali v okviru mednarodnega projekta MicroDrink, kjer smo za slovensko pilotno območje izbrali izvir Malni na Planinskem polju, ki ima obsežno, več kot 700 km² veliko, napajalno zaledje in predstavlja pomemben vodni vir, ki s pitno vodo oskrbuje več kot 20.000 prebivalcev v dveh občinah.

Na pilotnem območju smo leta 2025 izvedli štiri vzorčenja za vpogled v prisotnost, vire in značilnosti pojavljanja MP. V sklopu raziskav smo vzorčili surovo vodo na izviru Malni ter vodo po postopku čiščenja v vodarni Malni. Vzorčenje je potekalo s sistemom za vzorčenje MP v podzemni vodi. Med vzorčenjem smo za vsak vzorec prefiltrirali približno 1 m³ vode, da smo zagotovili reprezentativen vzorec, saj so koncentracije MP majhne in se tako prepreči precenjevanje koncentracije MP v vzorcu. V prispevku bodo predstavljeni rezultati analiz MP na vodnem viru Malni.

Ključne besede: mikroplastika, kraški vodonosnik, podzemna voda, onesnaženje, vodni vir Malni

Kras pod mikroskopom: med umetnostjo in znanostjo

Ingrid Urban¹, Eliana Bridi¹, Lorenzo Consorti³, Sara Bensi², Bernardo Cesare¹, Nereo Preto¹

¹Department of Geosciences, University of Padova, via Gradenigo 6, 35131 Padova, Italija

²Istituto di Scienze Marine del Centro Nazionale delle Ricerche (CNR-ISMAR), Basovizza 10, 34149 Trieste, Italija

³Servizio Geologico, Direzione centrale difesa dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile della Regione autonoma, Friuli Venezia Giulia, via Sant'Anastasio 3, 34132 Trieste, Italija

Matični Kras (Kras–Carso), čezmejno območje med Italijo in Slovenijo, predstavlja enega najpomembnejših naravnih laboratorijev za proučevanje karbonatnih zaporedij mezozojsko-kenozojske Jadransko-dinarske karbonatne platforme. V okviru projekta Interreg VI-A Italija–Slovenija KRAS-CARSO II, bile geološke raziskave povezane z inovativnimi pristopi znanstvene komunikacije z namenom približati geološko dediščino različnim javnostim.

Med projektnimi dejavnostmi so znanstveni partnerji razvili raziskavo »Mikrosvet Krasa«, ki temelji na vzorčenju karbonatnih kamnin matičnega Krasa ter njihovi analizi s pomočjo tanko zbrušenih ploščic kamnin pod polarizacijskim mikroskopom. Ta metodologija, ki se običajno uporablja pri stratigrafskih in paleoekoloških raziskavah ter geološkem kartiranju, je bila na novo interpretirana kot orodje za znanstveno komuniciranje, saj so bili rezultati raziskav predstavljeni v obliki vsebin, namenjenih tudi nestrokovni javnosti.

Mikroskopski posnetki tankih zbruskov so razkrili izjemno kompleksnost fosilnega sveta, ohranjenega v kamninah, ter prikazali mikrofosile, teksture in optične pojave z veliko estetsko in znanstveno vrednostjo. Rezultati raziskave so bili predstavljeni na fotografski razstavi, ki je bila med novembrom 2025 in januarjem 2026 na ogled v Trstu, nato pa je gostovala na različnih prizoriščih v Italiji in Sloveniji. Razstava je vključevala mikroskopske fotografije, videoposnetke o geologiji Krasa, tridimenzionalne modele fosilov, izdelke Geonatečaja geoparka ter poseben sklop, posvečen nabrežinskemu kamnu (Pietra di Aurisina/Nabrežina), ki je bil kandidiran kot IUGS Heritage Stone.

Na podlagi iste raziskave nastajata tudi bogato ilustrirana trijezična publikacija (v italijanščini, slovenščini in angleščini) o Mikrosvetu Krasa ter monografija o kraških kamninah.

Izkušnje, pridobljene v okviru projekta, kažejo, da lahko orodja geoloških raziskav postanejo učinkovito sredstvo komuniciranja znanosti, saj spodbujajo dialog med znanostjo, umetnostjo in geološko dediščino ter javnosti približajo zgodbo Krasa, zapisano v njegovih kamninah.

Ključne besede: matični Kras, geopark KRAS-CARSO, geološka dediščina, popularizacija znanosti, mikrofosili, karbonatne kamnine, IUGS Heritage Stone

Dopolnitev vedenja o jurskem sedimentarnem razvoju mostu med Dinarsko karbonatno platformo in Julijskim pragom

Nejc Vantur¹, Boštjan Rožič¹, Luka Gale^{1,2}, Daniela Reháková³, Lucija Slapnik¹, Petra Žvab Rožič¹

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

³Univerza Komenskega, Fakulteta naravoslovnih ved, Oddelek za geologijo in paleontologijo, Ilkovičova 6, 84215 Bratislava, Slovaška

Kamnine, ki jih lahko opredelimo kot tipične za zaporedje Slovenskega bazena se zahodneje od Kobarida več ne pojavljajo. Proti zahodu izdanjajo zaporedja, ki v spodnji juri še vedno kažejo plitvomorske razvoje, od srednje jure naprej pa globljemorske razvoje. Območje lahko tako opredelimo kot območje mostu med Dinarsko karbonatno platformo in Julijskim pragom. Prispevek nadgrajuje raziskave, katerih preliminarni rezultati so bili predstavljeni na prejšnjem kongresu. Na novo je bil posnet detajlni profil na Matajurju in razširjen profil v dolini Učje. Profila pripadata dvema tektonskima blokoma in sta ključna za razumevanje sedimentarne evolucije tega območja. Na obeh območjih izdanjajo spodnjajurski plitvomorski apnenci, nad katerimi so s stratigrafsko vrzeljo odloženi srednje in zgornjajurski resedimenti v obliki apnenčevih breč in kalkarenitov z vmesnimi pelagičnimi tankoplastnatimi in gomoljastimi mikritnimi apnenci, z občasnimi gomolji in tankimi plastmi rožencev. V spodnjem delu tega zaporedja prevladujejo apnenčeve breče in kalkareniti, ki proti vrhu izginejo. V spodnjem delu zaporedja presedimentirane apnenice označujejo ooidi, med njimi pa dobimo tankoplastnate mikritne apnenice s filamenti. V vrhnjem delu pa slednje zamenjajo gomoljasti apnenci s sakokomami, v presedimentiranih apnencih pa dobimo drobne grebenotvorce. Jursko zaporedje zaključuje Biancone apnenec. Celotno jursko zaporedje globokomorskih kamnin dosega debelino do 70 m. Dodatne detajlne raziskave so pokazale pomembne razlike med obema območjema. Prva je v spodnjem delu presedimentiranih apnenec, kjer so debeline plasti na Matajurju večje kot v dolini Učje. To pripisujemo paleogeografiji, kjer je bilo območje Matajurja bližje izvornemu območju (Dinarska karbonatna platforma). Druga razlika je v vrhnjem delu zaporedja, kjer so gomoljasti apnenci. Ti so na Matajurju sivi in manj gomoljasti, medtem ko so v dolini Učje rdeči in značilni za tipičen razvoj Julijskega praga. Tudi resedimenti so v tem delu zaporedja na Kobariškem stolu debelejši, kar je verjetno posledica poglobitve območja Učje in vzpostavitve mimobežne cone na območju Matajurja.

Ključne besede: jura, Dinarska karbonatna platforma, Julijski prag, presedimentirani apnenci, potopitev platforme

Izračun erozije vinogradov v Vipavskih gričih z modelom SIMWE

Timotej Verbovšek¹, Barbara Čenčur Curk¹, Primož Miklavc¹, Marko Vrabec¹, Matej Dolenc¹, Janko Logar², Jasna Smolar², Timotej Jurček², Janez Furlan³, Tanja Dimitrijević³, Karmen Bizjak Bat⁴, Vasja Juretič⁴

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

³Občina Ajdovščina, Cesta 5. maja 6a, 5270 Ajdovščina, Slovenija

⁴Kmetijsko gozdarski zavod Nova Gorica, Pri hrastu 18, 5000 Nova Gorica, Slovenija

Slovenija je za Italijo država z drugo največjo povprečno stopnjo erozije zaradi padavinskih voda znotraj Evropske Unije. V primerjavi z metodo RUSLE, ki je uveljavljena za oceno erozije, je metoda SIMWE manj znana. Slednjo smo uporabili za modeliranje erozijskih pojavov na kmetijskih zemljiščih (treh vinogradih) na območju Vipavskih gričev v sklopu Evropskega projekta Ero-STOP, saj je primernejša za obravnavo reliefno razgibanih in terasasto oblikovanih površin. Modeliranje poteka v dveh korakih. V prvem, hidrološkem (modul r.sim.water v GRASS GIS-u), simuliramo površinski tok vode, rezultat pa predstavljajo višine ter pretoki vode. V drugem koraku (modul r.sim.sediment) te podatke skupaj z ostalimi vhodnimi podatki o lastnostih tal uporabimo za simulacijo erozije oz. toka sedimenta. Geomehanske in hidrološke lastnosti tal smo določili s terenskimi in laboratorijskimi raziskavami, specifične vhodne parametre za modeliranje pa smo na podlagi teh podatkov povzeli iz literature. Za simulacijo erozije smo privzeli ekstremni naliv z intenziteto 100 mm/h, zabeležen na merilni meteorološki postaji Bilje (18. 9. 2010). Rezultati modelnih izračunov so podani v obliki kart višin vode, iz katerih se dobro vidijo dominantne poti toka vode, ki sovpadajo z območji toka sedimenta. V vinogradu Plače so eroziji najbolj izpostavljene neporaščene transportne poti, koncentracija toka vode pa se kaže tudi po sredini zatravljenega vzhodnega dela vinograda. V vinogradu v Velikih Žabljah se tok vode in sedimenta koncentrira na obeh straneh vinograda. V morfološko razgibanem vinogradu Zavino z metodo SIMWE določeno erozijsko žarišče sovpada z območjem, kjer je med ujmo oktobra 2023 prišlo do najintenzivnejših erozijskih procesov. Metoda SIMWE se je izkazala kot ustrezna za študije erozijskih procesov na posameznem zemljišču, pri čemer je njena prednost to, da omogoča izračun in prikaz poti toka vode in posledično tudi toka sedimenta, ki se zgodi ob posameznem padavinskem dogodku. Ti podatki so lahko v veliko pomoč pri načrtovanju agromelioracij in sistemov odvodnjavanja kmetijskih zemljišč.

Ključne besede: erozija, vinogradi, SIMWE, Vipavski griči

Aktivna transpresija in ekstruzija skorje na stiku Jadranske in Evrazijske plošče v Sloveniji: vpogled iz GNSS opazovanj

Marko Vrabec¹, John Weber², Blaž Vičič³, Petra Jamšek Rupnik⁴, Bojan Stopar⁵, Klemen Ritlop⁵, Polona Pavlovčič Prešeren⁵, Sandi Berk⁶, Klemen Medved⁶, Oskar Sterle⁵

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Grand Valley State University, Allendale, 49401 Michigan, Združene države Amerike

³Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana, Slovenija

⁴Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

⁵Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

⁶Geodetski inštitut Slovenije, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

Ozemlje Slovenije se nahaja na aktivnem kolizijskem stiku Evrazijske plošče in Jadranske mikroplošče, ki pritiska proti S-SZ s hitrostjo 2-4 mm/leto. Analizirali smo regionalno porazdelitev in strukturni stil aktivnih tektonskih deformacij ter ocenili aktivnost glavnih prelomnih sistemov. Uporabili smo podatke več kot 40 stalno delujočih postaj GNSS s področja Slovenije in njene neposredne okolice, ki so vključene v omrežje SIGNAL in državno kombinirano geodetsko mrežo O. reda. Na osnovni opazovanj GNSS v obdobju 2010-2025 smo določili dnevne koordinate, vzpostavili časovne vrste koordinat ter določili vektorje hitrosti stalno delujočih postaj GNSS. Uporabili smo tudi podatke več kot 70 kampanjskih GNSS postaj, ki so bile izmerjene v obdobju od 1994 do 2016. Z interpolacijo pridobljenih vektorjev hitrosti točk smo izračunali zvezno polje hitrosti deformacij. Izdelali smo tudi hitrostne profile pravokotno na vse glavne prelomne sisteme v Sloveniji. Pri analizi aktivnih tektonskih procesov smo dodatno uporabili relocirana žarišča potresov v obdobju 2004-2024 in podatkovno zbirko žariščnih mehanizmov potresov ARSO. Po aktivnosti ozemlje Slovenije lahko razdelimo v tri regije: 1) obalni pas, ki pripada Jadranski mikroplošči in kaže majhne interne deformacije in rotacijo v protiurni smeri. 2) Osrednji transpresivni pas širok okoli 70 km, ki se vleče od SZ Slovenije proti V in nato zavije na JV v Posavske gube. Ta pas absorbira večino aktivnih deformacij in kaže največje strižne deformacije, prevladujejo pa zmični in reverzno-zmični žariščni mehanizmi. V zahodnem delu tega območja se okoli 40 % deformacije vrši v Periadriatskem prelomnem sistemu, ostalo pa na prelomih Dinarskega sistema. 3) SV Slovenijo V in S od Periadriatskega prelomnega sistema, ki se počasi premika proti SV kot enoten blok brez internih deformacij in pripada iztiskajočemu ALCAPA/Panonskemu bloku, ki so ga dokumentirale že prejšnje študije.

Ključne besede: aktivna tektonika, tektonska geodezija, GNSS opazovanja, seizmologija

Pol stoletja izotopskih raziskav kroženja vode v Sloveniji

Polona Vreča¹

¹Institut "Jožef Stefan", Odsek za znanosti o okolju, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija

Spreminjanja izotopske sestave (tj. $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ in ^3H) komponent vodnega kroga predstavlja v Sloveniji že več kot petdeset let pomembno podporo raziskavam kroženja vode. Tovrstni podatki so uporabni na različnih področjih, npr. za upravljanje z vodnimi viri, v klimatskih raziskavah in pri ugotavljanju geografskega porekla hrane. V prispevku bodo predstavljeni mejniki v razvoju izotopske hidrologije ter sinteza znanstvenih izsledkov preteklih desetletij, v katere smo bili vključeni raziskovalci IJS.

Prve aplikacije, ki so se začele v Sloveniji v sedemdesetih letih dvajsetega stoletja z raziskavami v porečju reke Ljubljanice, so prerasle v naslednjih desetletjih z razvojem merskih tehnik v rutinsko in deloma sistematično spremljanje izotopske sestave vode, predvsem za sledenje izvora površinskih in podzemnih voda ter določitev dinamičnih značilnosti znotraj posameznih vodnih teles. Analize so se sprva opravljale le v tujini, po letu 1979 pa so pričeli z določanjem izotopske sestave vode na Institutu "Jožef Stefan" (IJS), kjer še danes izvajamo meritve s pomočjo masne spektrometrije.

Zaradi specifične lege Slovenije smo v zadnjih dveh desetletjih na IJS največ pozornosti namenili sistematičnemu monitoringu izotopske sestave padavin, ki ga izvajamo v okviru Slovenske mreže opazovanj izotopske sestave padavin (SLONIP, <https://slonip.ijs.si/>). Tovrstne raziskave izvajajo tudi raziskovalci iz drugih inštitucij, mreža opazovanj pa na nacionalnem nivoju ni poenotena. V okviru kratkotrajnih projektov, ki jih izvajajo različne skupine raziskovalcev po državi, se pridobivajo tudi podatki o izotopski sestavi ostalih komponent vodnega kroga. Dolgoletni nizi, ki so redki, presegajo osnovne hidrološke in hidrogeološke raziskave in postajajo nepogrešljivo orodje za neposredno spremljanje odziva vodnih virov na podnebne spremembe ter oblikovanje trajnostnih strategij za dolgoročno varovanje in upravljanje z vodnimi viri v Sloveniji. Žal ostajajo izotopski podatki razpršeni po različnih virih in s tem nedostopni širši skupnosti. Skupna baza podatkov o izotopski sestavi vod, organizirana na nacionalnem nivoju, bi takšno vrzel lahko zapolnila. Vabljeni k sodelovanju.

Ključne besede: hidrologija, hidrogeologija, izotopska sestava vode, baza podatkov, Slovenija

Geološko-geomehanske in hidrogeološke preiskave akumulacijskega bazena ČHE Kozjak

Vladimir Vukadin¹, Jože Ratej¹, Erazem Dolžan¹, Meta Križaj¹

¹IRGO Consulting d.o.o. Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana, Slovenija

Črpalna hidroelektrarna (ČHE) Kozjak je načrtovana na območju Kolarjevega vrha na Kozjaku, nad dolino reke Drave zahodno od Maribora. Sistem sestavljajo zgornji akumulacijski bazen (dimenzij pribl. 700 × 250 m in koristnega volumna 2,9 milijona m³) z visokimi obodnimi nasipi (višine do pribl. 25 m), navpični tlačni cevovod, ki bazen povezuje s kavernsko strojnico na globini pribl. 750 m pod površjem, ter spremljajoči, pribl. 2,2 km dolgi predori, ki strojnico povezujejo z akumulacijo HE Fala. Akumulacijski bazen ČHE Kozjak je skladno z novim Evrokodom 7 (EN 1997-1, 2. generacija) uvrščen v najzahtevnejšo geotehnično kategorijo (GC3), kamor sodijo objekti v geotehnično najkompleksnejšem okolju (GCC3), pri katerih ima morebitna porušitev najhujše posledice (CC3).

Z geološko-geomehanskimi in hidrogeološkimi (GGHG) preiskavami območja akumulacije smo želeli odgovoriti na naslednja ključna vprašanja: kakšna je stabilnost obodnih nasipov v statičnih in dinamičnih pogojih, kakšen je medsebojni vpliv akumulacije in podzemne vode ter ali je izkopani material z območja akumulacije mogoče vgraditi v nasipe in pod kakšnimi pogoji.

Celotna akumulacija je umeščena v metamorfni kamninski kompleks Kozjaka, ki ga pretežno gradijo močno pretrti in prepereli filiti oziroma skrilavci, podrejeno pa gnajsi, blestniki in amfiboliti. Površje prekriva do več metrov debel površinski pokrov. Zaradi skrilavosti so geomehanske lastnosti močno anizotropne, pri čemer imata pretrtost in preperelost večji vpliv nanje kot sama sestava prevladujoče izvirne kamnine.

V prispevku predstavljamo obseg, potek in rezultate GGHG-preiskav na območju akumulacijskega bazena, izvedenih v obdobju 2024–2026, ki nadgrajujejo starejše podatke iz let 2007/2008. Predstavljena je predlagana inženirsko-geološka klasifikacija kamninske mase, ki temelji na geomehanskih lastnostih kamnin in njihovi vgradljivosti. Na tej podlagi je bil izdelan 3D geološko-geomehanski model akumulacije, ki je ključen za njeno načrtovanje in zlasti za izračun masnih bilanc izkopnih del.

Ključne besede: inženirska geologija, geomehanika, akumulacijski bazen, 3D model, preiskave, vgradljivost

Globoko plazenje v dolini Glinščice

Vladimir Vukadin¹, Erazem Dolžan¹, Jernej Loboda¹, Matej Arh¹

¹IRGO Consulting d.o.o. Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana, Slovenija

Da danes vemo za globok plaz v dolini Glinščice, se lahko zahvalimo sosledju dogodkov, ki so se začeli z dokončno umestitvijo trase drugega tira v prostor. Če portal predora T1 ne bi bil umeščen prav na mesto, kjer se je več sto let, najverjetneje pa še precej dlje nahajala počasi plazeča se hribinska masa, zanj skoraj zagotovo ne bi slišali.

Zgodba o drugem tiru, spremljajočih preiskavah in plazu pa je dolga le ca 20 let. V njej so v različnih fazah sodelovali strokovnjaki vseh relevantnih domačih inštitucij s področij geologije, inženirske geologije, hidrogeologije, geomehanike, geotehnike, projektiranja in nadzora, pa tudi številni tuji strokovnjaki, a vseeno je geološki prostor pripravi presenečenje.

V prispevku bomo predstavili, kako je zorelo vedenje o obstoju, obsegu in pomenu plazu: od prvih preglednih regionalnih geoloških in inženirsko-geoloških preiskav, prek vse podrobnejših geološko-geomehanskih in hidrogeoloških (GGHG) preiskav, ki so spremljale posamezne faze načrtovanja drugega tira, do izvedbe, GGHG spremljave in monitoringa — tako drugega tira kot sanacijskih ukrepov, s katerimi ustavljamo plazenje.

Globoko plazenje na portalu predora T1 prinaša številna spoznanja in nauke: o kompleksnosti in dinamiki plazenja, o vplivu na predor in portal, o načrtovanju GGHG preiskav in monitoringa (plazu, predora, portalov, mostu in tirnic) ter o sanacijskih ukrepih. Na koncu velja poudariti še naslednje: trasa drugega tira (skupne dolžine 27 km, od tega 36 km predorov, dva viadukta, več mostov in številne geotehnične konstrukcije) je bila izvedena v roku in v okviru predvidenih sredstev, za kar je v zaslužna tudi dobra GGHG prognoza v fazi projektiranja in spremljava med gradnjo. Z izjemo praktično nenapovedljivih kraških pojavov — v predorih smo jih srečali približno 100 in jih okoli 15 pod zemljo tudi premostili — ter 100-metrskega odseka v dolini Glinščice (0,4 % dolžine trase) večjih presenečenj ni bilo, kar je izjemen uspeh stroke in vseh vpletenih.

Ključne besede: inženirska geologija, geomehanika, monitoring, plazovi, predor, preiskave

Krasoslovje na Krasu

Nadja Zupan Hajna¹, Metka Petrič¹, Franci Gabrovšek¹

¹ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje krasa, Titov trg 2, 6230 Postojna, Slovenija

Kras je eno najboljše raziskanih kraških območij na svetu in predstavlja naravni laboratorij za preučevanje razvoja kraških pokrajin. Razumevanje njegovega razvoja temelji na povezovanju geoloških, geomorfoloških, hidrogeoloških in speleoloških raziskav.

Raziskave jamskih sedimentov na Krasu omogočajo časovno opredelitev razvoja kraškega sistema v obdobju po zaključku eocenske morske sedimentacije. Datacije kažejo, da se kras na tem območju najverjetneje neprekinjeno razvija vsaj od poznega oligocena dalje. Grofova jama z ostanki prepererelega vulkanskega pepela, starega okoli 23 Ma, predstavlja najstarejši doslej ohranjeni neposredni dokaz obstoja kraškega površja in jam v severozahodnem delu Dinarskega krasa. Njihovo ohranitev je najverjetneje omogočil začasni glinasti pokrov, ki je zaščitil kraško površje pred raztapljanjem, medtem ko je bil nezaščiteni oligocenski kraški relief v okolici v nadaljnjem razvoju večinoma odstranjen. Mlajši jamski sedimenti iz brezstropne jame Risnik, Škocjanskih jam, Divaške jame, Trhlovce, Račiške pečine in drugih jam, povezanih s ponikalnico Reko ter naplavinami iz flišnih kamnin, omogočajo rekonstrukcijo razvoja Krasa od pliocena do holocena. Hkrati odražajo tektonsko dvigovanje, spremembe hidrološkega režima jam, paleoekološke spremembe in poplavne dogodke. Datacije jamskih sedimentov omogočajo tudi posredno časovno opredelitev nastanka posameznih površinskih geomorfoloških oblik.

Za vodonosnik Krasa je značilno podzemno pretakanje vode, predvsem povezave med ponikalnico Reko in izviri Timave so predmet zanimanja že od nekdaj, dolga je tudi zgodovina izvajanja sledilnih poskusov za njihovo potrjevanje. V novejšem času smo raziskave razširili na druge dele vodonosnika. Z vnosom sledila v razpoko na kraškem površju smo izboljšali razumevanje avtogenega napajanja in prenosa snovi skozi vadozno cono, z injiciranjem sledil v vrtini in vodni tok v kraški jami v manj raziskanih delih vodonosnika pa smo ugotavljali značilnosti pretakanja vode zunaj znanega glavnega podzemnega toka Reke.

Izvedba sledilnih poskusov je bila zahtevna, zaradi visokih pretokov izvirov in velikih razdalj smo uporabili večje količine fluorescenčnih sledil (do 48 kg) in izvajali dolgotrajna vzorčenja (do 17 mesecev). Zelo velik izziv je bilo spremljanje pojava sledila v podzemnem toku globokih kraških jam. Primerjava rezultatov opravljenih sledenj je izboljšala razumevanje vpliva različnih načinov napajanja, heterogene zgradbe vodonosnika in hidroloških razmer na tok vode ter prenos snovi v vodonosniku Krasa.

Velika spremenljivost pretoka glavnega alogenega dotoka v vodonosnik Krasa, reke Reke, od nekaj sto l/s do več kot 350 m³/s, ter kompleksna struktura vodonosnika z veliko spremenljivostjo tokovnega preseka botrujeta hitrim dvigom vodostajev v jamah vzdolž podzemnega toka. Spremljanje hidravličnih in temperaturnih odzivov na poplavne dogodke s samodejnimi merilniki nam omogoča sklepanje o strukturi epifreatične cone vodonosnika, skozi katero se ob dogodkih pretaka glavnina vode, nivojski in temperaturni hidrogrami v jamah pa nam dajejo informacije tudi o uskladiščeni vodi. Izjemen hidravlični

odziv in posledični tlak na stene jamskih kanalov lahko sprožita tudi geodetsko merljive premike na površju in hidrološko pogojene gravimetrične anomalije.

Ključne besede: Kras, jamski sedimenti, razvoj krasa, hidrogeologija, vodna sledenja, poplavni val

Geološka in litogeokemijska karakterizacija slovenskih dolomitov s poskusno ekstrakcijo magnezija

Gorazd Žibret¹, Neža Malenšek-Andolšek¹, Vilma Ducman², Jernej Imperl³, Mitja Kolar³, Lea Žibret²

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva ul. 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

³Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Večna pot 113, 1000 Ljubljana, Slovenija

Evropska industrija je močno odvisna od uvoza mineralnih surovin, med katerimi je tudi magnezij. V EU se ga nekaj malega pridobiva iz sekundarnih surovin, večino potreb pa se pokrije z uvozom iz Kitajske. Žal zaradi globalnih geopolitičnih razmer lahko pride do motenj v njegovi dobavi, kar lahko povzroči izgubo delovnih mest, saj se magnezij uporablja za izdelavo številnih lahkih zlitin, uporaben pa je tudi za izdelavo baterij. Mg je kovina, ki se pridobiva z redukcijo MgO, ki je lahko pirometalurška, ali preko elektrolize. MgO se pa pridobiva pretežno iz slanic, ponekod pa tudi iz različnih z Mg bogatih mineralnih surovin (serpentin, magnezit, dolomit). Sloveniji najbližji obrat, kjer pridobivajo elementni Mg iz dolomitov se nahaja v Turčiji.

Slovenija je bogata s karbonatnimi kamninami, močno so zastopani debeli nanosi razmeroma čistih dolomitov. Zastavlja se vprašanje, ali je slovenske dolomite možno uporabiti za proizvodnjo elementnega magnezija, ter kakšna bi morala biti njegova tržna cena in cena energije, da bi se to tudi ekonomsko izplačalo. Zato so bili cilji ARIS projekta J1-50032 večplastni: geološko in litogeokemijsko ovrednotiti dolomite različnih starosti in znotraj različnih geotektonskih enot, ter iz najbolj čistih različkov v laboratorijskih pogojih poskusno izločiti elementni magnezij.

V sklopu projekta so bili vzorčeni dolomiti od perma do krede na območju vzhodnih in južnih Alp ter Dinaridov, ter dva profila znotraj baškega in glavnega dolomita v zgornjem triasu. Analize so obsegale optično in elektronsko mikroskopijo preparatov, litogeokemične analize, analize Sr izotopov, teste topnosti in izluževanj MgO v primerjavi s CaO ter redukcijo MgO v MgO v laboratorijskih pogojih. Izdelana je bila ocena ekonomičnosti pridobivanja Mg iz slovenskih dolomitov ter načrt za dvig tehnološkega nivoja na polindustrijsko raven.

Ključne besede: dolomit, magnezij, ekonomska ocena, litogeokemija, mikroskopija

Pestrost zakraselosti kamnin vzdolž predora T2 (2. tir Divača – Koper) kot geološka osnova za različne načine premoščanja

Tina Živec¹, Andreja Pajnkiher¹, Tjaša Barbo Sarioglu¹

¹ELEA iC projektiranje in svetovanje d.o.o., Dunajska cesta 21, 1000 Ljubljana, Slovenija

Med izkopom predora T2 na 2. tiru železniške proge Divača–Koper smo naleteli na izjemno pestrost kraških pojavov, ki odraža raznoliko litološko, strukturno in hidrogeološko zgradbo obravnavanega območja. Trasa predora prečka kamnine eocenske starosti: alveolinsko-numulitni apnenec (ANA/E), prehodne plasti z značilnim laporovcem in lapornatim apnencem (PP/E) ter flišne kamnine (F/E). Razmerje med geološkimi formacijami se spreminja, od normalnih prehodov do tektonskih kontaktov in inverznih plasti. Za alveolinsko-numulitni apnenec je značilna selektivna zakraselost, vzdolž normalnih in tektonskih kontaktov s prehodnimi lapornatimi plastmi se je razvil kontaktni kras s potencialnimi vdori podzemne vode. Od 99 kraških jam, odkritih na odprti trasi ter v predorih T1 in T2, jih 25 leži v predoru T2. Jame se med seboj razlikujejo po legi glede na predorsko cev, geometriji in orientaciji, hidrogeoloških značilnostih ter vrste zapolnjenosti (brez polnitve, zapolnjene s kraško glino ali podornimi bloki). Raznoverstnost zakraselosti kamnine in tekoča geološka, geofizikalna in hidrogeološka spremljava sta neposredno narekovali izbor premostitvenih ukrepov med predorogradnjo: od enostavne toge povezave notranje obloge za krajše razpone do ločnih konstrukcij za večje jamske sisteme. Izkušnje iz predora T2 kažejo, da je šele celovito geološko razumevanje geneze, lege in zapolnjenosti jame tisto, kar loči varno in trajno premostitev od tvegane.

Ključne besede: zakrasela hribina, predorogradnja, inženirska geologija, kraški pojavi

Kamniti stražarji - litološka analiza mejnih kamnov na Krasu in Matarskem podolju

Petra Žvab Rožič¹, Domen Lapuh², Mihaela Triglav Čekada^{3,4}

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Plečnikova ulica 7, 2000 Maribor, Slovenija

³Geodetski inštitut Slovenije, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

⁴Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

Na Krasu in Matarskem podolju je danes ohranjenih večje število mejnih kamnov katastrskih občin, ki so bili postavljeni v času franciscejske zemljiškokatastrske izmere v letih 1818-1819. Mejniki se razlikujejo po velikosti in obliki, večina jih ima vklesane napise, letnice ali grbe. Postavljeni so na stičiščih ali znotraj suhih zidov, so samostojni ali so celo povezani s primarno kamnino. Danes imajo mejni kamni pomembno kulturnozgodovinsko vlogo, hkrati pa še vedno predstavljajo meje uradno veljavnih katastrskih občin. Nekatera mejna znamenja so se ohranila tudi v ustnem izročilu in so del mitov ter pripovedk.

Litološke analize smo izvedli na izbranih kamnitih mejnikih, ki jih glede na njihovo vlogo razdelimo v dve skupini: (1) samo mejnik katastrske občine ter, (2) mejnik katastrske občine in hkrati mejnik nadrejene upravne enote. K slednjim sodijo mejniki v okolici Lipice, ki so hkrati ločili svobodno luko Trst od goriškega okrožja, ter mejnik na Matarskem podolju med Markovščino in Gradiščem, ki je do leta 1832 ločil okrožji Podgrad in Socerb (Fünfenberg).

Izbrane mejne kamne smo na terenu litološko makroskopsko popisali in s pomočjo tega določili glavne litotipe. Prevladovali so karbonatni mejniki, dva sta bila iz peščenjaka. Z mikroskopsko analizo smo vzorce razdelili v karbonatne mikrofaciesne skupine ter eno klastično skupino. Rezultate smo primerjali z znanimi litološkimi lastnostmi lokalnih formacij ter na podlagi sestave in strukture kamnine umestili v Repensko, Lipiško, Liburnijsko in Sežansko formacijo. Za mejna kamna iz peščenjaka predlagamo izvor iz eocenskega fliša Brkinov.

Rezultati nam kažejo pestrost in spremenljivost različkov kamnin, ki so bile uporabljene za izdelavo mejnih kamnov na območju Krasa in Matarskega podolja. Ta se sklada z geološko pestrostjo tega območja na podlagi česar sklepamo, da je bil material pridobljen iz razpršenih lokalnih virov oziroma kamnolomov.

Ključne besede: mejniki, naravni kamen, litološka karakterizacija, provenienca, Kras in Matarsko podolje

EKSKURZIJE

FIELD TRIPS

Vsebina/Content

1. Kamnolomi naravnega kamna družbe Marmor, Sežana d.d.	111
Jasmina Rijavec	
2. 2TDK: severni portal T1 pri Divači	117
2.1 Stratigrafija in paleokras na trasi 2TDK	117
Bojan Otoničar, Adrijan Košir	
2.2 Krasoslovni nadzor med gradnjo 2TDK	130
Mitja Prelovšek	
2.3 Hidrogeološki izzivi na 2TDK	142
Jože Ratej	
2.4 Kraški pojavi v predoru T1 na 2TDK in geotehnološke rešitve pri gradnji	149
Vojkan Jovičič, Saša Galuf	
3. Škocjanske jame: geologija, speleologija, dinamika recentnih poplav in zapisi paleopoplav	155
Nadja Zupan Hajna, Franci Gabrovšek, Stanka Šebela	
Sponzorji in donatorji	174
Ostali sodelujoči in razstavljalci	175
Zapiski	176

1. Kamnolomi naravnega kamna družbe Marmor, Sežana d.d.

Jasmina Rijavec¹

¹Marmor, Sežana d. d., Partizanska c. 73a, 6210 Sežana, Slovenija; rijavec@marmorsezana.com

Uvod

Družba Marmor, Sežana d.d. se s kraškim kamnom ukvarja že od leta 1947. V lokalno okolje je vpeta z zahtevnimi projekti, poslovnimi sodelovanji ter skrajnim občutkom za naravo. Kraški kamen, ki danes ponovno pridobiva svoje zasluženno mesto v arhitekturi, krasi pročelja hiš, ulice in trge po Krasu ter drugod po Sloveniji. Zelo je cenjen tudi izven državnih meja in krasi prenekateri objekt od ZDA do Rusije, Kitajske in Bližnjega Vzhoda.

Glavna dejavnost družbe Marmor, Sežana d.d. je pridobivanje in predelava naravnega kamna, specializirana pa je tudi za izvajanje vseh vrst kamnoseških in kamnarskih del na objektih visokih in nizkih gradenj. Manjši del proizvodnje predstavlja izdelava tradicionalnih kamnitih izdelkov.

Marmor, Sežana d.d. ima ekskluzivno pravico prodaje materialov Lipica unito, Lipica fiorito, Repen in Kopriva. Omenjeni naravni kamni so na Krasu poznani in cenjeni že stoletja, danes pa se pridobivajo v kamnolomih Lipica I, Lipica II, Doline in Kopriva, za katere ima Marmor, Sežana d.d. sklenjeno koncesijo za izkoriščanje. V skrbi za naravo in zaradi same dinamike nahajališč, se danes kamnolomi naravnega kamna selijo v podzemlje. Tako se vpliv kamnolomov na površje zmanjša na najmanjšo možno mero in s tem ohranja kraška gmajna z vsemi njenimi značilnostmi.

Kraški naravni kamni – kredni apnenci

Kras gradijo apnenci, pretežno kredne starosti, deloma tudi paleocenske. Njihova raznolikost v barvi, trdnosti, odpornosti daje slutiti na raznolikost okolja, v katerem so nastajali. Na Krasu je poznanih več kot 190 različkov naravnega kamna. Od teh se štirje še danes uporabljajo kot naravni kamen.

Lipica unito je v komercialnem smislu svetlo, rahlo olivno siv, homogen, kompakten, srednje do grobozrnat, trd apnenec, ki ne sme vsebovati fosilov ali njih fragmentov večjih od nekaj milimetrov. Nastajal je na območju plitvega šelfa Dinarske karbonatne platforme, kjer je bila energija valovanja vode nekoliko višja, vendar ne dovolj, da bi prišlo do izpiranja karbonatnega blata. Danes se ga pridobiva v kamnolomih Lipica I in Lipica II, izključno na podzemni način. Zaradi dokaj homogene barve in dobre možnosti poliranja, se kamen vključuje v številne interierje.

Lipica fiorito je siv do rahlo rožnato siv, v osnovi drobnozrnat, dokaj trd, kompakten apnenec, ki vsebuje različno velike in ponekod tudi enakomerno razporejene, vendar v glavnem dobro ohranjene konture školjk, predvsem rudistov. Nastajal je na območju plitvega šelfa Dinarske karbonatne platforme, kjer je bila energija valovanja nizka. Danes

se ga pridobiva v kamnolomu Lipica I. Zaradi dokaj homogene barve in dobre možnosti poliranja se kamen vključuje tako v interierje, kot eksterierje.

Repen je svetlo siv do siv, deloma rekristaliziran biosparitni apnenec, z izrazitimi, lepo ohranjenimi, v glavnem prekristaljenimi fosilnimi ostanki hondrodont in radiolitov. Gostota, razpored, velikost in ohranjenost fosilnih ostankov ni enakomerna, ampak se ponavlja v plasteh debeline do 0,5 m, kar nakazuje ciklično sedimentacijo. Ponekod so vmes posamezne leče svetleje sivega Repna z velikimi ovalnimi preseki kaprinid. Nastajal je v zagrebenskem prostranem zasipu z akumulacijo bioklastičnega materiala, rudistnih školjk in njihovega drobirja na zelo plitvem karbonatnem šelfu, v zmerno do močno razburkanem okolju. Danes se ga pridobiva v kamnolomu Doline, izključno na podzemni način. Velja za enega najodpornejših kraških kamnov in je zaradi tega priljubljen za zunanjo uporabo, njegov izgled pa še posebej zasije na poliranih površinah interierjev.

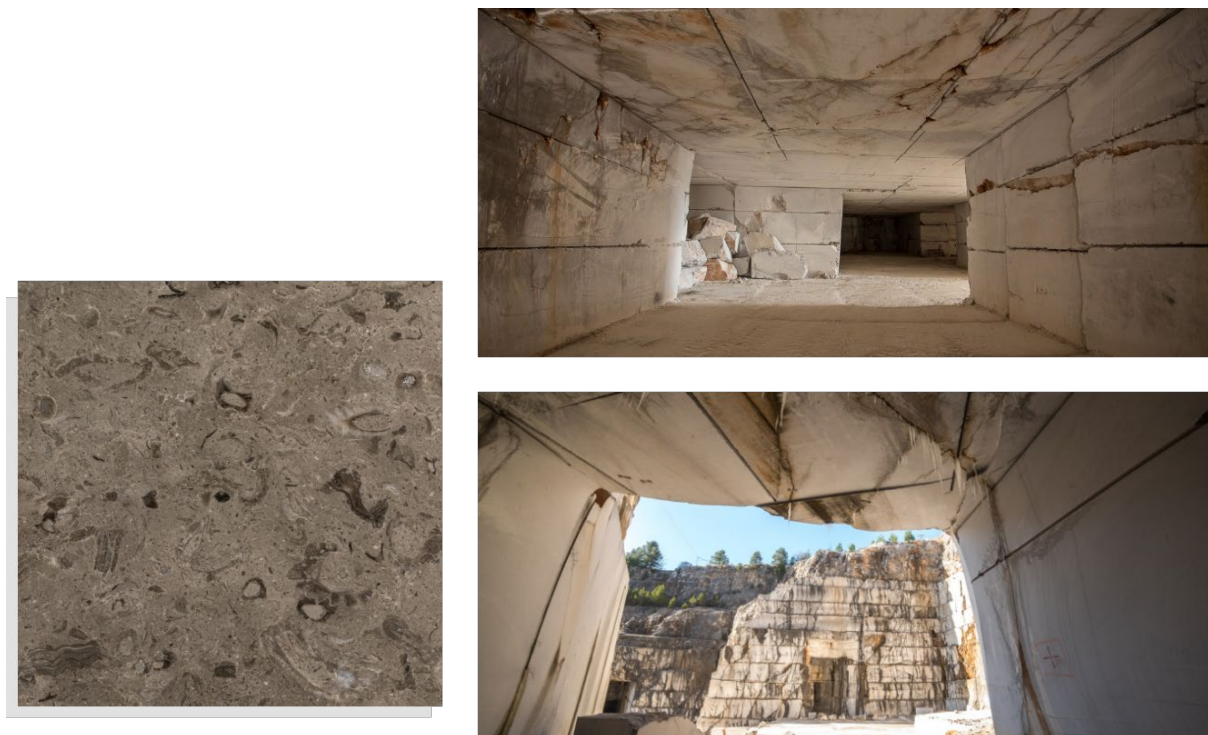
Kopriva je svetlo siv, deloma rekristaliziran apnenec, ki v osnovi vsebuje številne enakomerno razporejene odlomke mehkužcev, med katerimi prevladujejo rudisti. Razlomljeni ostanki organizmov so dokaj konstantne velikosti. Večinoma so temno sive barve, včasih z rahlim rjavkastim odtenkom, manj številni so svetle barve. Mestoma se pojavljajo koncentracije odlomkov lupinic v neizrazitih pasovih. Apnenec Kopriva se pojavlja v obliki lečastih teles znotraj Pelagičnega apnenca.

Obratujoči kamnolomi naravnega kamna v lasti družbe Marmor, Sežana d.d.

Družba Marmor, Sežana d.d. ima v lasti 6 koncesijskih pogodb za izkoriščanje naravnega kamna na 5 lokacijah - kamnolomih. Pridobivanje naravnega kamna poteka z verižnimi zasekovalnimi stroji in diamantnimi žičnimi žagami, brez uporabe eksploziva. Zaradi same lege produktivnih plasti in varovanja kraške krajine delo v kamnolomih poteka večinoma podzemno z verificirano metodo pridobivanja, prilagojeno specifičnim razmeram Krasa. Dva kamnoloma sta v celoti podzemna, le eden ostaja v celoti površinski.

Kamnolom Lipica I je največji kamnolom naravnega kamna v Sloveniji. Po pripovedovanju starih kraških kamnosekov, se je načrtno pridobivanje kamna v kamnolomu Lipica I pričelo leta 1933, prvotno pod imenom kamnolom Lokev. Iz arhivov pa je znano, da je kamnoseštvo na širšem območju uveljavljeno že nekaj stoletij. Na to kažejo številni značilni izdelki, kot so štirne, portoni, konzole, krstni kamni in različna znamenja, ki krasijo kraške vasi.

Marmor, Sežana d.d. pridobiva naravni kamen v kamnolomu Lipica I od leta 1947. Pridobivanje naravnega kamna poteka tako na površinski, kot podzemni način. V kamnolomu se pridobiva naravni kamen Lipica fiorito (slika 1.1) ter v manjši meri tudi Lipica unito.



Slika 1.1: Naravni kamen Lipica fiorito (levo) v kamnolomu Lipica I.

Kamnolom Lipica II je oddaljen od kamnoloma Lipica I okrog 500 metrov. Zasnovan in lociran je bil leta 1986, ko količine pridobljenega materiala iz Lipice I niso več zadoščale povpraševanju trga. Danes je Lipica II največji podzemni kamnolom naravnega kamna v Sloveniji. Podzemni prostori višine do 26 m ustvarjajo mrežo rovov dolgih že več kot 1000 m. V kamnolomu se pridobiva naravni kamen Lipica unito (slika 1.2) ter v manjši meri tudi Lipica fiorito.



Slika 1.2: Naravni kamen Lipica unito (desno) v kamnolomu Lipica II.

Kamnolom Doline leži severozahodno od Sežane, v bližini vasi Vrhovlje. Po pripovedovanju starejših kamnosekov, so na tem območju naravni kamen pričeli pridobivati že leta 1900, v svoji zgodovini pa je bil večkrat zaprt in ponovno odprt. Od leta 2019 dela potekajo izključno na podzemni način. V kamnolomu se pridobiva naravni kamen Repen klasični (slika 1.3).



Slika 1.3: Naravni kamen Repen klasični (levo), v kamnolomu Doline.

Kamnolom Kopriva je edini, v celoti površinski kamnolom družbe. Gre za manjši kamnolom v bližini vasi Kopriva, ki je bil ponovno odprt leta 2014. Njegova zgodovina je burna in poznana širši okolici, saj je kamnolom obratoval od leta 1900 pa vse do 60. let 20. stoletja. Kamnolom je evidentiran kot naravna vrednota državnega pomena pod evid. št. 314 – Kopriva-nahajališče apnenca kopriva. V kamnolomu se pridobiva naravni kamen Kopriva (slika 1.4).



Slika 1.4: Naravni kamen Kopriva (desno), v kamnolomu Kopriva.

2. 2TDK: severni portal T1 pri Divači

2.1 Stratigrafija in paleokras na trasi 2TDK

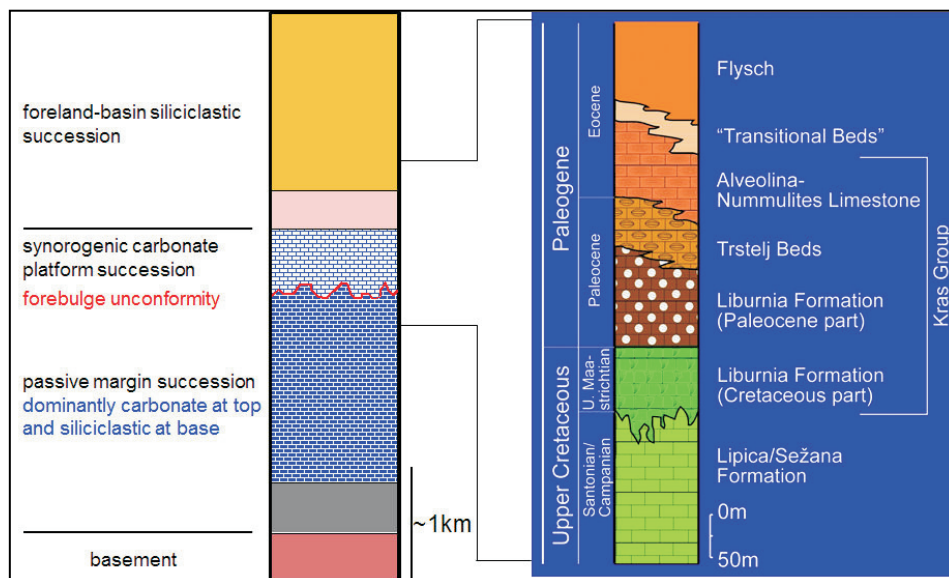
Bojan Otoničar¹, Adrijan Košir²

¹ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje krasa, Titov trg 2, 6230 Postojna; bojan.otonicar@zrc-sazu.si

²ZRC SAZU, Paleontološki inštitut Ivana Rakovca, Nori trg 2, Ljubljana; adrijan@zrc-sazu.si

Značilnosti zakrasevanja predorogene izbokline v zgornji kredi in paleogenu: severni sektor Jadranske karbonatne platforme; paleokras na trasi 2TDK

Zgornjekredno–paleogenska karbonatna zaporedja jugozahodne Slovenije in Istre odražajo prehod od dolgotrajne plitvomorske karbonatne sedimentacije na Jadranski karbonatni platformi (JKP) k sedimentaciji v perifernem delu predorogenega bazena (slika 2.1). Ta prehod označuje regionalna depozicijska nezveznost oziroma diskordanca, ki ločuje kredno karbonatno zaporedje pasivnega kontinentalnega obrobja od zgornjekrednih in/ali paleogenskih sedimentnih zaporedij sinorogene karbonatne platforme (Otoničar, 2007, 2016). Diskordanco opredeljuje nepravilno paleokraško površje z lokalnimi manjšimi boksitnimi nahajališči, pod katerim je pogosto razvit tudi kompleksen sklop podpovršinskih paleokraških pojavov oziroma votlin različnih dimenzij, zapolnjenih s sedimenti. Mednje sodijo z raztapljanjem razširjene razpoke in votline vadozne cone, horizonti manjših, močno prepletajočih se votlinic (*spongework*) ter večje freatične jame (Otoničar, 2007, 2016, 2021). Površinski in podpovršinski paleokraški pojavi kažejo na dolgotrajno, vendar prostorsko različno dolgo izpostavljenost obsežnih območij severnega sektorja JKP kopnemu in meteornim pogojem.



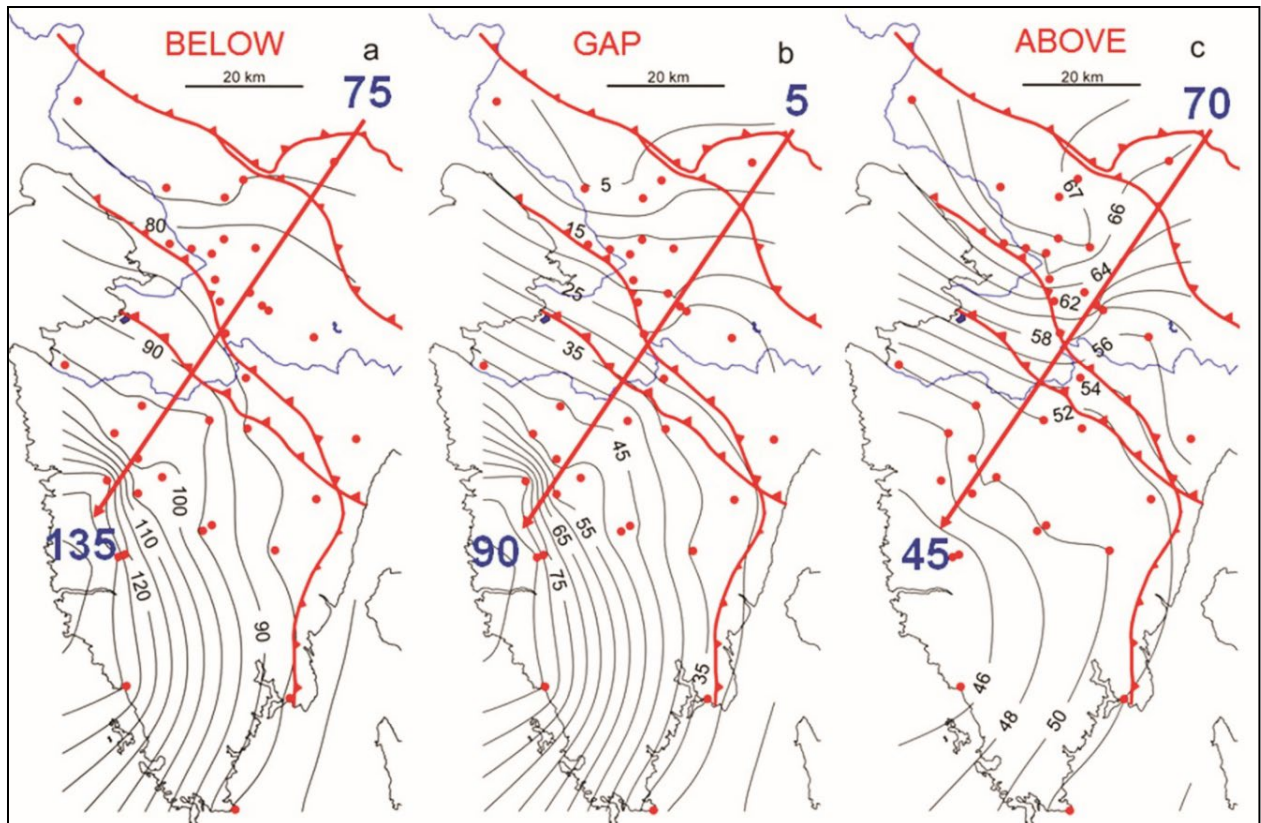
Slika 2.1: Posplošen litostratigrafski stolpec zgornjekredno-eocenskega sedimentnega zaporedja na območju Krasa in Podgrajskega podolja v jugozahodni Sloveniji s prikazom glavnih litostratigrafskih enot (prirejeno po Košir, 2003).

Na Krasu so bili nad morsko gladino dvignjeni in zakraseli predvsem plitvomorski apnenci Lipiške formacije. Temu sta sledili ponovna potopitev zakraselih predelov nekdanje JKP

pod morsko gladino in ponovna vzpostavitev karbonatne sedimentacije, ki jo predstavlja Kraška grupa (Košir, 2003; glej v nadaljevanju; slika 1). Kraška grupa vključuje Liburnijsko formacijo, Trsteljsko formacijo in Alveolinsko-numulitni apnenec ter predstavlja spodnji del sedimentnega zaporedja razvijajočega se perifernega predorogenega bazena. Bazalni del Liburnijske formacije, ki neposredno prekriva paleokraško površje, sestavljajo pretežno paralični karbonati. Ti predstavljajo zgodnji sinorogeni sedimentni pokrov nad regionalno paleokraško vrzeljo in začetek nove glavne sedimentacijske megasekvenca. Na nekaterih delih Krasa je Liburnijska formacija debela več sto metrov, kar kaže na to, da so paralična in palustrina okolja v posameznih delih platformnega sistema obstajala skozi več milijonov let dolga obdobja. Stratigrafsko zaporedje se nadaljuje z nizom sekvenc karbonatnih ramp, zgrajenih pretežno iz faciesov, v katerih prevladujejo velike bentoške foraminifere. Za najmlajši del platforme je značilno faciesno zaporedje, ki odraža retrogradacijo in potopitev platforme, nad njim pa rezmeroma tanka enota hemipelagičnega laporja, t.i. prehodne plasti, ki ustrezajo maksimalni globini bazena, in debelo zaporedje siliciklastičnega fliša (Košir, 2003; Otoničar, 2007, 2016).

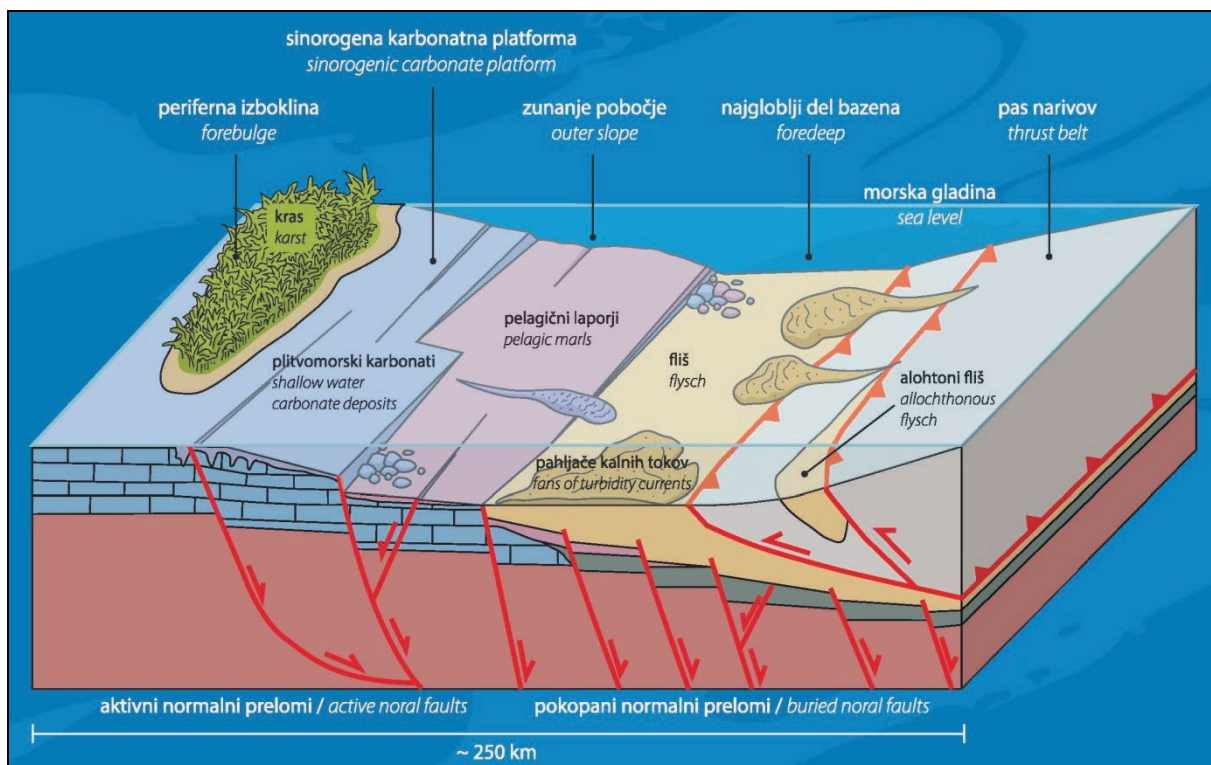
Takšno tridelno zgradbo perifernega predorogenega bazena (t.i. *underfilled trinity*) tipično sestavljajo spodnja karbonatna enota na kontinentalnem obrobju bazena ter globokomorski srednja hemipelagična enota in zgornja turbiditna siliciklastična enota (Sinclair, 1997). Paleokraška diskordanca tako predstavlja mejo megasekvenca med starejšo karbonatno platformo pasivnega roba in mlajšim sinorogenim depozicijskim sistemom.

Stratigrafski položaj in časovni razpon kronostratigrafske vrzeli se na Krasu, v Podgrajskem podolju in Istri kljub določenim odstopanjem sistematično spreminjata (slika 2.2; Otoničar, 2007, 2016). Karbonatne kamnine neposredno pod paleokraškim površjem so od severovzhoda proti jugozahodu praviloma postopoma starejše (slika 2.2a), pri čemer se v isti smeri večinoma povečuje tudi pripadajoča kronostratigrafska vrzel (slika 2b). Nasprotno so karbonatne kamnine neposredno nad paleokraškim površjem proti jugozahodu postopoma mlajše (slika 2c). Diskordanca je zato izrazito diahrona in je ni mogoče razlagati zgolj kot posledico enega samega regionalno sočasnega padca morske gladine. Njena prostorska in časovna razporeditev odražata predvsem migracijo širokega tektonsko dvignjenega območja prek severnega sektorja nekdanje JKP (Otoničar, 2007).



Slika 2.2: Izokrone (v milijonih let) starosti karbonatnih kamnin neposredno pod paleokraškim površjem (a), obsega kronostratigrafske vrzeli (b) in starosti karbonatnih kamnin neposredno nad paleokraškim površjem (c). Prikazane so tudi glavne strukturne značilnosti območja ter lokacije geoloških profilov – rdeče pike (po Otoničarju, 2016).

Sinorogena depozicijska okolja plitvomorskih karbonatov, globokomorskih hemipelagičnih laporjev in fliša so med kampanijem in eocenom postopoma migrirala v splošni smeri od severovzhoda proti jugozahodu (slika 2.3). Migracija faciesnih pasov je potekala vzporedno z migracijo nad morsko gladino dvignjene, denudirane in zakrasele periferne izbokline (Otoničar, 2007). Procesi dviga in zakrasevanja platforme, ponovne vzpostavitev karbonatne sedimentacije in razvoja sistema karbonatnih ramp, sukcesivne potopitve med poglobljanjem ter končnega pokopa karbonatne platforme z zaporedjem siliciklastičnih turbiditnih sedimentov zato predstavljajo zaporedne odzive na migracijo istega geotektonskega sistema in ne med seboj nepovezanih lokalnih dogodkov.



Slika 2.3: Shematski blokdiagram sistema predorogenega bazena prikazuje položaj orogenega klina, globokomorski predorogeni jarek (foredeep) in periferno izboklino (forebulge). Model prikazuje tudi razporeditev makrofaciesov pred zaključkom konvergence tektonskih plošč (prirejeno po Bradley in Kidd, 1991).

Regionalna diskordanca in z njo povezani paleokras predstavljata kopnemu izpostavljeni del periferne predorogene izbokline (*forebulge*) (slika 3), ki se je oblikovala zaradi upogibanja (fleksure) Jadranske litosfere pod naraščajočo obremenitvijo napredujočega orogenega klina (Bradley in Kidd, 1991; Sinclair, 1997; Otoničar, 2007). Upogibanje litosfere Jadranske plošče je povzročalo pogrezanje in izoblikovanje predorogenega jarka (*foredeep*) na eni strani ter sočasno dviganje bolj distalnih predelov plošče na drugi strani. Deli karbonatne platforme, ki so bili zajeti v predorogeno izboklino, so bili dvignjeni nad morsko gladino ter izpostavljeni meteorski diagenezi in zakrasevanju. Z nadaljnjo migracijo fleksurnega profila so se kopna območja postopoma ponovno pogreznila pod morsko gladino in postala najprej del razvijajoče se sinorogene karbonatne platforme, s subsidenco pa postopoma vse globljih sedimentacijskih okolij predorogenega bazena (Košir, 2003; Otoničar, 2007). Paleokraško površje zato predstavlja migrirajočo tektonsko-stratigrafsko mejo, povezano s pomikanjem predorogene fleksurne izbokline prek severnega sektorja Jadranske plošče in JKP kot njenega zgornjega dela.

Takšna interpretacija pojasnjuje sočasnost dviganja in kraške denudacije notranjih delov platforme ter poglobljanja in bazenske sedimentacije v zunanjih delih. Razvoj paleokrasa je bil tako primarno posledica regionalnega tektonskega dviganja, medtem ko so kratkotrajnejše spremembe morske gladine zaradi evstatičnih procesov ali lokalne subsidence/dviga ob prelomih (slika 2.3) dodatno preoblikovale paleokraško morfologijo ter sedimentni zapis jamskih sedimentov in sedimentov, ki neposredno prekrivajo paleokraško površje (Otoničar, 2007, 2016, 2021).

Natančna umestitev razvoja obravnavanega predorogenega sistema v posamezno klasično alpsko geotektonsko oziroma orogeno fazo je otežena zaradi diahrone narave deformacij in sedimentacije ter vpliva sin- in postorogenih tektonskih procesov. Kljub temu položaj in migracija nad morsko gladino izpostavljene predorogene fleksurne izbokline, regionalna razporeditev litofaciesov oziroma litostratigrafskih enot, povezanih s predorogenim bazenom, ter usmerjenost dinarskih struktur podpirajo interpretacijo povezave z mezoalpidsko oziroma »dinarsko« tektonsko fazo. Po tej interpretaciji je bil razvoj zahodnoslovensko-istrskega predorogenega bazena povezan s poševno konvergenco med Avstroalpidsko/Tisijsko domeno in Jadransko mikroploščo, verjetno ob hkratni segmentaciji Jadranskega predgorja (Otoničar, 2007).

Zgornjekredno–paleogenski paleokras Krasa, Podgrajskega podolja in Istre zato ni zgolj zapis dolgotrajne izpostavljenosti severnega segmenta nekdanje JKP kopnemu, temveč sestavni del razvoja predorogenega bazena. Njegova diahrona stratigrafija, regionalno paleokraško površje, podpovršinski jamski sistemi in pripadajoči boksiti dokumentirajo migracijo predorogene izbokline čez severni sektor Jadranske karbonatne platforme, nad paleokraškim površjem ležeči sinorogeni karbonati, hemipelagični laporji in fliš pa poznejši prehod napredujočega predorogenega bazena prek istih območij (Otoničar, 2007).

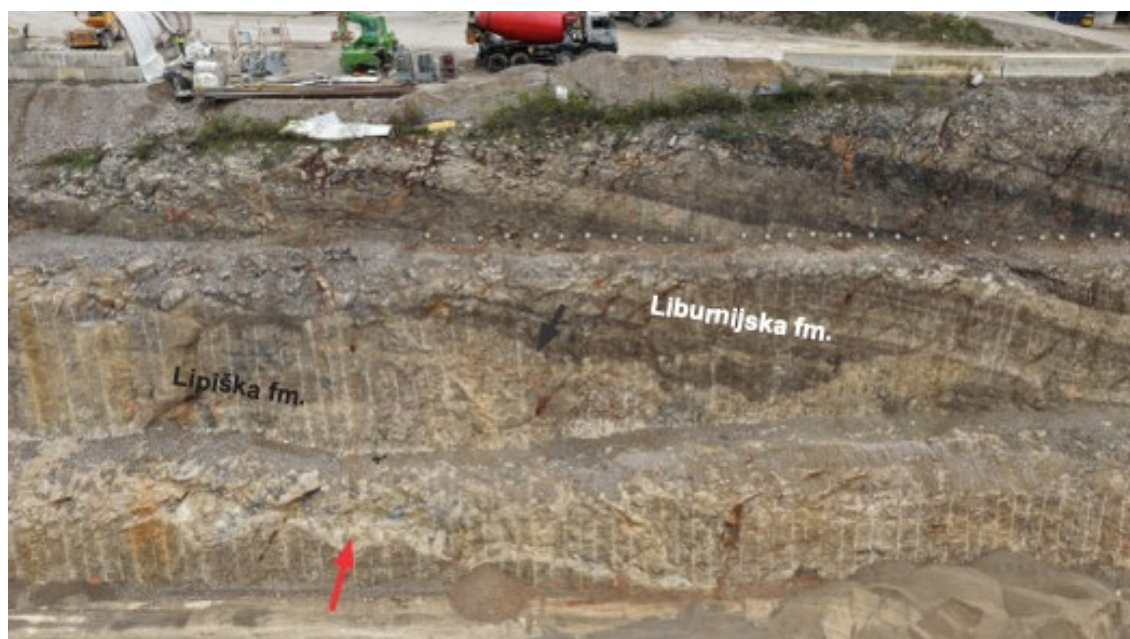
Stratigrafija zgornje krede na trasi drugega tira železniške proge Divača-Koper (2TDK)

Z gradnjo drugega tira železnice so med Divačo in Lokvijo razkrili nedvomo najpopolnejši stratigrafski profil zgornjekrednega zaporedja Jadranske karbonatne platforme v Sloveniji (slika 2.4). Neprekinjeni izdanki v več stopnicah se razprostirajo v obeh usekih trase železnice od točke na približno 0.4 km do portala predorov T1 pri nekaj manj kot 3.0 km. Vzdolž profila je nekaj močnejših razpoklinskih in prelomnih con (Jež in sod., 2026), vendar pa je zaporedje večinoma nedeformirano, z razmeroma konstantnim vpadom plasti. Stratigrafsko je v celoti sledljivo od zgornjega dela Sežanske formacije, skozi celotno debelino Lipiške formacije in v spodnjem delu Luburnijske formacije (Celarc, 2010; Jurkovšek in sod., 1996).



Slika 2.4: Pogled na gradbišče trase od predora T1 v smeri proti Divači novembra 2025 (Foto: dron, A. Košir).

Izjemni so izdanki diskordantne (diskonformne) meje med Lipiško in Liburnijsko formacijo s paleokraškimi pojavi, vidni v usekih med 2.6 in 2.8 km trase (slika 2.5).

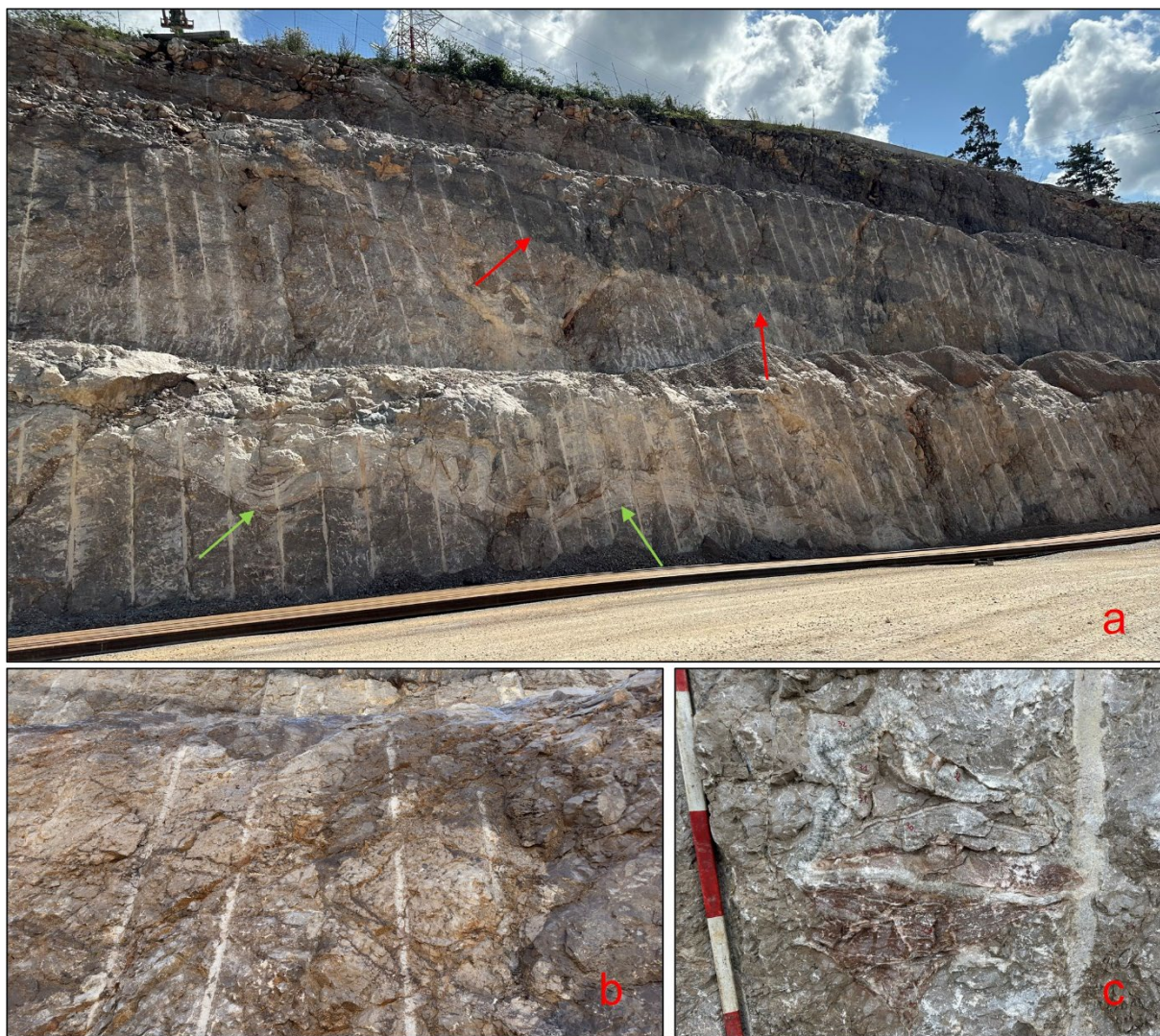


Slika 2.5: Diskonformna meja med Lipiško in Liburnijsko formacijo v ESE useku trase pri km 2.650. Črna puščica označuje valovito paleokraško površje, rdeča pa jamo, zapolnjeno s sigo (gl. sliko 5a). Debelina Liburnijske formacije od spodnje meje do portala predora je približno 50 m, nadaljuje pa se še približno 1 km v predor. V začetnem delu predora se v posameznih plasteh v Liburnijski formaciji pojavljajo značilne foraminifere (*Rhapydionina* sp.) in školjke (*Gyropleura* sp.), ki kažejo na (zgornje) maastrichtijsko starost celotnega zaporedja na trasi (foto: dron, A. Košir).

Paleokras na megasekvenčni meji

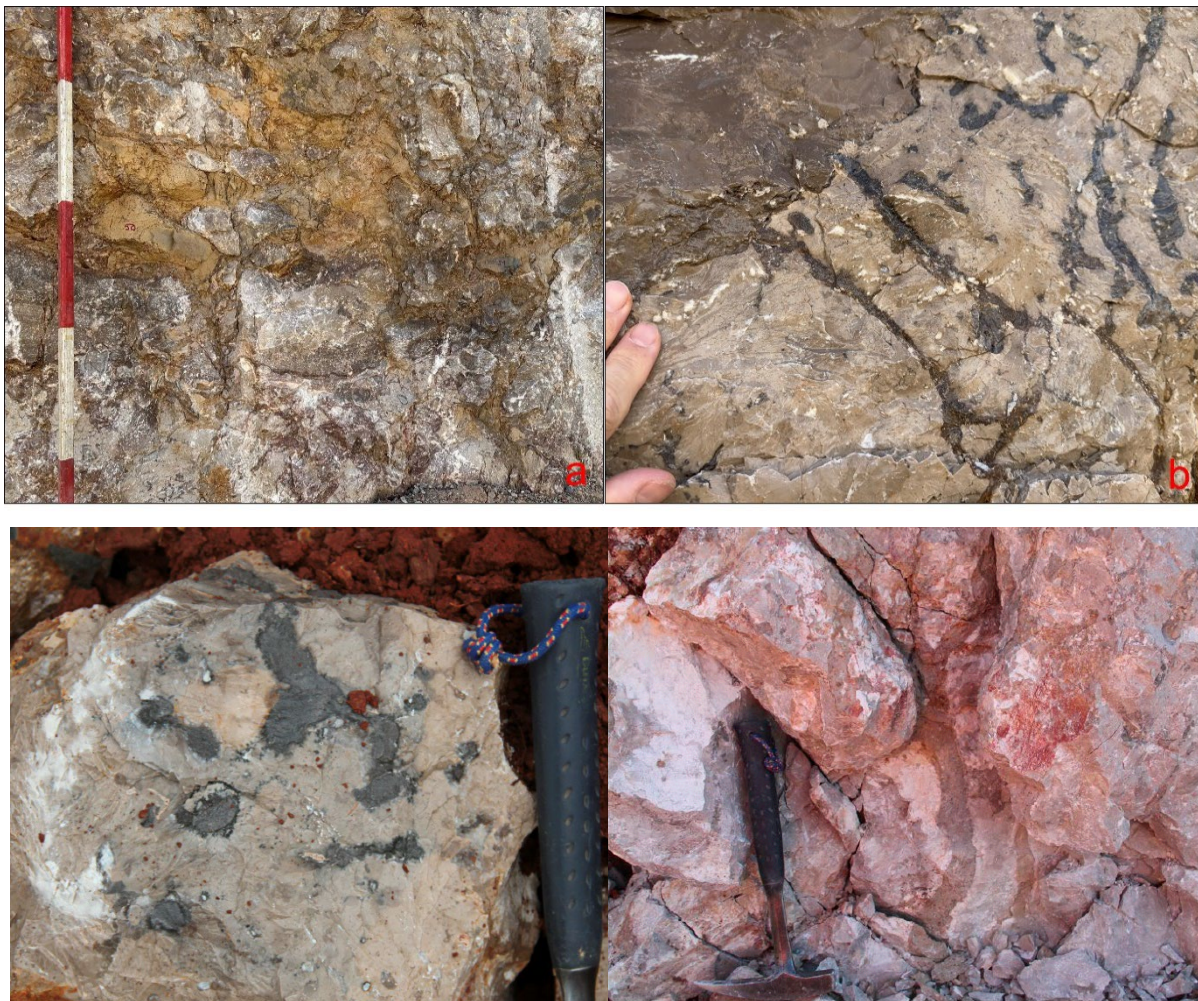
Izdanek ob trasi 2TDK je posebej pomemben, ker na kratki razdalji neposredno razkriva stik med Lipiško in Liburnijsko formacijo skupaj z dobro ohranjenim sistemom površinskega in podpovršinskega paleokrasa ter tako omogoča neposreden uvid v povezavo paleokraškega površja z jamskimi sistemi pod njim. Primerljivi odnosi med regionalnim paleokraškim površjem, manjšimi podpovršinskimi votlinami in večjimi freatičnimi jamami so dokumentirani na več mestih na Krasu in v Podgrajskem podolju (Otoničar, 2007, 2016, 2021) ter v Istri (Otoničar, 2016; Otoničar in Košir, 2025), vendar so običajno zaradi narave izdankov kraške oblike in odnosi med njimi manj očitni.

V železniškem useku približno 400 m pred predorom T1 trase 2TDK iz smeri Divača–Lokev je zaradi izrazitega litološkega in barvnega kontrasta dobro vidna meja med masivnimi svetlo sivimi apnenci Lipiške formacije ter plastovitimi temno- in srednjesivimi apnenci Liburnijske formacije (slika 2.6a). Obe formaciji sta na tem mestu zgornjekredne starosti. Meja med njima ni ravna, temveč jo opredeljuje nepravilno valovito paleokraško površje z amplitudo do nekaj metrov. Približno 10 metrov pod njim (v stratigrafskem smislu) se v Lipiški formaciji nahaja velika, izrazito horizontalno razpotegnjena paleokraška jama, zapolnjena s sigo in sedimentom. Razkrita je na obeh straneh useka in jo genetsko povezujemo z nad njo ležečim paleokraškim površjem (slika 2.6a). Med veliko jamo in površjem se pojavljajo manjše, s sedimentom zapolnjene votline in razširjene razpoke (slika 2.6b), neposredno pod jamo pa posamezne, do nekaj decimetrov velike »geode« (slika 2.6c).



Slika 2.6: Pojavi zgornjekrednega paleokrasa v useku trase 2TDK pred predorom T1 (foto: B. Otoničar): **a)** Nepravilno paleokraško površje ločuje masivne svetlosive apnence Lipiške formacije od plastovitih temneje sivih apnencev Liburnijske formacije (rdeči puščici). Približno 10 stratigrafskih metrov pod paleokraškim površjem je dobro vidna laminirana svetlosiva siga (zeleni puščici), ki prekriva spodnji del izrazito horizontalno razpotegnjene paleokraške jame (v prvotni legi); **b)** Neposredno pod nepravilnim paleokraškim površjem so apnenci Lipiške formacije preprejeni z razširjenimi razpokami, manjšimi vadoznimi votlinami in rizoliti (paleoepikras). Širina slike je približno 4 m; **c)** »Geoda« oziroma freatična paleokraška votlina, zapolnjena s sedimentom in sigo ter v zgornjem delu obrobljena z debelozrnatim freatičnim kalcitom. Posamezen razdelek na merski palici meri 20 cm.

Paleokraško površje je nepravilno, s kotanjami, globokimi do nekaj metrov, in je večinoma neposredno prekrto s temno sivimi apnenci Liburnijske formacije (slika 2.6a, b), v posameznih kotanjah pa tudi z brečo in manjšimi krpami boksita. Razširjene razpoke, kraški žepi in manjše votline med paleokraškim površjem in veliko jamo so zapolnjeni s temno sivim apnencem Liburnijske formacije, lokalno pa deloma tudi z boksitom, sestavljenim predvsem iz boehmita in kaolinita (slika 2.7a). Ponekod segajo več kot meter pod paleokraško površje nekaj centimetrov široki, prepletajoči se subvertikalni rovi, zapolnjeni s temno rjavim karbonatnim sedimentom, bogatim s pedogenimi globulami (slika 2.7b).

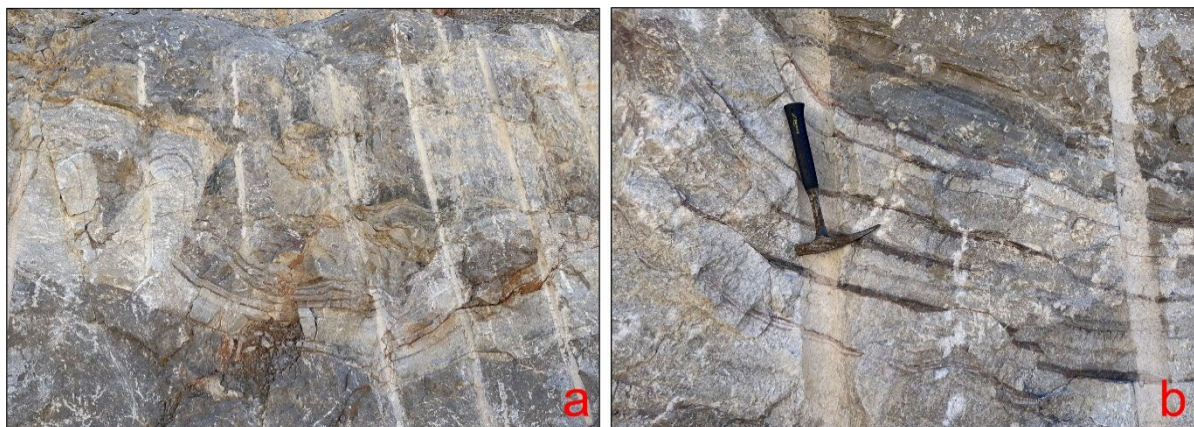


Slika 2.7: Zapolnitve nepravilnih votlin in rogov med paleokraškim površjem in freatično jamo: **a)** Spodnji del votline zapolnjuje drobno laminiran mikrit (levo od merske palice z 20 cm razdelki), zgornji del pa boksit (št. 50; foto: B. Otoničar). **b)** Neposredno pod paleokraškim površjem, razpoznavnim po izrazitem kontrastu, se pojavljajo nepravilni, prepletajoči se rovi – z raztapljanjem razširjeni koreninski sistemi oziroma koreninski kras, zapolnjeni s temno rjavkasto-sivim sedimentom s paleotalnimi teksturami (foto: B. Otoničar). **c)** Votline, zapolnjene s temnim glinasto-karbonatnim sedimentom s piritom, koncentriranim predvsem ob robu votlin (foto: A. Košir). **d)** Subvertikalne, cilindrične votline v apnencu Lipiške formacije, zapolnjene s sivorjavim (oksidiranim) glinastim sedimentom s klasti apnenca (foto: A. Košir).

Veliki jami, visoki do približno 2 m, lahko v paleohorizontalni smeri sledimo več deset metrov, daleč v obe smeri (slika 2.6a). Ker je razkrita na obeh straneh useka, je bila verjetno široka več deset metrov in bi jo lahko interpretirali kot širok jamski kanal ali nizko, izrazito horizontalno razpotegnjeno dvorano. Jamsko dno je rahlo valovito, prvotno oblikovanost stropa pa je na terenu težje določiti, saj so karbonatni jamski sedimenti mestoma po barvi ter strukturnih lastnostih zelo podobni prikamnini.

Spodnji del jame je ponekod prekrit z več kot meter debelo plastjo laminirane kristalaste sige, iz katere mestoma izraščajo stalagmiti (slika 2.8a). Višje se siga izmenjuje z laminiranimi rdečkastorjavimi in sivkastimi mikritnimi sedimenti (slika 2.8b), ki proti vrhu jamske zapolnitve prevladajo. Zgornje dele jame lokalno zapolnjujejo masivnejši sivi do rjavkasto-sivi sedimenti, ponekod z večjimi intraklasti. Manjše votline neposredno pod veliko jamo so mestoma geopetalno zapolnjene z rdečkastorjavim laminiranim mikritom

(slika 2.6c). Preostali prostor so nato z vseh strani obrasli debeložrnati kalcitni kristali, preostanek votline pa je bil pozneje zapolnjen s sivkastim karbonatnim sedimentom (slika 2.6c).



Slika 2.8: Zapolnitev velike, horizontalno razpotegnjene paleokraške jame (foto: B. Otoničar): **a)** Spodnji del jame je večinoma prekrit z laminirano debeložrnato sigo, iz katere ponekod izraščajo stalagmiti (desna stran slike); širina slike je približno 5 m; **b)** Laminirana siga se navzgor vse pogosteje izmenjuje z mikritom, ki naposled prevlada. Siga je bila ponekod pred odložitvijo mikrita deloma raztopljena (desno od kladiva).

Interpretacija nastanka paleokraškega sistema

Natančnejše petrografske, mineraloške in izotopske analize jamskih in površinskih paleokraških sedimentov ter njihove faciesne in biostratigrafske analize karbonatov Lipiške in Liburnijske formacije so še v delu, zato je interpretacija razvoja paleokraškega sistema preliminarne. Temelji predvsem na terenski analizi razmerij med paleokraškim površjem, votlinami, sigo in jamskimi sedimenti ter na primerjavi z bolj raziskanimi analognimi primeri na Krasu, v Podgrajskem podolju in Istri (Otoničar, 2007, 2016, 2021; Otoničar in Košir, 2016, 2025).

Pri pojavih na trasi 2TDK gre za paleokras *v ožjem pomenu besede*, saj so bili še diagenetsko razmeroma nezreli karbonatni sedimenti oziroma apnenci razmeroma kmalu po odložitvi dvignjeni nad morsko gladino, izpostavljeni meteornim ter mešanim meteorno-morskim hidrološkim in diagenetskim pogojem ter zakraseli.

Po naši interpretaciji je bila emerzija povezana z migracijo periferne predorogene izbokline prek Jadranske plošče in Jadranske karbonatne platforme. Obravnavani del platforme, razmeroma blizu predorogenemu sistemu, je bil zato med prvimi dvignjen nad morsko gladino, vendar je bil v primerjavi z bolj distalnimi deli tudi razmeroma zgodaj ponovno poplavljen zaradi nadaljnje migracije fleksurnega profila in napredovanja orogenega klina. Takšna razlaga je skladna z regionalnim modelom diahronne migracije predorogene fleksurne izbokline (glej zgoraj; Otoničar, 2007). Čeprav je bila kopenska faza verjetno razmeroma kratka, je trajala dovolj dolgo za razvoj izrazitih površinskih in podpovršinskih kraških oblik ter nastanek oziroma dozorevanje boksita.

Relativno uravnano paleokraško površje z manjšimi kotanjami in kraškimi žepi, velika jama plitvo pod njim ter bolj ali manj konkordantne plasti nad paleokrasom kažejo na blag, razmeroma uravnan paleorelief. Veliko jamo lahko interpretiramo kot haloklino jamo, nastalo pretežno v območju mešanja meteorne oziroma brakične podzemne vode z morskno vodo.

Prepletajoče se subvertikalne rove neposredno pod paleokraškim površjem, zapolnjene s sedimentom s pedogenimi globulami, razlagamo kot zapolnjene, s koreninsko korozijo poudarjene vertikalne kanale oziroma kot t. i. koreninski kras (Otoničar, 2016). Na podlagi morfologije voltin in mikrotekstur v zapolnitvah sklepamo, da je bilo površje vsaj lokalno poraslo z grmičevjem in/ali manjšimi drevesi. Kopenska vegetacija se je razlikovala od vegetacije priobalnih sladkovodnih oziroma brakičnih močvirij, katerih obstoj nakazujejo plasti premoga in pedogeno spremenjenih (palustrinih) karbonatov v različnih delih zaporedja Liburnijske formacije. Na morske hidromorfne procese kažejo pojavi pirita v kaolinitno-boksitnih zapolnitvah kraških in koreninskih votlin (slika 2.7c) ter v vezivu paleokraške breče do nekaj metrov pod paleopovršjem.

Kopnina je bila dovolj obsežna, da se je v njenem podzemlju lahko razvila meteorna sladkovodna leča. Ta je omogočala razvoj jam v območju mešanja meteorne in morske vode, hkrati pa je površinski vegetaciji zagotavljala sladko vodo. Na obstoj sladkovodnih okolij kažejo tudi najdbe zgornjekrednih fosilnih vretenčarjev, med njimi dinosavrov in krokodilov, v domnevno podobno starih paleokraških sedimentih pri Kozini (Debeljak in sod., 2002). Stratigrafsko zaporedje bazalnega krednega dela Liburnijske formacije v profilu pri Kozini, ki je približno 5 km oddaljen od trase pri Lokvi, je podobno, a bistveno tanjše kot na trasi železnice (Balaić in sod., 2026).

Izrazita dvodimenzionalna, paleohorizontalna geometrija velike jame, njen položaj razmeroma plitvo pod nekdanjim površjem in del sedimentnega inventarja podpirajo hipotezo o njenem nastanku v območju mešanja meteorne in morske vode. Z nadaljnjim razvojem sistema je bila jama umeščena v vadozno cono, kjer se je odložila siga. Njeno izmenjevanje z laminiranimi sedimenti kaže na poznejše oziroma občasno poplavljanje jame, povezano bodisi z visečo podzemno vodo, izrazitejšimi padavinskimi oziroma nevihtnimi dogodki bodisi s postopnim dvigovanjem gladine podzemne vode. Izvora laminiranih sedimentov v sedanji fazi raziskav še ni mogoče zanesljivo določiti; lahko so avtohtoni in/ali paravtohtoni oziroma alohtoni.

Na spremembe hidroloških razmer kažejo tudi veliki kalcitni kristali, ki obrobljajo zgornje dele nekaterih manjših votlin neposredno pod veliko jamo in so se po naši interpretaciji odložili v freatičnih pogojih.

Primerljivi paleokraški sistemi, v katerih so dokumentirani vadozni in freatični pogoji ter speleogeneza ob stiku meteorne oziroma brakične leče z morskno vodo, so znani pri Kozini

in Podgradu (Otoničar, 2007, 2016, 2021) ter na polotoku Ubac pri Koromačnu v Istri (Otoničar in Košir, 2016, 2025).

Temno sivi mikritni apnenec, ki zapolnjuje preostale prostore nad jamskimi sedimenti in je že makroskopsko analogen faciesom Liburnijske formacije, se je po naši preliminarni interpretaciji odlagal med ponovno morsko transgresijo, domnevno predvsem v mešanih sladkovodnih in brakičnih okoljih, ki so se na zakraselem izravnanim površju formirala ob dvigu nivoja podzemne vode sočasno z morsko transgresijo. Jama je bila ob tem ponovno poplavljen; sprva so lahko še prevladovali mešani meteorno-morski pogoji, nato pa je okolje postopoma prešlo v pretežno morsko. Zapolnjevanje jamskega sistema tako zaznamuje prehod od kopenske izpostavljenosti in zakrasevanja prek ponovne preplavitve do obnovljene karbonatne sedimentacije Liburnijske formacije. Takšen razvoj je skladen z regionalnim zaporedjem dviga karbonatne platforme nad morsko gladino, razvoja paleokrasi ter poznejše transgresije in obnovljene sinorogene karbonatne sedimentacije (Otoničar, 2007, 2016, 2021).

Literatura

Balaić, L., Košir, A., Martín-Pérez, A., Otoničar, B., 2026. Flooding of a karstified foreland-basin carbonate platform: facies successions of the basal part of the Liburnian Formation on Kras. *7. slovenski geološki kongres*, Lipica, knjiga povzetkov.

Bradley, D. C., Kidd, W. S. F., 1991. Flexural extension of the upper continental crust in collisional foredeeps. *Geological Society of America Bulletin* 103, 1416–1438.

Celarc, B., 2010. *Geološko – geomehanske raziskave in raziskave krasi za potrebe izdelave projektne dokumentacije za fazo PGD za drugi tir železniške proge Divača – Koper, odsek Divača – Črni Kal*. Geološki zavod Slovenije, 49 str., Ljubljana.

Debeljak, I., Košir, A., Buffetaut, E., Otoničar, B., 2002. The Late Cretaceous dinosaurs and crocodiles of Kozina (SW Slovenia): a preliminary study. *Memorie della Società Geologica Italiana* 57, 193–201.

Jež, J., Košir, A., Uršič Arko, A., 2026. *Geološki nadzor pri gradnji drugega tira železniške proge Divača-Koper. Končno poročilo*. Geološki zavod Slovenije, 352 str., Ljubljana.

Jurkovšek, B., Toman, M., Ogorelec, B., Šribar, L., Drobne, K., Poljak, M. in Šribar, L., 1996. Formacijska geološka karta južnega dela Tržaško – Komenske planote. Kredne in paleogene karbonatne kamnine. 1: 50.000. – 143 str. in geološka karta. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

Košir, A., 2003. Litostratigrafska revizija zgornje krede in paleogena v jugozahodni Sloveniji. *Geološki zbornik* 17, 92–98.

Otoničar, B., 2007. Upper Cretaceous to Paleogene forebulge unconformity associated with foreland basin evolution (Kras, Matarsko Podolje and Istria; SW Slovenia and NW Croatia). *Acta Carsologica* 36, 101–120.

Otoničar, B., 2016. Stratigraphy and evolution of the forebulge related paleokarst – introduction to excursions A and C. In: Otoničar, B., Gostinčar, P. (Eds.), *Paleokarst: Abstracts in Guide Book, 24th International Karstological School "Classical Karst", Postojna 2016*. Karst Research Institute,

Scientific Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts, Postojna; ZRC Publishing, Ljubljana, pp. 42–50.

Otoničar, B., 2021. Speleogenesis and depositional history of paleokarst phreatic caves/cavities; Podgrad, SW Slovenia. *Acta Carsologica* 50, 67–96.

Otoničar, B., Košir, A., 2016. Cretaceous-Tertiary paleokarst from Ubac Peninsula (Istria, NW Croatia): an example of paleokarstic phreatic cave (no. 2). In: Otoničar, B., Gostinčar, P. (Eds.), *Paleokarst: Abstracts in Guide Book, 24th International Karstological School "Classical Karst", Postojna 2016*. Karst Research Institute, Scientific Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts, Postojna; ZRC Publishing, Ljubljana, pp. 88–99.

Otoničar, B., Košir, A., 2025. Paleokarst cave breccia (Istria, NW Croatia). In: *Proceedings of the 19th International Congress of Speleology and 38^o Congresso Brasileiro de Espeleologia, Belo Horizonte 2025*, Vol. I.

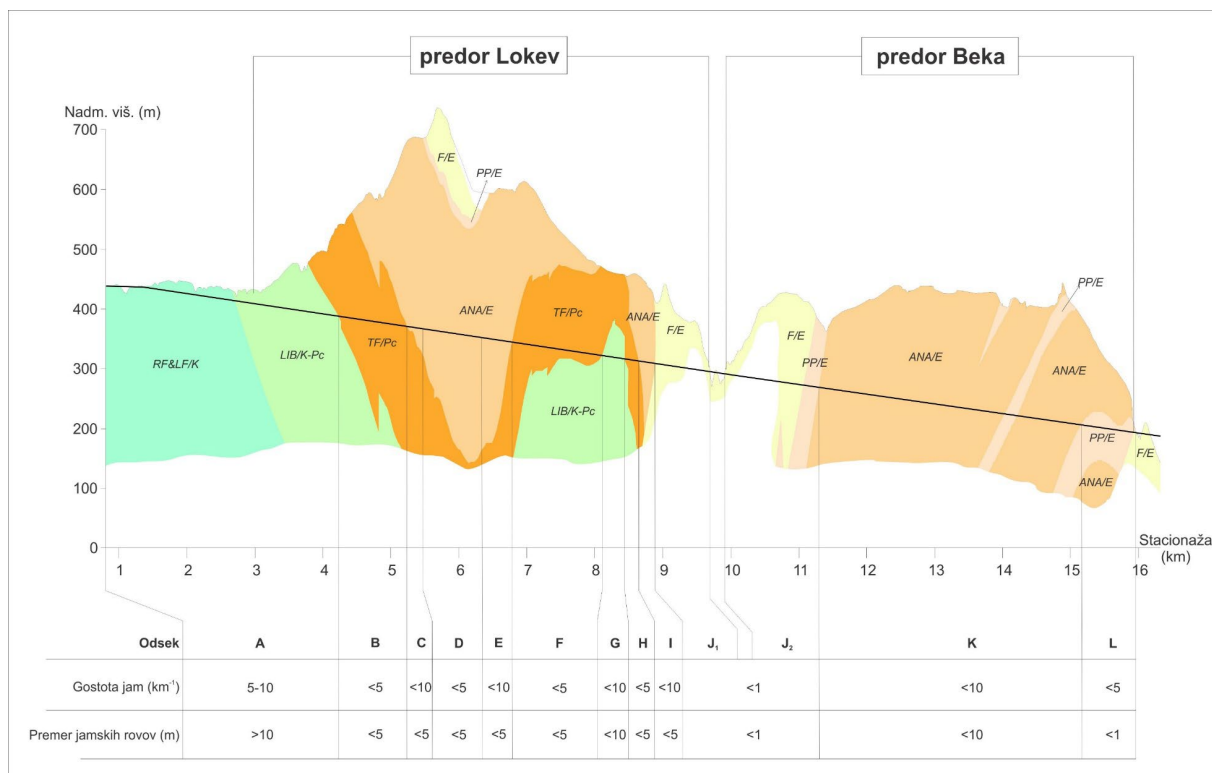
Sinclair, H. D., 1997. Tectonostratigraphic model for underfilled peripheral foreland basins: an Alpine perspective. *Geological Society of America Bulletin* 109, 324–346.

2.2 Krasoslovni nadzor med gradnjo 2TDK

Mitja Prelovšek¹

¹ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje krasa, Titov trg 2, 6230 Postojna, Slovenija; prelovsek@zrc-sazu.si

Drugi tir med Divačo in Koproj poteka v najvišjem delu, torej med Divačo in Črnim Kalom, večinoma v apnencih (slika 2.9). Gradbeno gledano gre za območje vkopa ter dveh najdaljših predorov, T1 (Lokev, 6,7 km) in T2 (Beka, 6,0 km), medtem ko vmesni del čez v flišne kamnine zarezano Glinščico premošča viadukt. Ker so apnenci v veliki meri zakraseli, smo krasoslovci sodelovali v fazi umeščanja v prostor (prilagoditev trase glede na jame), projektiranja (teoretično premoščanje jam, ocena številčnosti in dimenzij pričakovanih kraških pojavov) ter same gradnje (dokumentiranje kraških pojavov, usklajevanje naravovarstvenih in tehničnih rešitev premoščanja, krasoslovna interpretacija geofizikalnih podatkov). Delo je bilo svojevrsten izziv predvsem z vidika prostorske obsežnosti (sočasen izkop dveh dvocevni predorov iz obeh smeri, torej 8 izkopnih čel ter površinski del), dolgotrajnosti del (med odkritjem prve in zadnje jame je minilo skoraj 5 let, večji del se je odkopaval po sistemu 24/7 skoraj vse dni v letu), odzivnosti (raziskava praviloma nekaj ur po obvestilu o odkritju, do odločitve o premoščanju so bila izkopna dela na čelu prekinjena) in nepredvidljivosti (obsežnost jam, tehnična zahtevnost raziskav in dokumentiranja, unikatnost tehničnega premoščanja in naravovarstvene zaščite). V nekaj jamah se je moralo počakati na zmanjšanje koncentracije CO₂, ki nastaja ob miniranju, precej pogostejši varnostni problem pa je porušenost kamnine zaradi miniranja. Velja poudariti, da so pozitivne izkušnje rezultat dela z drugimi strokovnimi ekipami (geologi, gradbeniki, hidrogeologi, geofiziki), predstavniki naročnika in izvajalci.

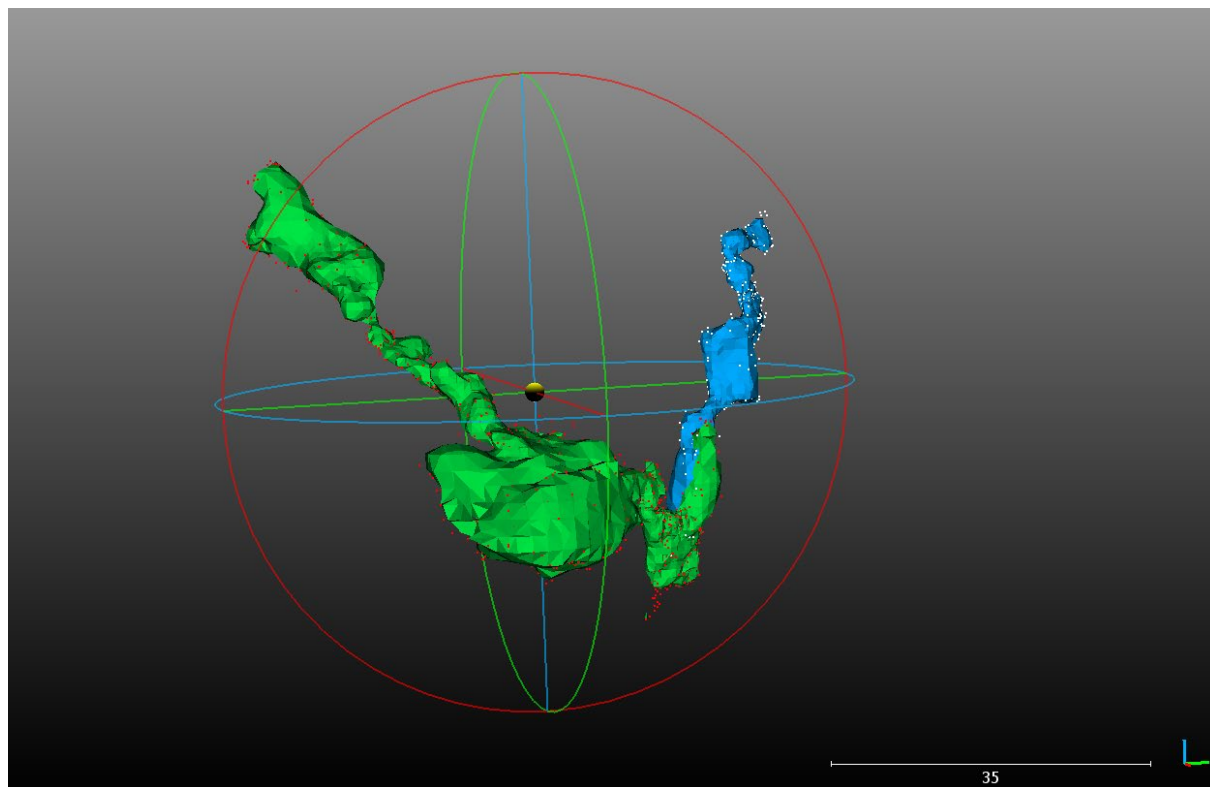


Slika 2.9: Napoved števila in velikosti jam v zgornjem, to je kraškem delu 2TDK, ki se je v grobem zelo dobro potrdila. Izjema je bilo območje med 7 in 9 km, kjer so ostanki starejših ponikalnic.

Metode raziskav

Vse jame so bile ročno kompasno izmerjene z redno kalibriranim merilcem upoštevaje računsko pričakovano magnetno deklinacijo, pomembnejše v bližini vhoda lasersko 3D skenirane. Vsi merski podatki so pripeti na geodetsko določeno izhodiščno koordinato, zato lahko govorimo o decimetrski in pri daljših jamah metrski natančnosti. Jame so sestavina BIM modela predora. Na terenu smo bili pozorni predvsem na geološke in geomorfološke karakteristike jam (inicialne strukture, okolje razvoja, alohtoni sedimenti), hidrološke (prisotnost večje količine vode, višina in pogostnost poplavljanja), meteorološke (gibanje zraka, koncentracija CO₂ in drugih redkejših plinov), speleobiološke (prisotnost in številčnost podzemnih živali), naravovarstvene (jamski inventar, premoščanje s čim manj vplivi na jame) in geotehnične (stabilnost rogov). Gre za izrazito multi- in interdisciplinarno področje pretežno naravoslovnih ved, ki se jim pridružujejo tudi tehnične (gradbeništvo, geodezija). Jedro krasoslovnega nadzora kljub temu izhaja iz speleologije kot vede o kraških jamah. Za vsako jamo so bili pripravljeni nekajstransko poročilo, tloris in iztegnjen profil, oblak točk meritev in 3D model (slika 2.10), ki v celoti obsegajo več kot tisoč strani dokumentacije. Urejena je tudi foto- in videodokumentacija. Daljše in pomembnejše jame so se obravnavale večkrat. Geofizikalne raziskave so na terenu izvajali za to specializirani izvajalci (Bo-Ra-tec GmbH in GEODATA mbH) ob pomoči IRGO, krasoslovna interpretacija je temeljila na procesiranih refrakcijskih radagramih upoštevaje lokalne krasoslovne značilnosti; v vrtinah je bila povsem ustrezna napoved odkritih jam 67 %, delno ustrezna napoved 27 %, le 6 % jam je bilo spregledanih (odsotna

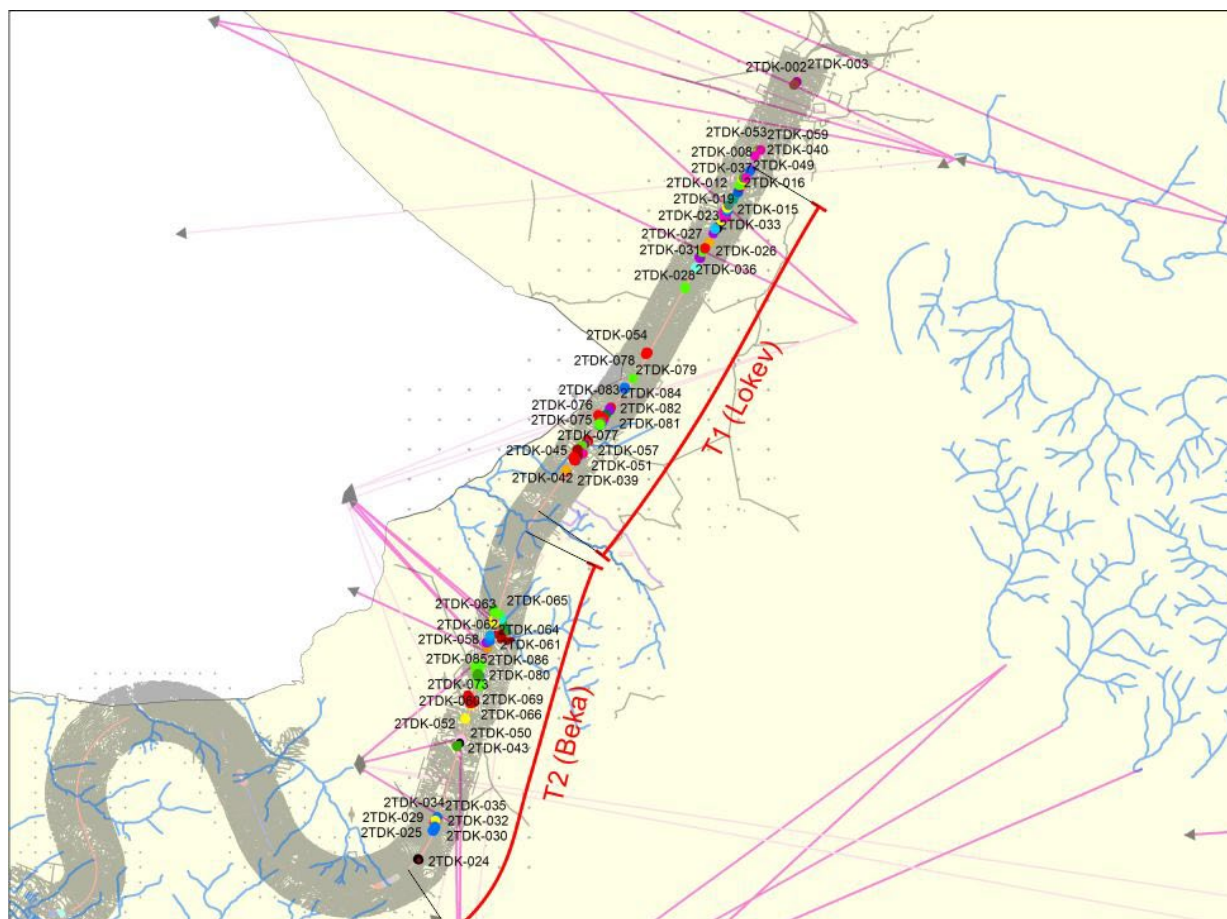
ali izjemno šibka refrakcija), preostanek jam pa je bil odkrit ob odsotnosti vrtine (večinoma tehnični problemi).



Slika 2.10: Jama 2TDK-052 je bila raziskana iz smeri dveh vhodov kar kažejo različne barve. Povedna je tudi točnost sicer kompasnih (»jamarskih«) meritev jam, ki znaša v tem primeru nekaj dm.

Splošen povzetek raziskav

Napoved o 110 jamah je sicer temeljila na podatkih krasoslovne spremljave gradnje primorskega dela AC, katastra jam in geoloških formacijah, a je bila kljub temu drzna, saj neposrednih izkušenj s tako globokim predorom v bližini kraške podtalnice še nismo imeli. Z raziskanimi 99 jamami se bistveno nismo zmotili (slika 2.11). Skupna dolžina na novo izmerjenih jamskih rogov znaša slabih 6,6 km, kar je le dobrih sto metrov manj od najdaljšega predora na trasi (T1). Na površinski trasi med Divačo in severnim portalom predora Lokev je bilo odkritih 22 jam, v predoru Lokev 52, v predoru Beka pa 25. Jame na površinski trasi so bile večinoma kratke (skupna dolžina 0,2 km, povprečno 11 m), v predoru Lokev daljše (skupna dolžina 3,7 km, povprečno 71 m), v predoru Beka pa v povprečju še daljše (skupna dolžina 2,6 km rogov, povprečno 105 m). Vseh 99 jam je novih, v nobeni se ni prišlo v znane dele že raziskanih jam, kar govori o relativno temeljitih jamarskih raziskavah. Kljub temu nekatere jame z bližino ali prepihom kažejo na povezanost z znanimi jamami, zlasti Beško-ocizeljskim jamskim sistemom in Breznom na Škrklovici oz. Jamo v predoru Kastelec; ni pa nujno, da je prehod mogoč, saj so vmes lahko podori in ožine.



Slika 2.11: Prostorski prikaz na novo odkritih jam vzdolž kraškega odseka 2TDK. Odsotnost med predoroma je posledica fliša v dolini (sinklinali) Glinščice, na sredini predora Lokev pa flišnega pokrova hriba Gradišče.

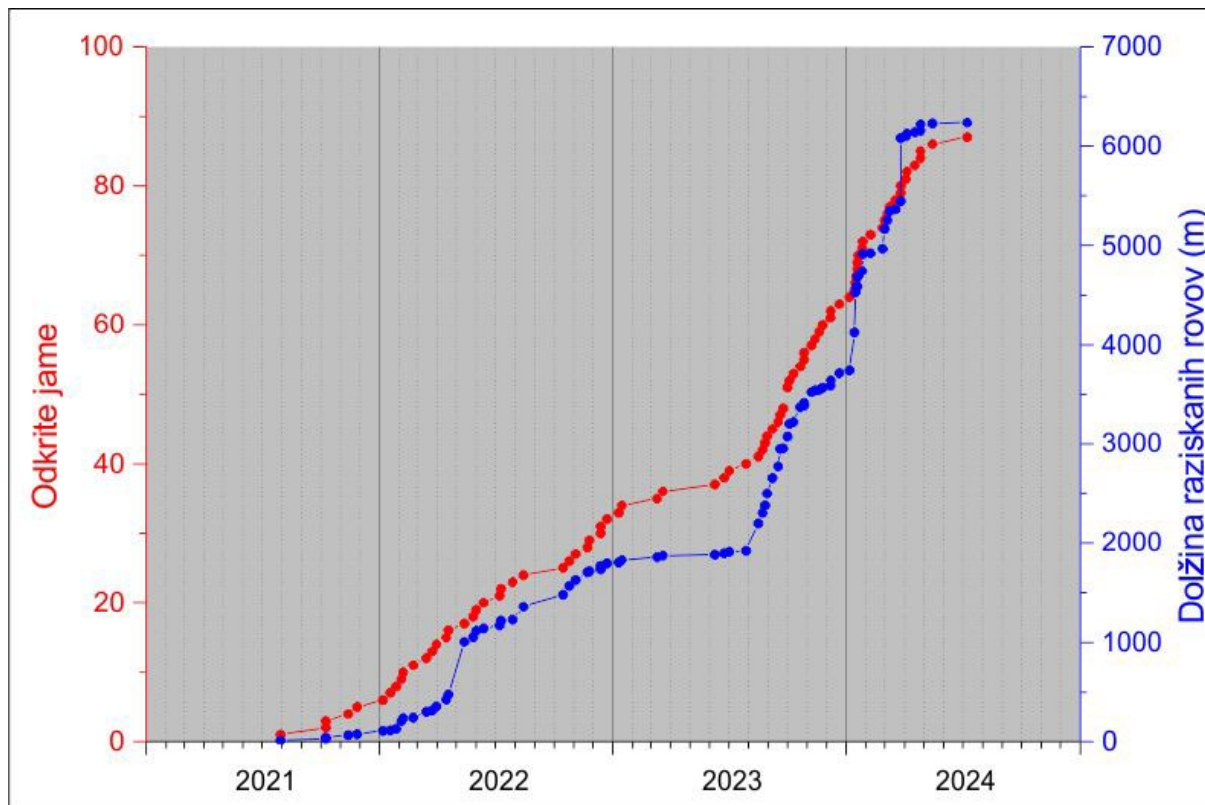
Za najdaljšo se je z dobrimi 702 m izkazala jama 2TDK-080. Slednja je bila tudi edina med 99 jamami, ki je bila zaradi predhodnih raziskav vnaprej znana (jamo je prebila globoka vrtina, ni bil pa znan prostorski obseg jame).

Najgloblje se je prišlo v predoru Lokev jami 2TDK-017 (-168 m), ki je od zgornjega portala predora Lokev oddaljena okoli 670 m. Tam je tudi največji globinski potencial do gladine kraške podtalnice, ki je v bližini jame 2TDK-017 zagotovo globlja od 240 m n.v. (najnižja točka jame). Ta jama se je izkazala tudi za razmeroma dolgo (530 m), saj sledi vhodni seriji več kot trideset metrov globokih brezen obsežen splet vodoravnih rogov pod predorskima cevema. Rovi se končajo v zožitvah, glavni, kamor izgine preprih, je zasut s podornimi bloki. V nižjih delih jame smo naleteli na premog Liburnijske formacije.

Niso pa bili vsi apnenci zakraseli – na dobrem 2,6 km dolgem odseku med km5+080 in km7+720 v predoru Lokev ni bila zabeležena niti ena jama, tudi izkopno čelo je bilo večinoma suho, kar je očitna posledica flišnega pokrova hriba Gradišče nad tem odsekom, ki omejuje vadozno zakrasevanje, medtem ko ne izključuje (epi)freatičnih rogov pod nivoletu izkopa v bližini kraške podtalnice.

Delo je bilo izjemno naporno zlasti v obdobju med letoma 2023 in 2024, ko se je v preseku enega leta raziskalo in dokumentiralo 49 jam s skupno dolžino 4,5 km (slika 2.12). Zgodilo se je, da smo v poznem večernem času po raziskavi ene jame na izhodu iz predora dobili

obvestilo o odkritju jame v drugem predoru, medtem ko se je urejalo meritve in dokumentacijo za predhodno odkrite jame. Nemalokrat je nočnim raziskavam sledilo urejanje merskih podatkov, izris načrta in priprava poročila, da bi se lahko sprejele odločitve o premoščanju in izkopna dela lahko nadaljevala, kar je predstavljalo precejšen psiho-fizičen napor, ki ni smel biti izjema za varno opravljanje terenskega dela.



Slika 2.12: Časovni potek odkrivanja jam do sredine 2024 (90 jam) z izjemno intenzivnim obdobjem 2023-2024.

Genetski razvoj jam glede na hidrološke cone krasa

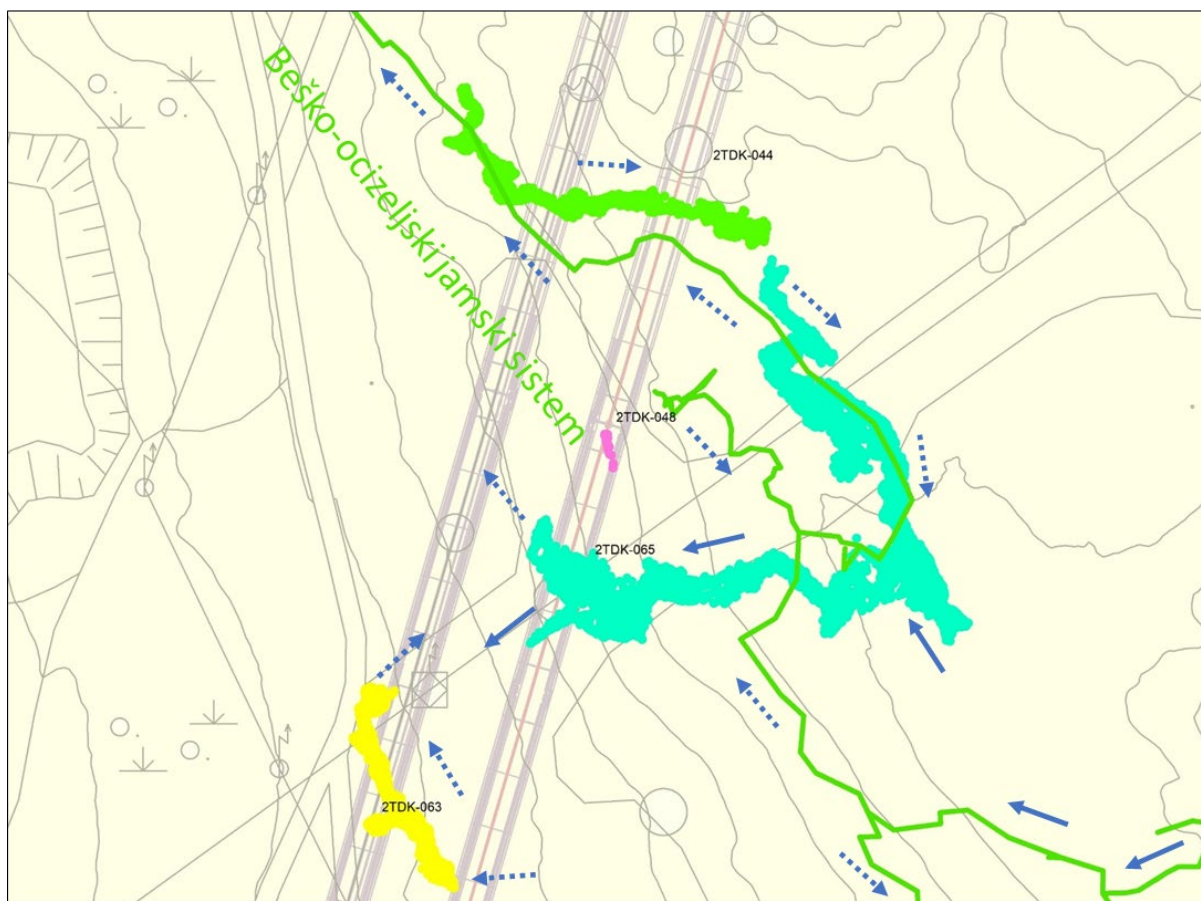
Večina jam se je nahajala v vadozni coni, to je v višini subvertikalnega prenikanja vode in nad višino najvišjih dvigov poplavne vode. To je povsem karakteristično za površinski del trase, kjer prevladujejo vadozna brezna. Freatični deli jam, ki so bili oblikovani pod višino podtalnice in so kasneje prešli v vadozno cono zaradi spusta gladine podzemne vode, so redki in kratki. Bolj pogosti postanejo v predoru Lokev, kjer se predor spušča in pod Krvavim Potokom praktično spusti na nivo nihanja poplavne vode. V najgloblji na novo raziskani jami, to je 2TDK-017, vhodnemu reliktnemu freatičnemu rovu sledi serija več kot 40 m globokih vadoznih brezen, spodaj pa subhorizontalen sistem (epi)freatičnih rovov. Kombinacija freatičnih in vadoznih rovov je bila očitna zlasti pri večjih jamah, saj slednje postopno prehajajo iz freatičnih v vadozne razmere. Vmesno fazo (epifreatičen razvoj) najpogosteje karakterizirajo nanosi ilovice in podiranja.

Stalno pod gladino poplavne vode leži južni del predora Beka z jamo 2TDK-024, tam je vodna gladina tudi ob nizkem vodostaju okoli 10 m nad temenom predora. Ta del leži neposredno nad valovito subhorizontalno narivnico Črnokalskega nariva z apnenčasto krovino in flišno talnino. Osrednje in severno območje predora Beka do kontakta s

flišnimi kamninami leži v coni nihanja poplavne vode; ocenjuje se, da ima poplavnost višine predora povratno dobo 5-10 let. Pri tem se je obdobje izkopa izkazalo za srečno, saj visokih dvigov podtalnice v tem času ni bilo; če bi se pojavile intenzivne padavine s 5-10 letno povratno dobo, bi bili poplavljeni vsaj nekaj sto metrski odseki čel obeh predorov kopanih navzdol iz smeri Divače. Višina trase se je z vidika višine kraške podtalnice izkazala za izredno dobro opredeljeno, saj bi bila ob višjem poteku trasa pri Črnem Kalu neutemeljeno visoko, že za 10-20 m globlji potek pa bi se odražal v bistveno večjih problemih z odvajanjem vode zlasti med gradnjo.

Povezanost z Beško-ocizeljskim jamskim sistemom in hidrološko premoščanje jam

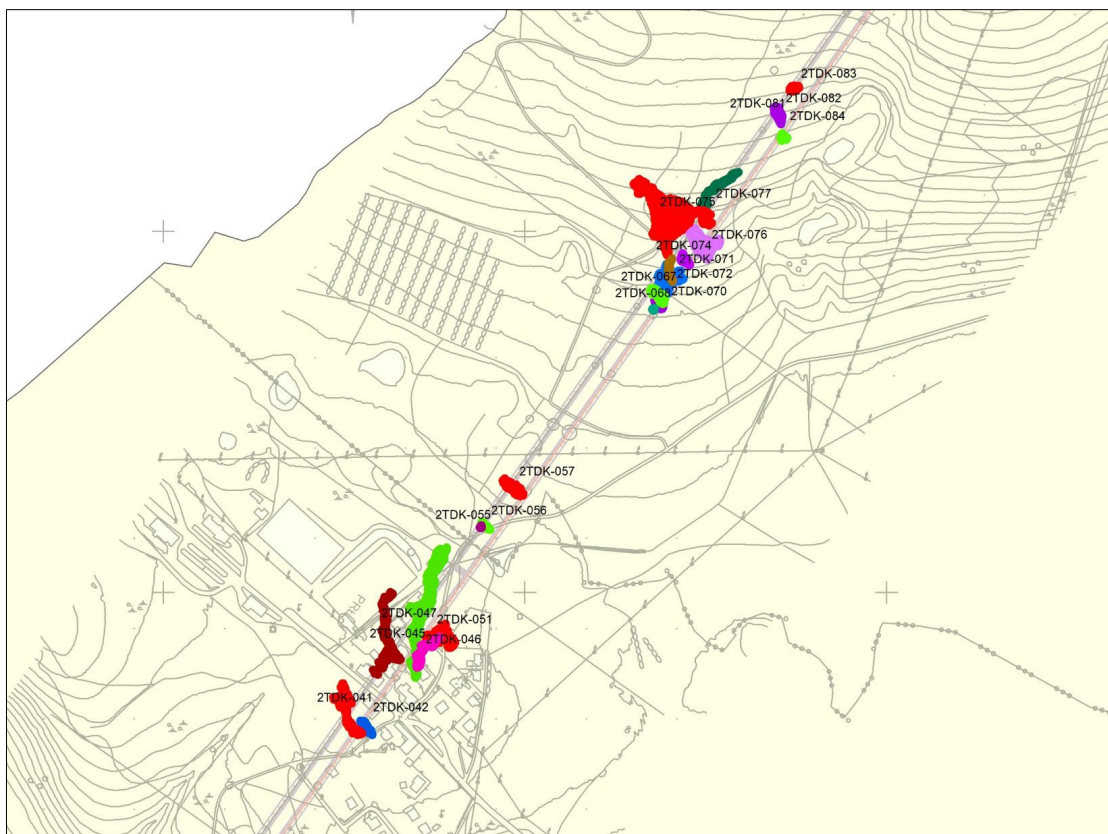
Pod naseljem Beka ponikata dva bolj ali manj stalna potoka v Miškotovo oz. Maletovo jamo, en občasen pa v Ocizeljsko jamo. Jame so medsebojno povezane, med njimi se pretaka tudi voda. Raziskan del jamskega sistema se konča v treh sifonih, dve nadaljevanji sta zasuti, a prehodni za vodo. Onkraj zasutij oz. sifonov se jamski rovi nadaljujejo, zato je bilo v času gradnje pričakovati odkritje nadaljevanja znanih delov jam in težavnejše premoščanje vodnih jam. Najdeno je bilo nadaljevanje Beško-ocizeljskega jamskega sistema, čeprav ne na koncu Ocizeljske jame, kot se je pričakovalo, ampak pod Miškotovo jamo oz. Jamo z naravnim mostom. Ta jama (2TDK-065) je bila tudi najdaljša jama z aktivnim vodnim tokom (400 m), gorvodno leži jama 2TDK-044 (147 m), med jamama je le nekaj metrov neprehodne zožitve, manj kot 10 m je od Miškotove jame oddaljena tudi jama 2TDK-044 (slika 2.13). Vzporedno od jame 2TDK-065 leži jama 2TDK-063, kjer se je raziskave zaključilo v pritočnem in odtočnem sifonu, vmes pa je slabih 60 m rova z listjem in odpadki, kar kaže na pogostost vodnega toka skozi te rove. Ob poplavih se v njih voda dvigne za okoli deset metrov in doseže dno predora. Premostitve so bile izvedene na način (običajno z gostim nizom uvertavanja sulic, armaturno mrežo, geotekstilom in brizganjem betona), da se je vanje sproščalo čim manj grušča ter s tem ohranilo naravno pretočnost. Vodni rovi se nikoli niso zasipali, saj je bilo ohranjanje naravnega pretakanja zaradi zahtev vodovarstvenega območja in Nature 2000 ena od vodilnih naravovarstvenih in tehničnih skrbi. Kjer je predor zaobjel celoten profil jame (npr. 2TDK-080, 2TDK-044), se je izvedlo obtočne (»by-pass«) obvođe z utori v skalo ali cevmi – najbolj obsežno v jami 2TDK-080 pod premostitveno AB ločno konstrukcijo. Izvajanje hidrotehničnih ukrepov se je preverjalo med izvajanjem ali po njem; tudi na način, da se je iz ene delno odprte stene predorske cevi po jamskem rovu dostopilo nad sosednjo cev, kjer je bil obvod predviden.



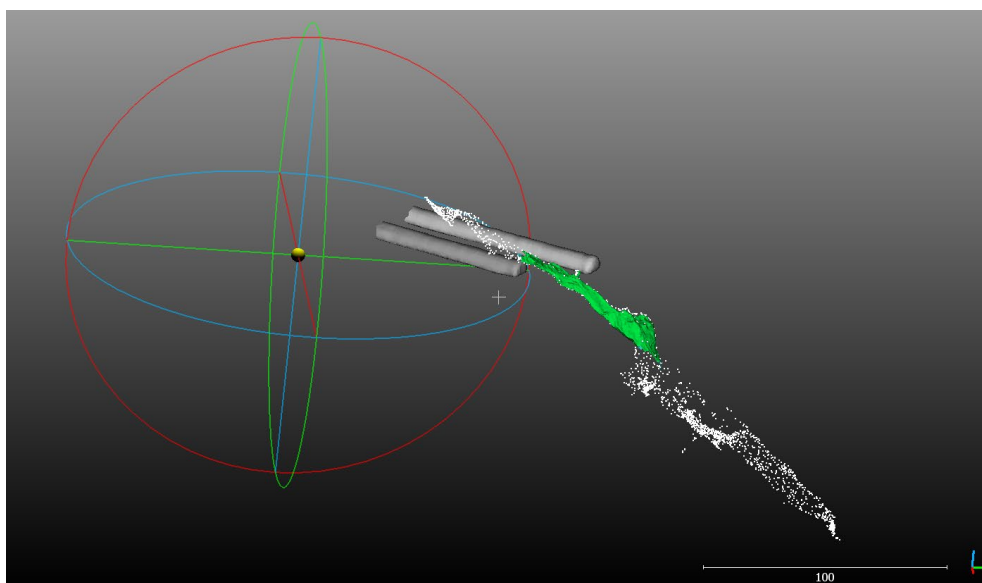
Slika 2.13: Jame Beško-ocizeljskega jamskega sistema (zelene črte) in na novo raziskane jame 2TDK glede na predor Beka. Puščice prikazujejo večinoma stalno (polne) ali občasno (črtkano) smer toka. Podzemni tok je kompleksen – medtem ko višji rov prevaja vodo v eno smer, jo lahko spodaj ležeč v drugo. Jame so razvite tako nad kot tudi pod predorom in prevajajo nekaj m³ vode. Predor je na tem območju vodne rove prešel nepričakovano ugodno.

Zgostitev jam pod Krvavim potokom

Izjemna zgostitev jam je bila nepričakovano odkrita pod območjem Krvavega Potoka in šesto metrov dlje proti Divači (slika 2.14), kjer so bili odkriti tudi največji jamski rovi (jama 2TDK-047; slika 2.15) ter največja dvorana (jama 2TDK-075). V prvi se je po poševnem povprečno 7 m širokem rovu v globini 91 m pod dnem kalote predora Lokev na 226 m n.v. prišlo do sifona, ki zelo verjetno predstavlja gladino kraške podtalnice. Voda tu niha za več deset metrov, a predvidoma ne doseže predora. Največja odkrita dvorana ima trikotni tloris s stranicami dolgimi 45-65 m. Povedna je lokacija jame glede na predor in odkritje; izkop je vseskozi sledil krajši stranici dvorane v oddaljenosti vsega nekaj metrov, na koncu pa prečil stranski rov jame, s strani katerega je bila odkrita dvorana. Tik pred odkritjem dvorane je bila raziskana jama 2TDK-071, ki je v bistvu nadaljevanje rova iz dvorane, vendar s preozko povezavo za neposreden dostop v dolžini vsega nekaj metrov, zato se dvorane ni odkrilo iz smeri jame 2TDK-071. Ob izkopani trasi je torej zagotovo več jam, ki zaradi nedostopnosti (zožitve, zasiganost, delna zasutost) ostajajo neraziskane. V jamah 2TDK-046 in 2TDK-047 smo imeli manjše probleme z naravno prisotnim metanom, ki je bil sicer precej oddaljen od eksplozivne koncentracije, je pa fizično povzročal glavobole.



Slika 2.14: Zgostitev jam pod Krvavim Potokom (levo spodaj) in v smeri Divače.



Slika 2.15: Jama 2TDK-047 glede na potek izkopano predora Lokev (sivo, 3D sken). Oblak točk jame prikazuje bele pike, 3D skeniran del pa zelene trikotne ploskve. Dostop v jamo iz smeri predora meri zgolj 1×0,5 m.

Geološke posebnosti

Medtem ko je bila geološka spremljava del med izkopom je predmet drugih strokovnih institucij udeleženih pri nadzoru gradnje, smo se krasoslovci z geološkimi značilnostmi seznanjali v naravnem okolju kraških jam. Odsek med Divačo in Črnim Kalom preči različne

stratigrafske sloje od krede do zgornjekrednih apnencev do eocenskih flišev. V predoru Lokev so kamnine usločene v sinklinalo, zato se zaporedje vzdolž predora vsaj dvakrat ponovi, proti JZ pa sledi več narivnih kontaktov, kjer se flišni klini z globino tudi izklinjajo, a se narivnica vseeno nadaljuje. Z izjemo flišnega pokrova Gradišča, ki je posledica sinklinalne zgradbe in preprečuje vadozno zakrasevanje, gubanje ni bilo prepoznano kot močan neposreden dejavnik zakrasevanja. Bolj pomembni so se izkazali tektonski in litološki kontakti, kjer je nastalo več obsežnejših jam, ki se lahko povezujejo v sisteme (Beško-ocizeljski, Brezno na Škrklovici-Jama v predoru Kastelec-2TDK-080). Jamski rovi sledijo regionalno pomembnim geološkim nezveznostim, pri tem lahko nastajajo tudi več kot 50 m dolgi odseki ravnih rogov. Nasprotno so vadozna brezna, zlasti na površinskem izkopu in v predoru Lokev, izrazito vezana na (odprte?) razpoke v smeri S-J.

Lokalno lahko na območju večje tektonske porušenosti nastajajo tudi podorne dvorane (tipičen primer je jama 2TDK-066), kjer zamaknjenost rogov za do nekaj dm (tudi v poplavni coni!) kaže na recentnost tektonskih premikov in zakrasevanje, ki težko, ali pa tudi ne, sledi tektonski aktivnosti. Medtem ko je bil v predoru Lokev evidentiran le en neotektonski zmik (jama 2TDK-075), je bila pogostnost tektonskih zmikov v predoru Beka bistveno višja (2TDK-024, 2TDK-066, 2TDK-063); zlasti pri zadnji navedeni je zanimivo, da je 15 cm zmik rova razvit v hidrološko aktivnem rovu, ki je nadaljevanje Beško-ocizeljskega jamskega sistema (slika 2.16).



Slika 2.16: Tektonsko zamaknjen rov v ponorno aktivni jami 2TDK-063, kjer znaša narivni zmik v smeri 246° za 15 cm ob tektonizirani leziki s smerjo vpada $84/37$ (foto: M. Prelovšek).

Zasiganost in naravovarstvena aktivnost

Jedro krasoslovnega nadzora je bilo dokumentiranje in predlog naravovarstvenega premoščanja jam, ki se ga je večinoma izvajalo s slepim opažem pred nadaljevanjem izkopno-gradbenih del. Kapnikov, oz. v širšem pomenu sigastih tvorb, je bilo relativno malo, na kar vpliva tudi lokacija predorov v bližini podtalnice. Tudi dvorane in širši podorni rovi, kjer so kapniki bolj pogosti, so bili redki. Nasprotno so bile sigaste tvorbe prvinsko

ohranjene in pogosto kristalaste, saj je stik na novo raziskanih jam s površjem zelo omejen. V praktično izolirani jami 2TDK-070 se je kristalasto bleščal celoten rov kar je posledica izoliranosti posameznih segmentov jamskih rogov, kar pri klasičnih jamarskih raziskavah s površja težko doživimo. V skladu z odločbo ministrstva smo sicer izpred čela izkopa odstranili in dokumentirali preko sedemdeset znanstveno-pedagoško pomembnejših in lepših kapnikov; trenutno jih skladiščimo na Inštitutu za raziskovanje krasi v Postojni za potrebe kasnejših znanstvenih raziskav (starost, izotopska sestava za potrebe paleoklime...), del jih bo namenjen tudi pedagoškemu namenu. Stalagmitu iz jame 2TDK-016 (predor Lokev) so madžarski kolegi že ugotovili starost – na podlagi U/Th datiranja se je izkazal za starejšega od 650 tisoč let; to potrjuje oceno, da gre v večini primerov za razmeroma stare jame.

Tehnično premoščanje jam

Kot konstrukcijsko najtežje se je fizično premoščanje izkazalo v jami 2TDK-080, kar je posledica ostrega kota presečišča, višina in dimenzija jamskega rova ter občasna hidrološka aktivnost (slika 2.17). Strop in stene kapniške dvorane te jame se je, tudi na podlagi preteklih nekoliko manj uspešnih naravovarstvenih premoščanj, ko se je zaščita jam še uveljavljala, uspelo ohraniti praktično v naravnem stanju (slika 2.18), kar je glede na bližino miniranja, izkopov in brizganje betona lep dosežek. Izjemno nevarno in tehnično neugodno je bilo prečenje jame 2TDK-066 v glavni cevi predora Beka, ki se je na stiku čela in stropa izkopa predora odprla z izsutfjem podornih blokov premera nekaj metrov v sam predor (slika 2.19). Za izjemno nevarnega se je kasneje izkazal dostop v jamo, nato sproščanje skalnih blokov v sam predor (miniranje podora z delom temena že izkopenega dela predora), saj so bili zloženi okoli navzgor odprtega lijaka, pa tudi sidranje stropa dvorane, ki zaradi zakraselosti in recentnih tektonskih deformacij niti ni bilo mogoče; dno dvorane v območju temena izkopa se je zalila z nekaj metrov debelo plastjo betona, predor pa izkopal skozi spodnji del slednjega. Podobna podorna situacija je bila značilna tudi za jamo 2TDK-014 v glavni cevi predora Lokev, kjer pa se je lijak podornih blokov odpiral s strani in z izkopnimi deli podor še ni bil reaktiviran. S projektiranjem tehničnega premoščanja jam so se večinoma ukvarjali sodelavci Elee iC in IRGO, zato o tem v drugih poglavjih tega vodnika, krasoslovci smo zagotovili le podlage (meritev obsega jam, geotehnična ocena stabilnosti stropa in sten, hidrološke značilnosti jam).



Slika 2.17: Hidrološko premoščanje jame 2TDK-080 na višini dna vodnega rova s štirimi cevmi premera 0,4 m, za kar je bila potrebna poglobitev izkopa in kasnejša ločna premostitvena konstrukcija (foto: M. Prelovšek).



Slika 2.18: Premostitev kapniške dvorane jame 2TDK-080 z armaturnimi loki, mrežo in geotekstilom, ki je na območju stojišča od znotraj že pobrizgan z betonom. Zaradi zatesnjenosti predora z geotekstilom je ohranjenost stropa in sten jame praktično popolna (foto: M. Prelovšek).



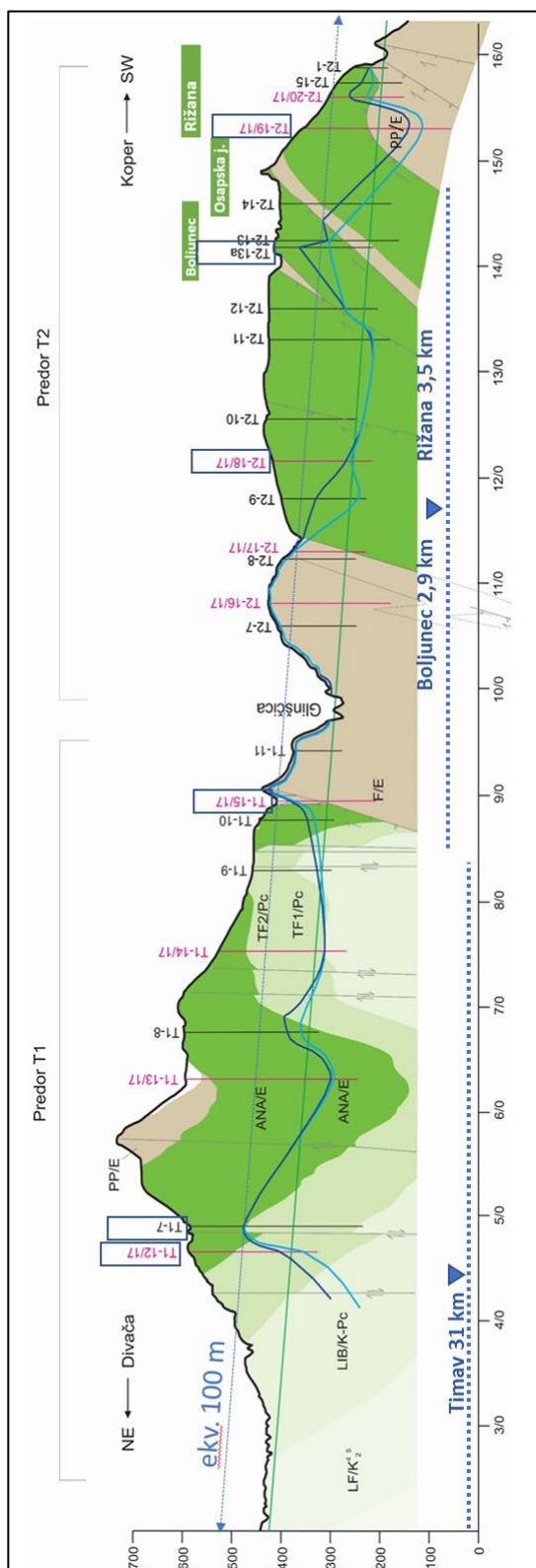
Slika 2.19: Izsutje dna podorne dvorane jame 2TDK-066 v spodaj ležeč osvetljeno glavno cev predora Beka. V času raziskav je bil problematičen dostop v zgoraj ležečo dvorano (nasutje izkopnega materiala za nadvišanje dostopa iz predora, kasneje pa tudi sproščanje do 7 m velikih blokov (na sredini zgoraj, z miniranjem) in neuspešno sidranje razpokanega stropa dvorane (neuspešno zaradi višine in nestabilnosti; foto: M. Prelovšek).

2.3 Hidrogeološki izzivi na 2TDK

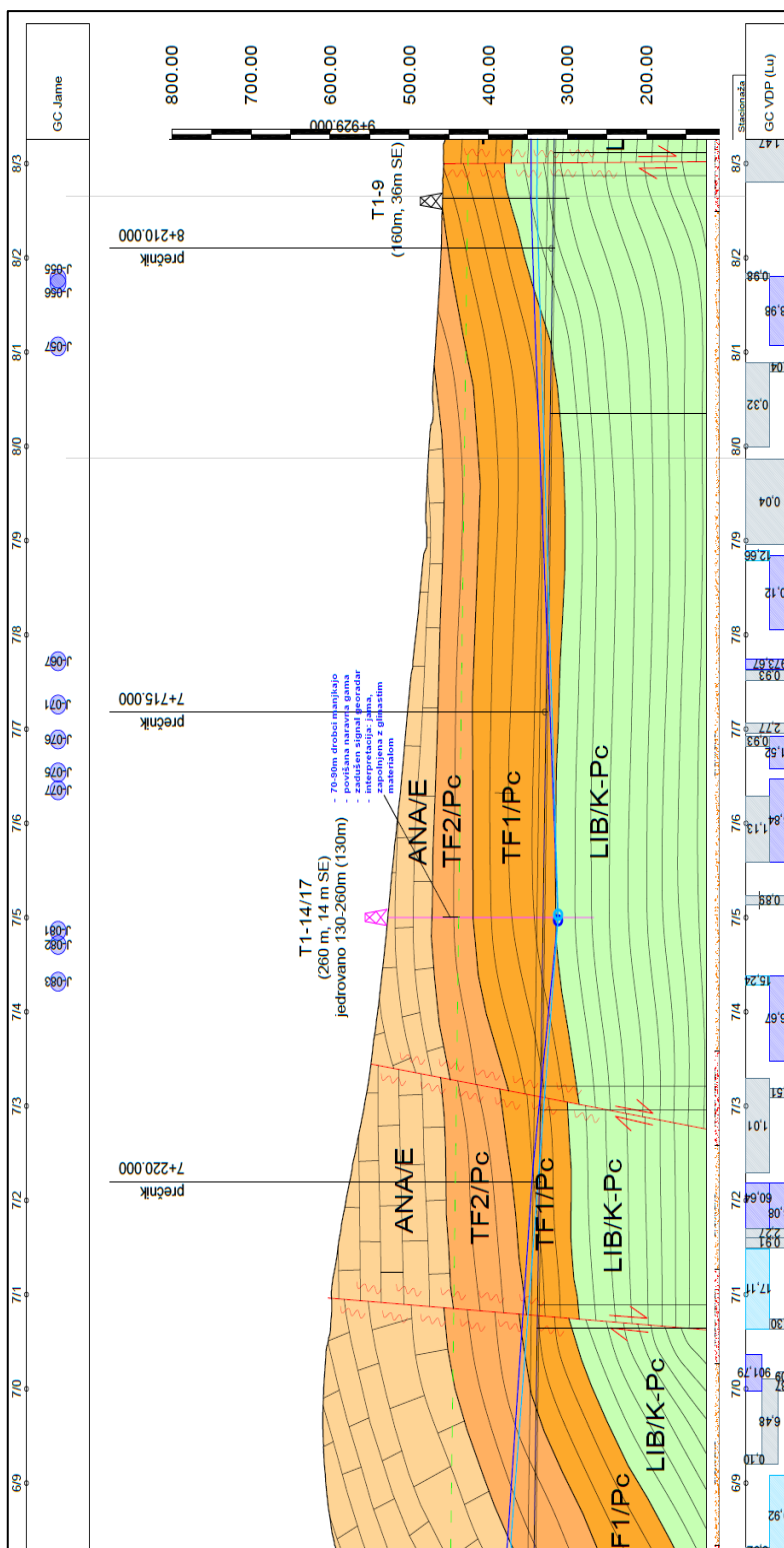
Jože Ratej¹

¹IRGO Institut za rudarstvo, geotehnologijo in okolje, Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana, Slovenija; joze.ratej@irgo.si

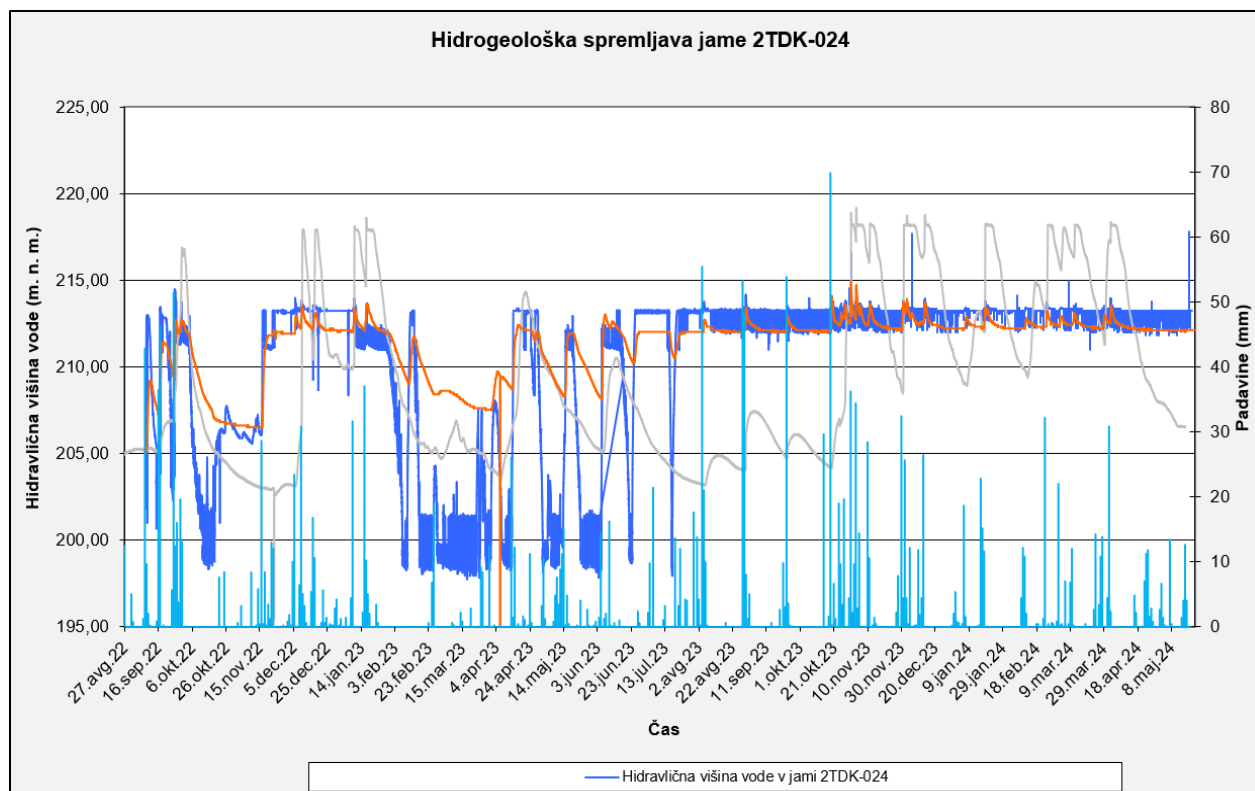
Predhodne geološke, hidrogeološke in krasoslovne raziskave so zagotovile dobro osnovo za napoved razmer pri izkopu predorov T1 in T2 skozi kraški vodonosnik, ki napaja pomembne izvire v Sloveniji in Italiji. Največji izziv pred gradnjo je ostajal napoved oblike kraških pojavov in njihovih presekov s traso predora. Hidrogeološka spremljava med gradnjo je omogočala sprotno prilagajanje gradbenih metod ter zaščito vodnih virov, s tem pa je bila eden ključnih podporni elementov gradbenega procesa. Hidrogeološke meritve med samo gradnjo so podpirale sprotne geotehnične odločitve. V fazi načrtovanja so bili izdelani prognozni hidrogeološki profili na osnovi vrtin, meritev nivojev, prepustnosti in kemijskih analiz. Te raziskave dajejo do neke mere prostorsko in časovno omejeno sliko razmer, dejanska dinamika sistema se pokaže med gradnjo. Tako so bili spremljani dotoki vode in njihova širša kemijska slika, ki so sicer še vedno trenutni posnetek hidrogeoloških razmer, ki so odvisne od napajanja vodonosnika. Obstoječa železnica močno posega v vodovarstveno območje Rižane, medtem ko nova trasa to območje bistveno manj obremenjuje. Brez zaščitnih ukrepov bi gradnja povzročila pomembne vplive na vodne vire, zlasti na Rižano in Boljunec. Dreniranje bi spremenilo tokove podzemne vode, zmanjšalo izdatnost izvirov, povečalo kalnost in poslabšalo kakovost vode. Posledice bi bile tudi večja erozija in izguba pomembnih količin pitne vode. Zato so bili izvedeni zaščitni ukrepi, kot so kombinacija dreniranih in nedreniranih odsekov, obvodi kraških kanalov, delno vračanje vode v vodonosnik ter injektiranje za zmanjšanje prepustnosti okolice predorov. Dodatni ukrepi so zagotavljali varnost gradnje in preprečevanje onesnaženj. Po končanem izkopu je bilo mogoče primerjati napovedane in dejanske razmere, vpogled v razhajanja pa podaja dobro usmeritev za podobne projekte doma in v svetu.



Slika 2.20: Vzdolžni hidrogeološki profil predorov T1 in T2 na območju kraškega vodonosnika. Svetlo modra linija predstavlja izmerjene prevladujoče vodostaje, temno modra pa najvišje izmerjene vodostaje v posameznem piezometru. Interpolacija med njimi je izvedena za potrebe inženirske ocene, njena zanesljivost je v večji oddaljenosti od merilnih mest nizka.



Slika 2.21: Primer porazdelitve prepustnosti prikamnine vzdolž predora T1-glavna_cjev je prikazana pod hidrogeološkim profilom (siva polja kažejo na slabo prepustnost masivne kamnine <20 Lu, svetlo- (>10 Lu), posebej pa temno modra polja (>20 Lu) pa na območja povišane prepustnosti kraško razpoklinskega vodonosnika; nad profilom so podane ugotovljene kraške jame na T1 Kp). Za večjo preglednost slike je prikazan le del predora.



Slika 2.22: Nivoji podzemne vode v zaledju (siva in oranžna linija) in v predoru T2 (morda linija) na območju jame 2TDK-024. Po vzpostavitvi obtoka, injektiranja dotokov v predor in zaprtju iztočnega ventila iz jame je razvidna normalizacija hidrogeološkega stanja v zaledju.



Slika 2.23: Izlivni poizkus.



Slika 2.24: Dotok vode in vzpostavljeno mersko mesto hidrostatskih tlakov.



Slika 2.25: Infiltracijski poizkus na območju potencialnega mesta ponikanja.



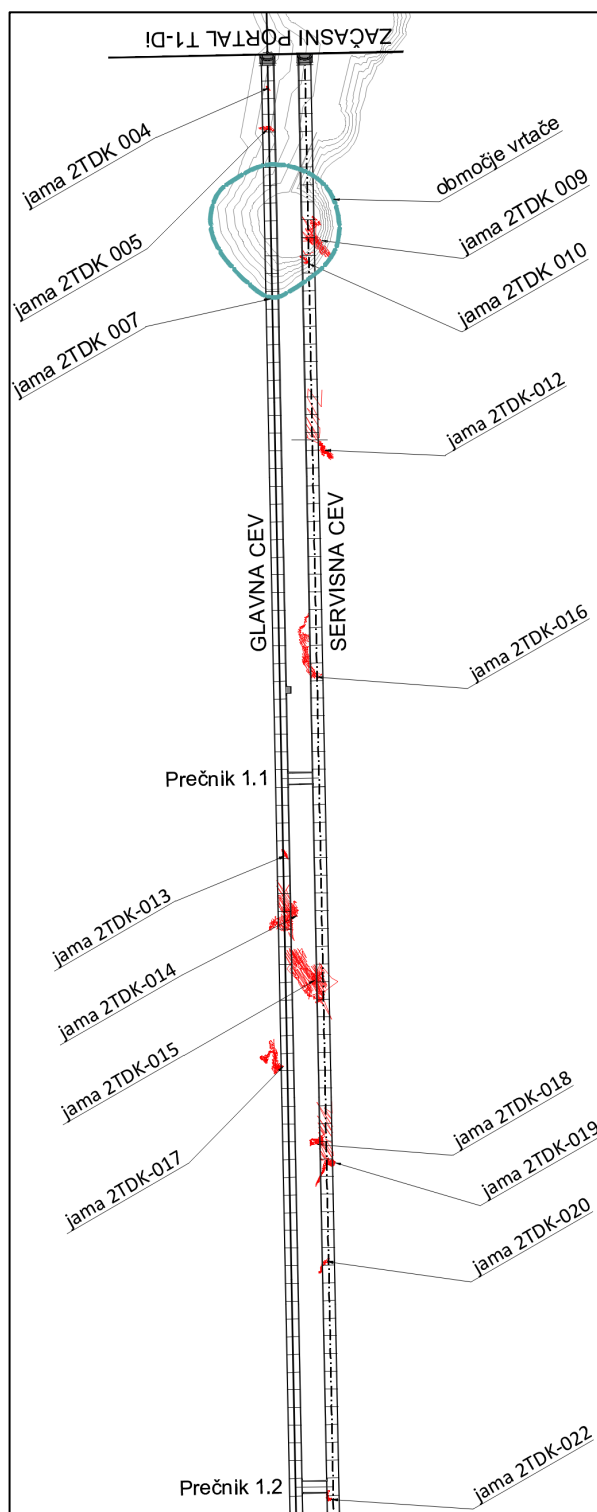
Slika 2.26: Vremenska postaja na območju gradbišča 2TDK.

2.4 Kraški pojavi v predoru T1 na 2TDK in geotehnoške rešitve pri gradnji

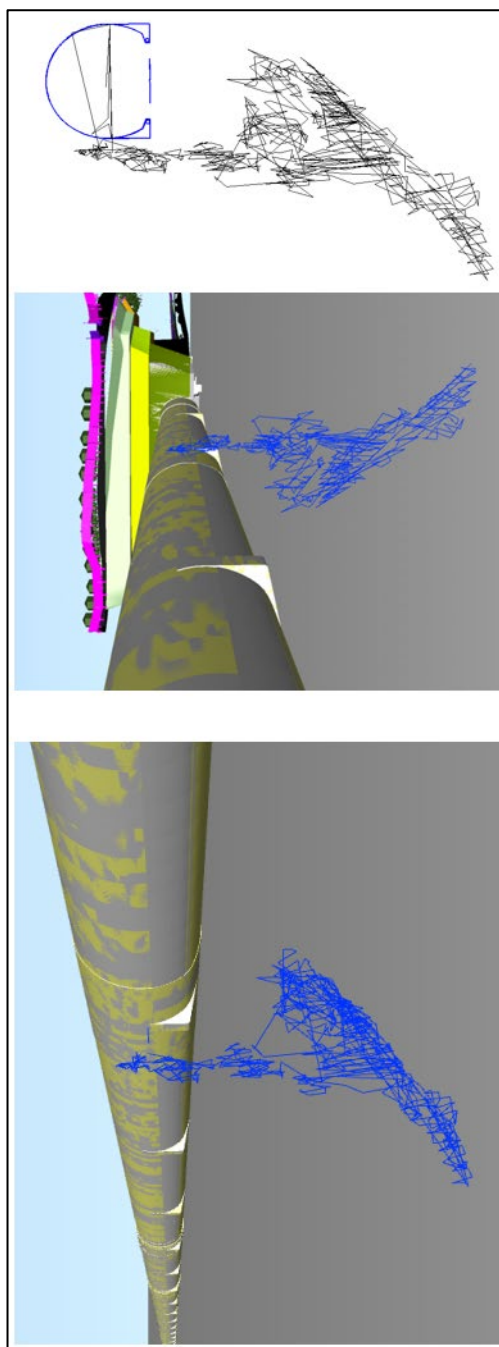
Vojkan Jovičič¹, Saša Galuf¹

¹IRGO Inštitut za rudarstvo, geotehnologijo in okolje, Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana, Slovenija; vojkan.jovicic@irgo.si, sasa.galuf@irgo.si

Predor T1 je del enotirne železniške povezave Divača–Koper. Obsega glavno predorsko cev (GC) dolžine 6.727 m in vzporedno servisno predorsko cev (SC) dolžine 6.683 m. Območje trase predora T1 večinoma gradijo vodoprepustne karbonatne kamnine, v katerih se pojavljajo številni kraški pojavi. Ocenjena stopnja zakraselosti na trasi predora T1, ki je bila določena na podlagi izsledkov krasoslovno-geoloških, geomorfoloških, speleoloških in geomehanskih raziskav, je znašala približno 5 do 10 jam na vsaki 1 km predora. Gradnja predora T1 se je začela januarja 2022 in bila zaključena leta 2025. V tem času je bilo odkritih več kot 100 manjših in približno 20 večjih kraških jam, kar je približno ustrezalo napovedim, pri čemer so dimenzije posameznih jam dosegle tudi več deset metrov. Izvedeni sta bili dve vrsti sanacij: začasna, ki je omogočila nemoteno napredovanje izkopnih del po terminskem planu, in trajna, ki zagotavlja dolgoročno varno uporabo predora. Da bi se izognili obsežnejšim podzemnim gradbenim posegom, so trajne sanacije vključevale premostitev kraških pojavov v enem razponu. Po svoji velikosti je izstopala jama 2TDK-54 s tlorisnimi dimenzijami 10×25 m in povprečno višino 20 m, ki je bila trajno premoščena s klasično armiranobetonsko prosto preklado dolžine 22 m. Jama 2TDK-72, največja odkrita kraška jama v predoru T1, je bila premoščena s prednapeto armiranobetonsko konstrukcijo z razponom 32 m. To je tudi bila edina prednapeta premostitvena konstrukcija zgrajena znotraj predora na celotni trasi proge.



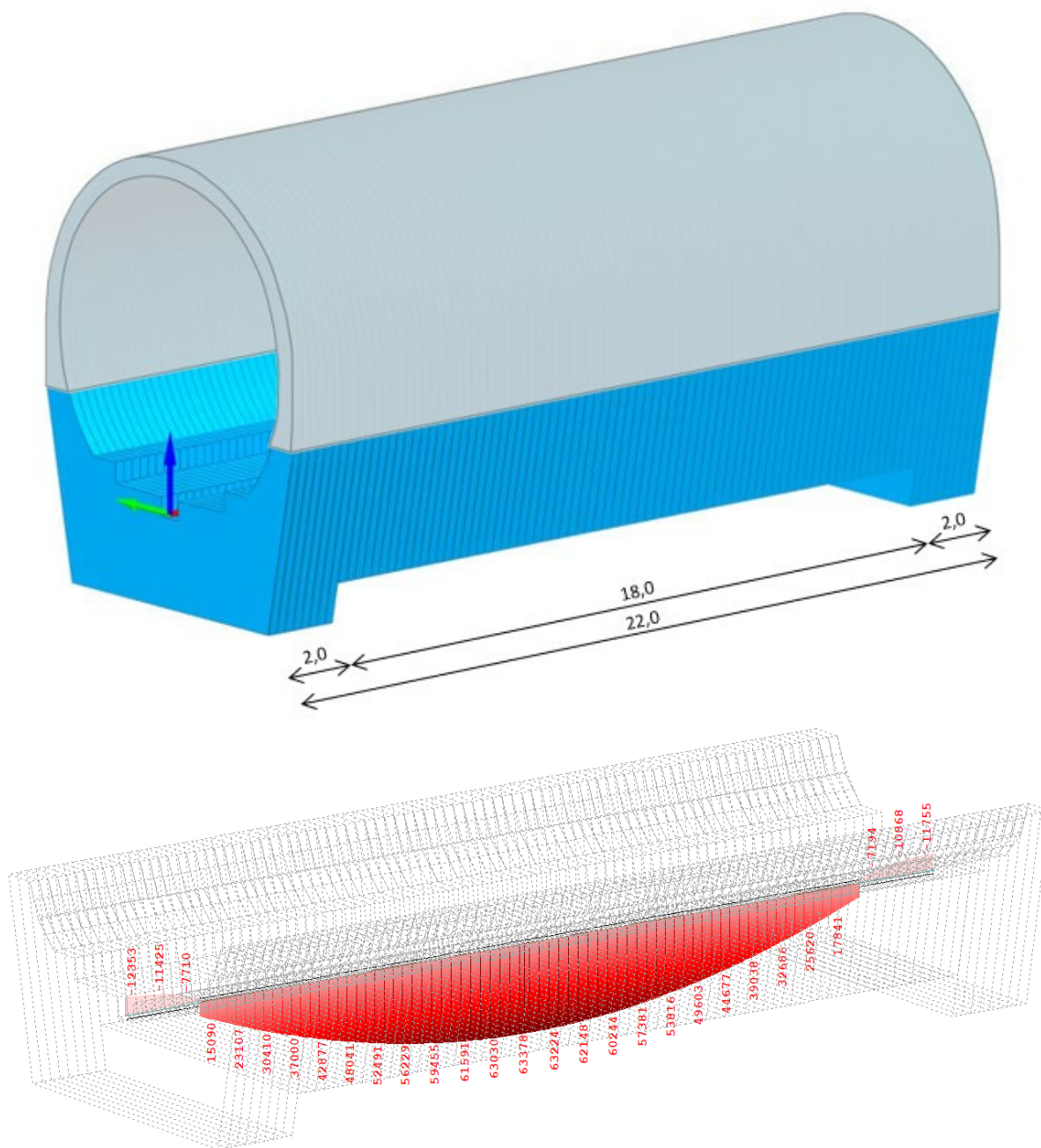
Slika 2.27: Območje zakraselosti v predoru T1 v prvih 1000m izkopa s severne strani je predstavljeno na sliki. Na predoru T1 smo se srečali z različnimi vrstami kraških pojavov kot so kaverne (kamini, rovi, brezna, jame...) velikosti od 1 m³ pa celo do več 100 m³. Ugotovljeni kraški pojavi so bili votli, deloma ali v celoti zapolnjeni z jamskim sedimentom pri čemer so jamski sediment tvorila tla, meljaste ali glinaste strukture s peščenimi vsadki. Posebno zahteven primer kraškega pojava na predoru T1-Di je bila vrtača označena na sliki 2 (premer na površju 75 m) v območju nizkega nadkritja predora, zapolnjena z jamskim sedimentom, ki je segal pod dno talnega oboka predora.



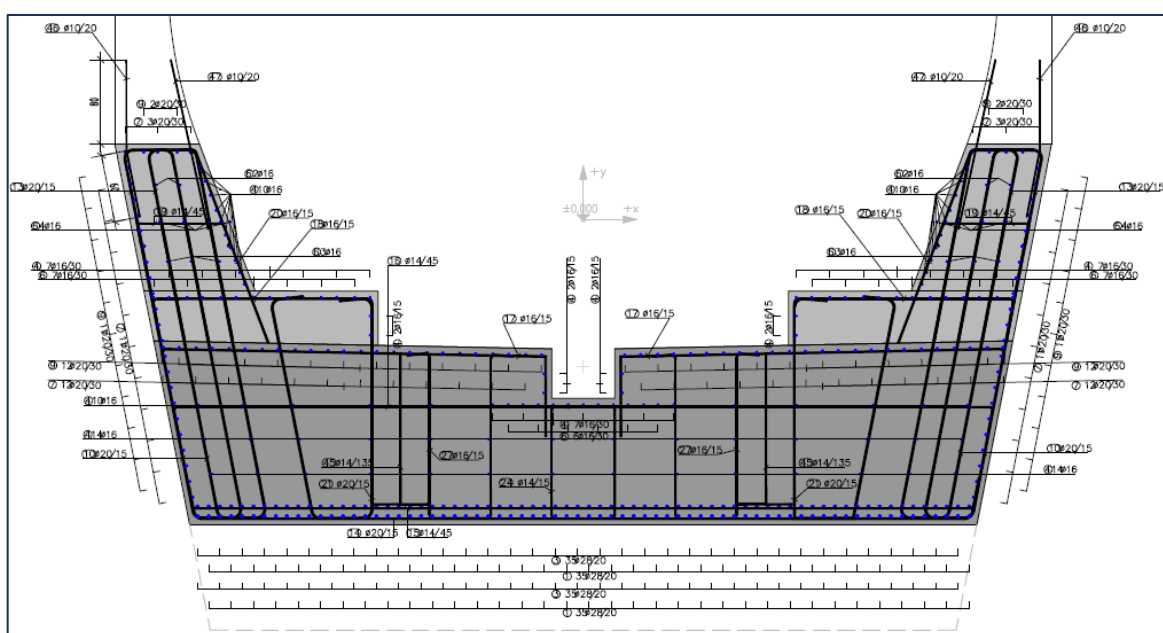
Slika 2.28: Protokol ob odkritju kraške jame ali kraškega pojava je predvideval, da izvajalec o tem najprej obvesti krasoslovni nadzor. Krasoslovni nadzor je bil dežuren 24 ur/dan, 7 dni v tednu in se mora na tak dogodek opravioma odzval v čim krajšem času. Za večje kraške pojave (jama dolžine več kot 10 m in širine, ki omogoča prehod človeka), krasoslovni nadzor je izvedel evidentiranje jame, ogled, opis (hidrološke, meteorološke, naravovarstvene, geotehnične značilnosti), izmere in izris jame. Na osnovi poročila, ki ga je izdelal krasoslovni nadzor, Zavod Republike Slovenije za varstvo narave izdal varstvene usmeritve ob novo odkriti jami. Te usmeritve in krasoslovno poročilo so predstavljale vhodne podatke projektantu pri pripravi začasne in končne sanacije kraškega pojava. Na zgornji sliki je prikazan tridimenzionalni in prečni prikaz jame 2TDK-009 in njena lega v odnosu na traso servisne cevi, ki je bil sestavljen in terestrialnega posnetek jame od strani krasoslovca in BIM modela predora T1. natančna predstavitev umestitve kraškega pojava relativno v odnosu na os tunela je bila od ključnega pomena za pravilno sanacijo kraškega pojava.



Slika 2.29: Primer vhoda v jamo 2TDK-054, ki se je odprl v glavni cevi predora Lokev na stacionaži km 6+333 je prikazan levo (foto: M. Prelovšek). Jama je v osnovi najverjetneje freatičen splet rogov, ki se je razvil v območju in okolici močne tektonske cone. Zaradi razvoja freatičnih rogov v tektonski coni se je v njenem osrčju pojavilo izsuvanje, ki ga je iz prostora odnašala tekoča voda. Na ta način je nastala osrednja dvorana s tlorisnim obsegom 10×25 m in povprečne višine 20 m. Skupna dolžina jame znaša 84 m, največja višinska razlika znaša 45,8 m. Glede na velikost pojava je bilo jasno da se v smislu trajne rešitve mora jamo premostiti; pri čemer je njen maksimalni razpon omogočal uporabo premostitvene konstrukcije od armirnega betona. Kamninsko maso na danem območju v osnovi gradi masiven, siv, drobnokristalast apnenec z alveolinami in numuliti formacije Alveolinsko numulitni apnenec (ANA/E), ki je mestoma prežet s kalcitnimi žilicami. Da bi se prepričali o primernosti temeljnih tal, so se pod ležiščem premostitvene konstrukcije v tla zvrtele vertikalne sondažne vrtine. Na vsaki strani premostitvene konstrukcije je bilo iz kote dna stopnice izvrtanih po 7 sondažnih vrtin globine 6,6 m in 8,0 m.



Slika 2.30: Na podlagi geološko geotehničnih pogojev smo upoštevali, da znaša celotna dolžina premostitvene konstrukcije 22 m, pri čemer je svetla razpetina konstrukcije 18 m. Začetni oziroma končni del konstrukcije v dolžini 2 m smo modelirali kot opornika, na območju katerih konstrukcija nalega na togo hribinsko podlago. V ta namen smo definirali dva različna prečna prereza in sicer prečni prerez v območju premostitve in prečni prerez v območju opornikov konstrukcije. V obeh primerih prečni prerez tvori plošča, ki je v območju premostitve debeline 175 cm oziroma 275 cm v območju opornikov, ter obojestranskih kril višine 187 cm. Računski model za statično analizo premostitvene konstrukcije, prikazan na sliki zgoraj, na kateri so prikazni upogibni momenti za maksimalni obtežni primer.



Slika 2.31: Gradnja premostitvene konstrukcije preko jame 54 se je pričela konec maja 2024. Delo je potekalo v zahtevnih pogojih (slabša osvetljenost, težka dostopnost). Zaradi neravnin na izkopnem profilu je bilo potrebno sproti geodetsko spremljati ter uravnavati pozicije posameznih serij palic v prostoru. Polaganje armature je bilo zato sproti kontrolirano s strani projektantskega in gradbenega nadzora. Na podlagi detajlnih armaturnih načrtov je bilo vgrajenih 62.700 kg armature (slika levo). Betonaža je potekala večfazno (talni obok, temelji, krilni zidovi), s pomočjo črpalke in z obeh strani konstrukcije. Betonaža je skupaj trajala 72 ur, vgrajenih je bilo skupno 428 m³ betona.

3. Škocjanske jame: geologija, speleologija, dinamika recentnih poplav in zapisi paleopoplav

Nadja Zupan Hajna¹, Franci Gabrovšek¹, Stanka Šebela¹

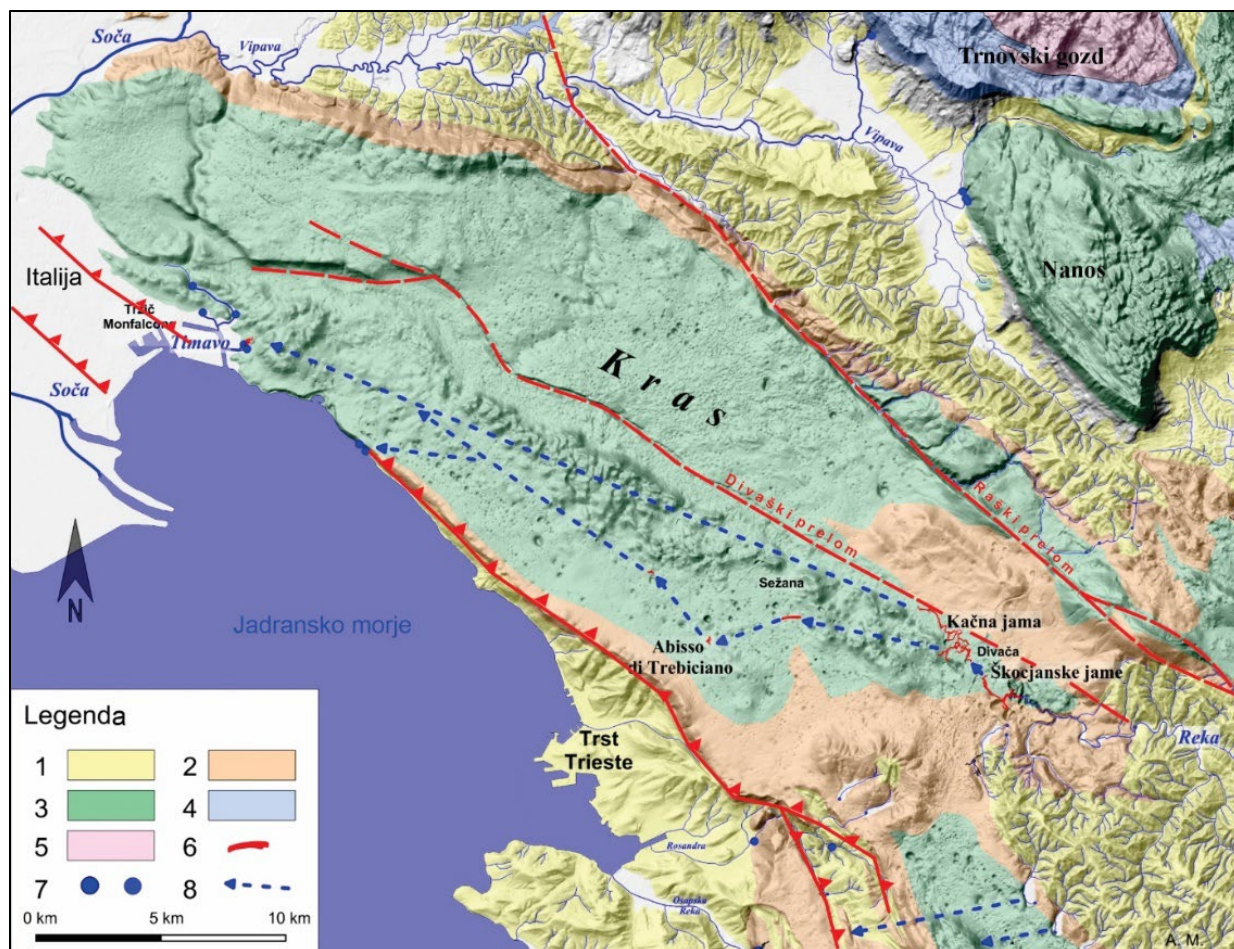
¹ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje krasi, Titov trg 2, 6230 Postojna, Slovenija; zupan@zrc-sazu.si, gabrovsek@zrc-sazu.si, sebel@zrc-sazu.si

Uvod

Škocjanske jame so več kot 6 km dolg jamski sistem na jugovzhodnem robu Divaškega krasi, kjer Reka prehaja z neprepustnih eocenskih flišnih kamnin na prepustne kredne in paleocenske karbonatne kamnine ter ponikne v kraško podzemlje (npr. Habič in sod., 1989; Jurkovšek in sod., 2013; slika 3.1). Jamski sistem je najbolj prepoznaven po obsežnem podzemnem kanjonu Reke in velikih udornih dolinah ter je od leta 1986 vpisan na Seznam svetovne dediščine UNESCO. Z geološkega in geomorfološkega vidika so Škocjanske jame izjemen naravni laboratorij, v katerem je mogoče neposredno preučevati povezave med hidrološkim režimom ponikalnice, transportom in odlaganjem sedimentov, poplavami ter razvojem jamskih rovov (npr. Mihevc, 2001; Zupan Hajna in sod., 2024).

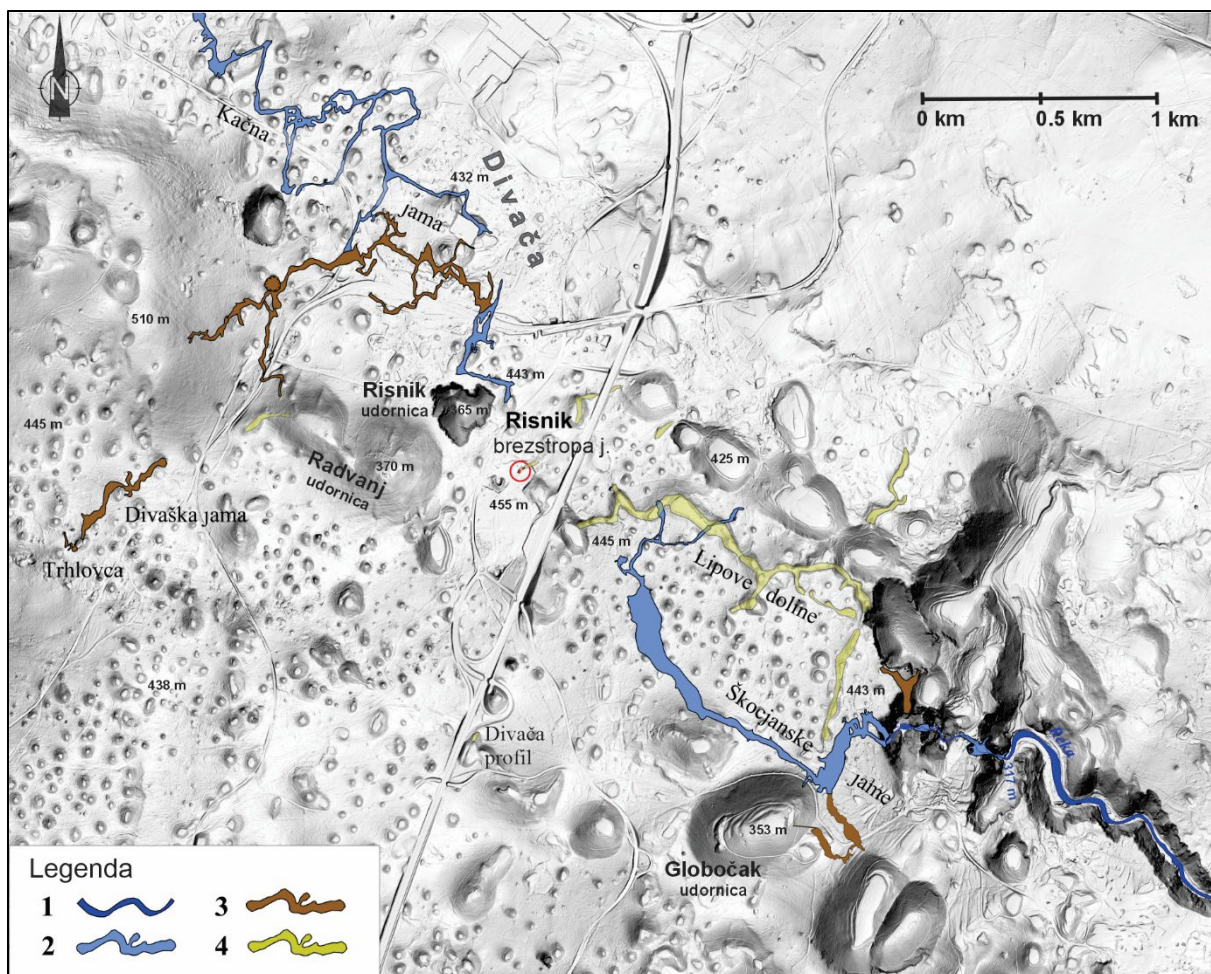
Ta ekskurzija je osredotočena na vlogo Reke pri aktivni speleogenezi ter na sedimentne in morfološke zapise sodobnih in starejših poplav. Različni morfološki tipi rovov in različne vrste jamskih sedimentov kažejo, kako se jamski sistem odziva na velike spremembe pretoka ter kako način transporta in odlaganja vpliva na nastanek in ohranitev sedimentnega zapisa. Z datiranjem naplavin in sige je mogoče časovno opredeliti posamezne faze sedimentacije, erozije in rasti sige ter jih povezovati s spremembami hidroloških razmer. Pri interpretaciji je treba upoštevati, da dosežena višina poplavnne vode in posledično višinska razporeditev poplavnih sedimentov nista odvisni samo od pretoka Reke, temveč tudi od geometrije in hidravlične prevodnosti jamskih rovov, morebitnih začasnih zajezev ter položaja gladine kraške podzemne vode.

Izrazito spremenljiv pretočni režim Reke vpliva na transport in odlaganje sedimentov ter ustvarja morfološke in sedimentne zapise sodobnih in starejših poplav. Njihova analiza omogoča rekonstrukcijo hidrološkega in speleogenetskega razvoja jamskega sistema (npr. Gospodarič, 1984; Mihevc, 2001; Zupan Hajna in sod., 2024).



Slika 3.1: Posplošena litološka karta Krasa s smerjo aktivnih vodnih tokov, največjimi jamami, večjimi kraškimi izviri, regionalnima prelomoma ter cono podirvanja (Lidar podatki GURS 2026; kartografija A. Mihevc). Legenda: 1- eocenski fliš; 2- paleogenski apnenci; 3- kredni apnenci in dolomiti; 4- jurski apnenci in dolomiti; 5- triasni apnenci in dolomiti; 6- jamski rovi; 7- izviri; 8- smer podzemnega vodnega toka.

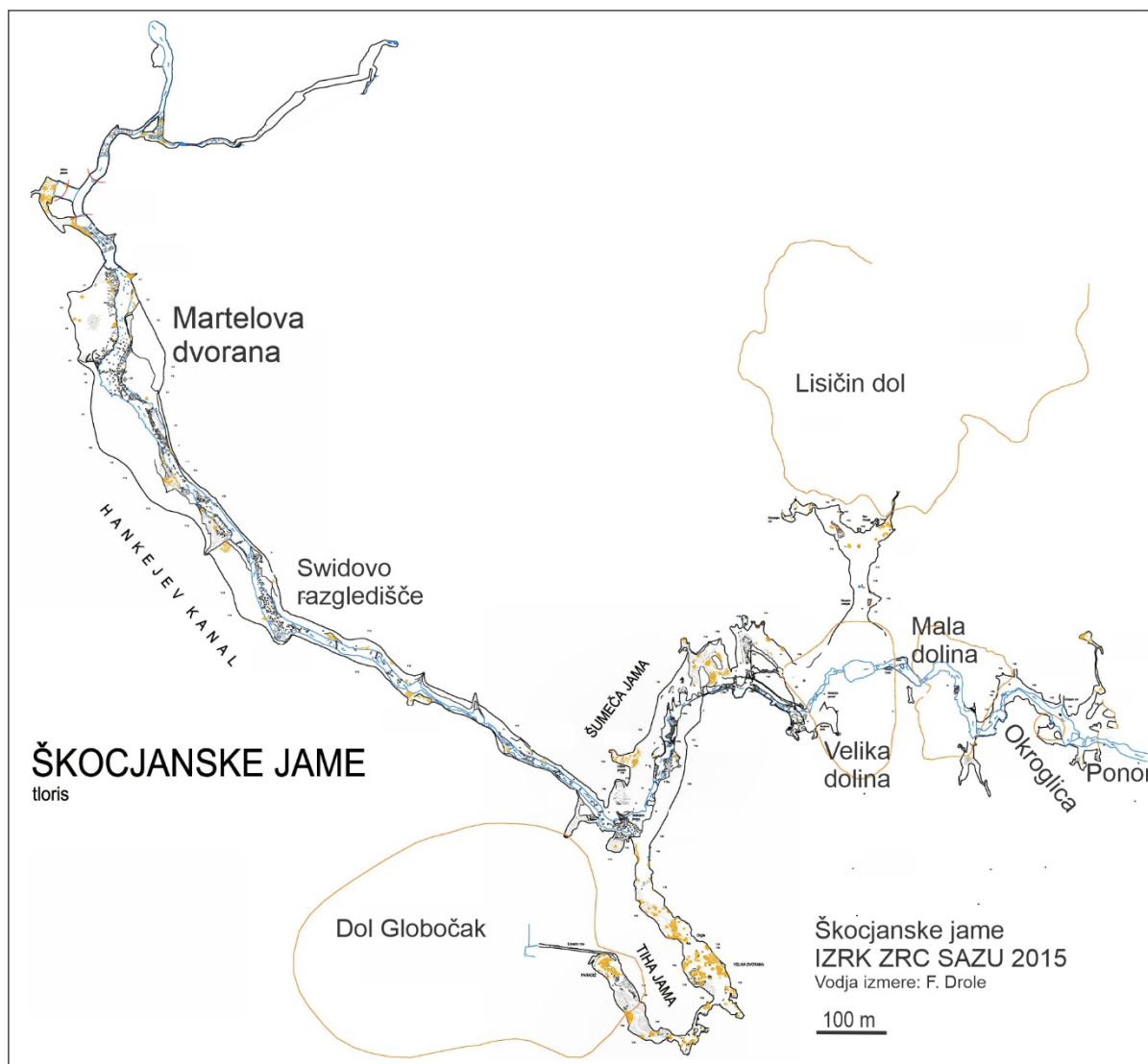
Sedimenti v višje ležečih jamskih rovih ter v brezstropih jamah na območju nad Škocjanskimi jamami (slika 3.2) dokumentirajo starejše faze razvoja jamskega sistema in nekdanje višje nivoje podzemnega pretakanja. Njihov položaj in starost kažeta na dolgotrajno zniževanje podzemnega toka, povezano z regionalnim tektonskim dviganjem, vrezovanjem Reke ter denudacijskim zniževanjem kraškega površja (Mihevc, 2001; Zupan Hajna in sod., 2024).



Slika 3.2: Divaški kras z največjimi jamami in brezstropimi jamami. Legenda: 1 – površinski tok Reke; 2 – jame z aktivnim vodnim tokom; 3 – suhi jamski rovi s sedimenti; 4 – brezstrope jame (Lidar podatki: GURS (2026); po Zupan Hajna in sod. 2024).

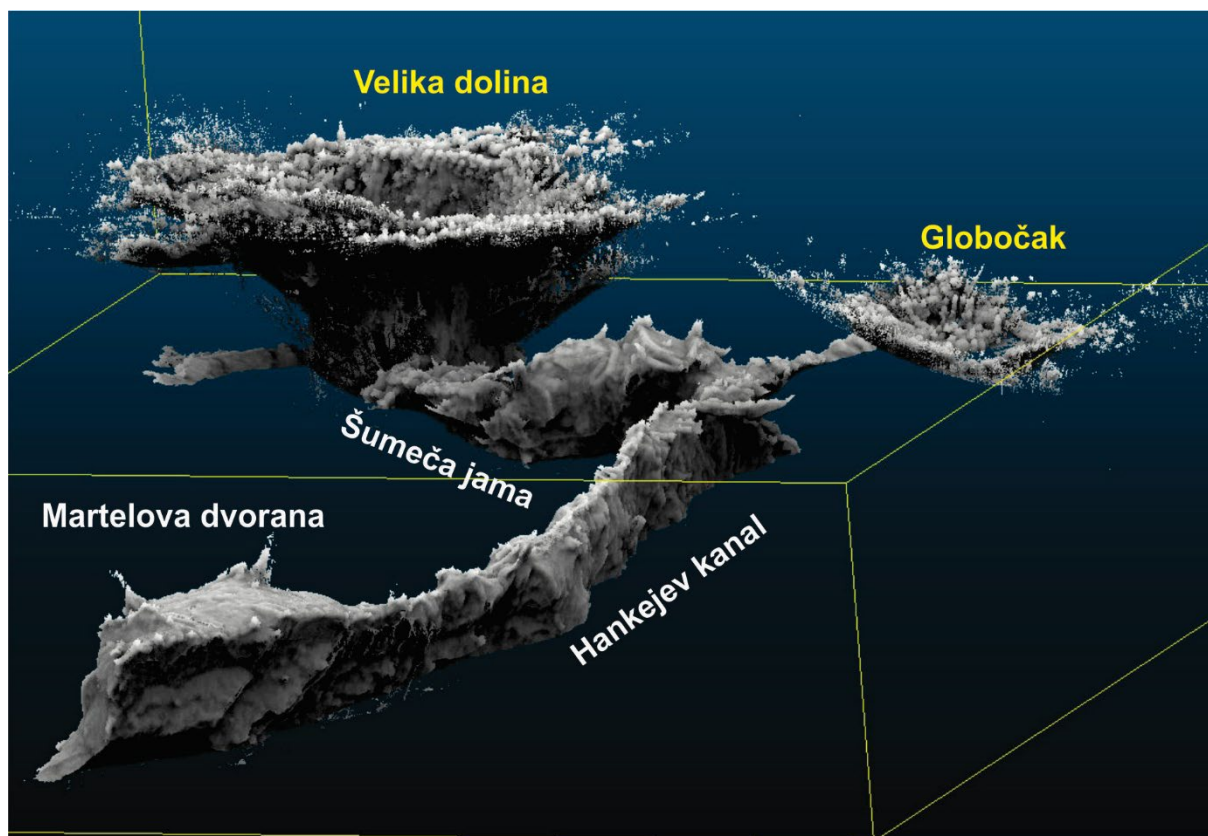
Jamski sistem

Reka doseže stik med flišem in apnencem približno 7 km gorvodno od Škocjanskih jam, kjer sprva teče po kanjonu. Aktivni del sistema se začne v Mahorčičevi in Mariničevi jami, kjer Reka po ponoru nadaljuje tok skozi rov s povprečnim prerezom približno 30×40 m (slika 3.3). Po nekaj sto metrih jamski rov prekineta Mala in Velika dolina, podzemni tok Reke pa se nato nadaljuje skozi približno 2,6 km dolg kanjonski odsek Šumeče jame in Hankejevega kanala. Ta preide v niz velikih dvoran, ki se konča z Martelovo dvorano. Tu se presek rova spremeni za več kot dva velikostna reda. Od tod Reka teče proti Marchesettijevemu jezeru na nadmorski višini okoli 190 m in nato skozi manjše, z vodo zapolnjene ter še ne v celoti raziskane rove proti Kačni jami. Poleg aktivnega rečnega kanjona sestavljajo jamski sistem tudi višje ležeči fosilni rovi, med katerimi je najboljšežnejša Tiha jama (Habič in sod., 1989; Mihevc, 2001), raziskave pa trenutno (2026) potekajo v Skriti jami, ki predstavlja visokovodno preliv Martelove dvorane.



Slika 3.3: Načrt Škocjanskih jam (načrt in izmera: Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, 2015).

Terestrično lasersko skeniranje, izvedeno s 370 stojišč, je omogočilo izdelavo tridimenzionalnega modela večjega dela jamskega sistema (slika 3.4). Prostornina jamskih prostorov med ponorom v Veliki dolini in Martelovo dvorano je bila ocenjena na približno 6,13 milijona m³. Martelova dvorana je dolga približno 314 m, široka do 143 m in visoka do 158 m, njena prostornina pa znaša približno 2,55 milijona m³. Predstavlja največji znani aktivni rečni jamski prostor v Evropi (Walters in Zupan Hajna, 2020).

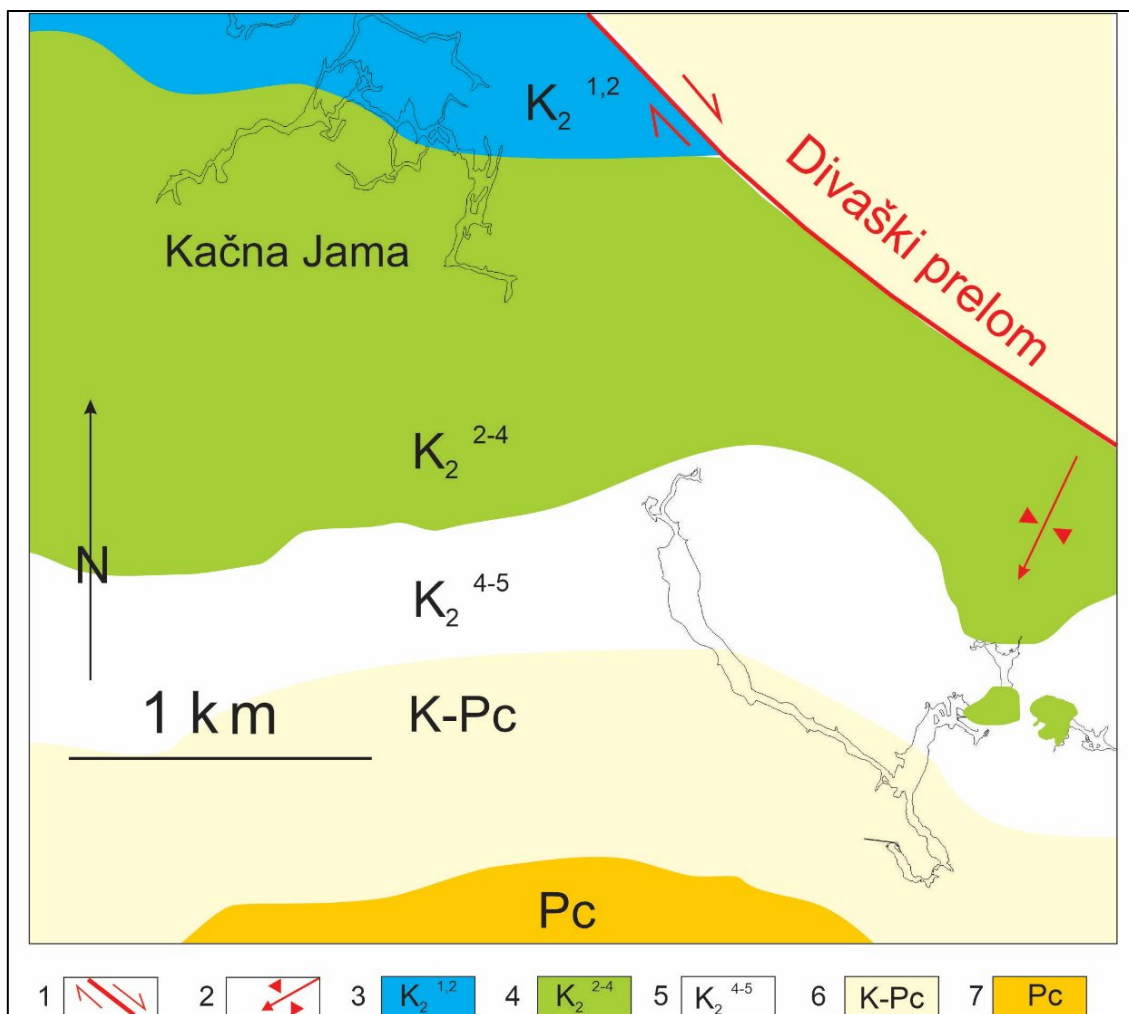


Slika 3.4: 3D model Škocjanskih jam v programu Cloud Compare. Pogled iz SZ: udornici Velika dolina in Globočak, z glavnimi deli jame: Šumeča jama, Hankejev kanal in Martelova dvorana (iz Walters in Zupan Hajna 2020).

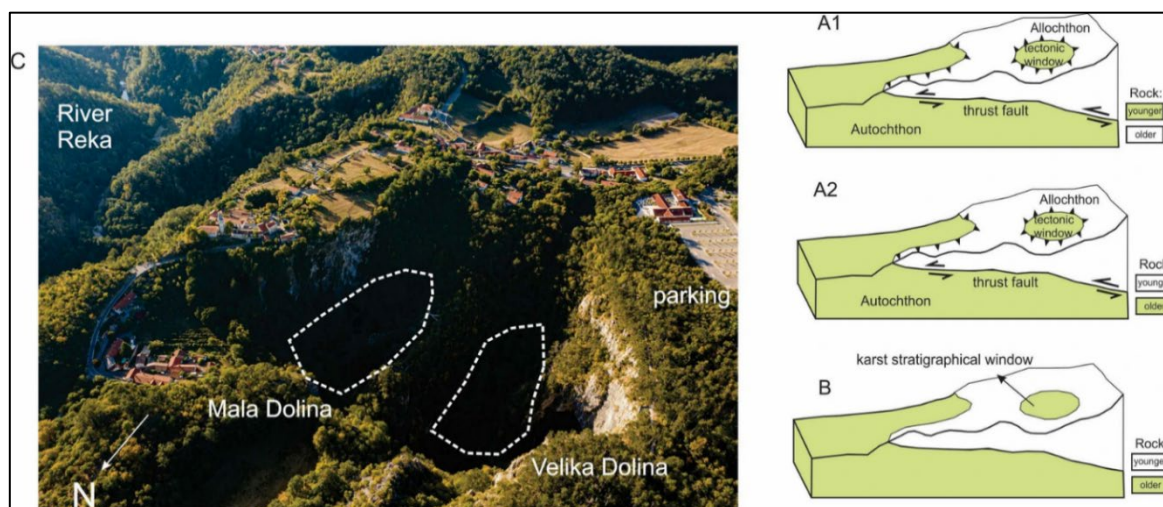
Geološki in hidrološki okvir ponikalnice Reke

Škocjanske jame so razvite v krednih in paleocenskih apnencih na jugovzhodnem robu Divaškega krasa, v neposredni bližini stika z neprepustnimi eocenskimi flišnimi kamninami (Gospodarič, 1984; Jurkovšek in sod., 2013).

Podrobno tektonsko-litološko kartiranje Velike in Male doline v merilu 1 : 500 je razkrilo dve kraški stratigrafski okni (sliki 3.5 in 3.6). V dnu udornic geološko starejši apnenci Sežanske formacije izdanjajo znotraj geološko mlajših apnencev Lipiške formacije. Ne gre za tektonski, temveč za kraški stratigrafski okni, nastali zaradi kraške denudacije in razvoja udornic. Vsako obsega približno 15.500 m². Takšna okna so pomembna pri interpretaciji geoloških kart kraških območij, saj lahko razgaljajo starejše stratigrafske enote brez tektonskega stika (Šebela in Novak, 2023).

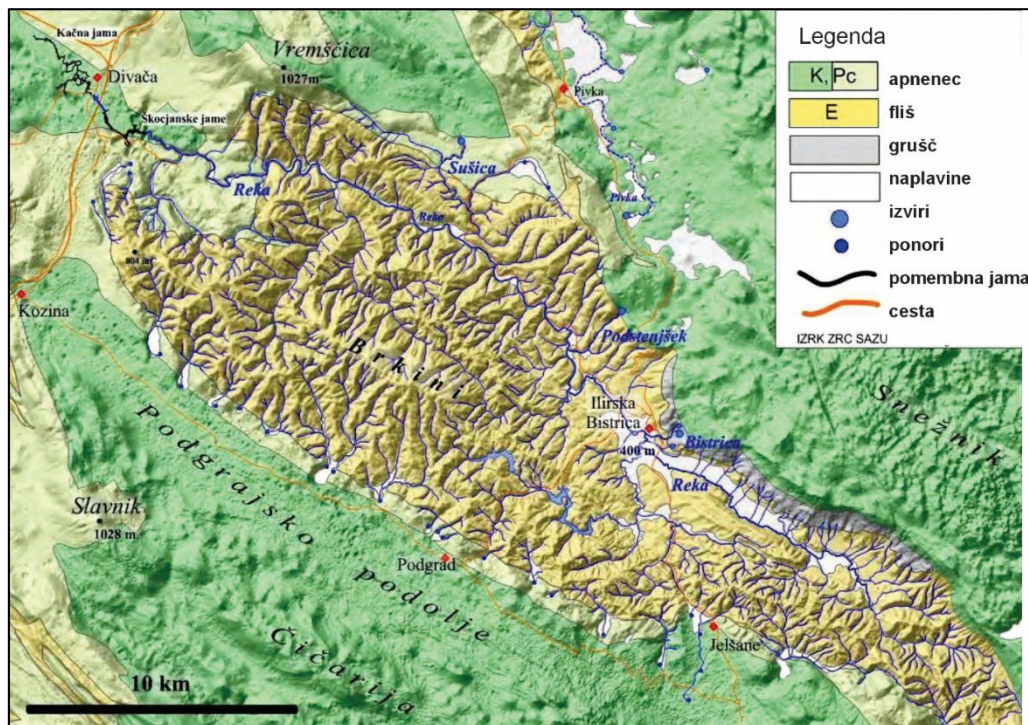


Slika 3.5: Geologija širšega območja Škocjanskih jam. 1- desno zmični prelom, 2- sinklinala, ki tone proti JZ, 3- Repenska formacija ($K_2^{1,2}$), 4- Sežanska formacija (K_2^{2-4}), 5- Lipiška formacija, plastovit in masiven apnenec z rudistnimi biostromami in biohermami (K_2^{4-5}), 6- Liburnijska formacija (K-Pc), 7- Slivski apnenec (plastovit, prevladuje miliolidni apnenec) (Pc). Po Jurkovšek in sod. (1996), Placer (2015), Šebela (2009) in Šebela in Novak (2023).



Slika 3.6: Kraški stratigrafski okni v Škocjanskih jamah. A. tektonsko okno (A1—starejše kamnine so narinjene na mlajše kamnine, A2—mlajše kamnine so narinjene na starejše kamnine); B. kraško stratigrafsko okno; C. Velika in Mala dolina (foto M. Blatnik), iz Šebela in Novak (2023).

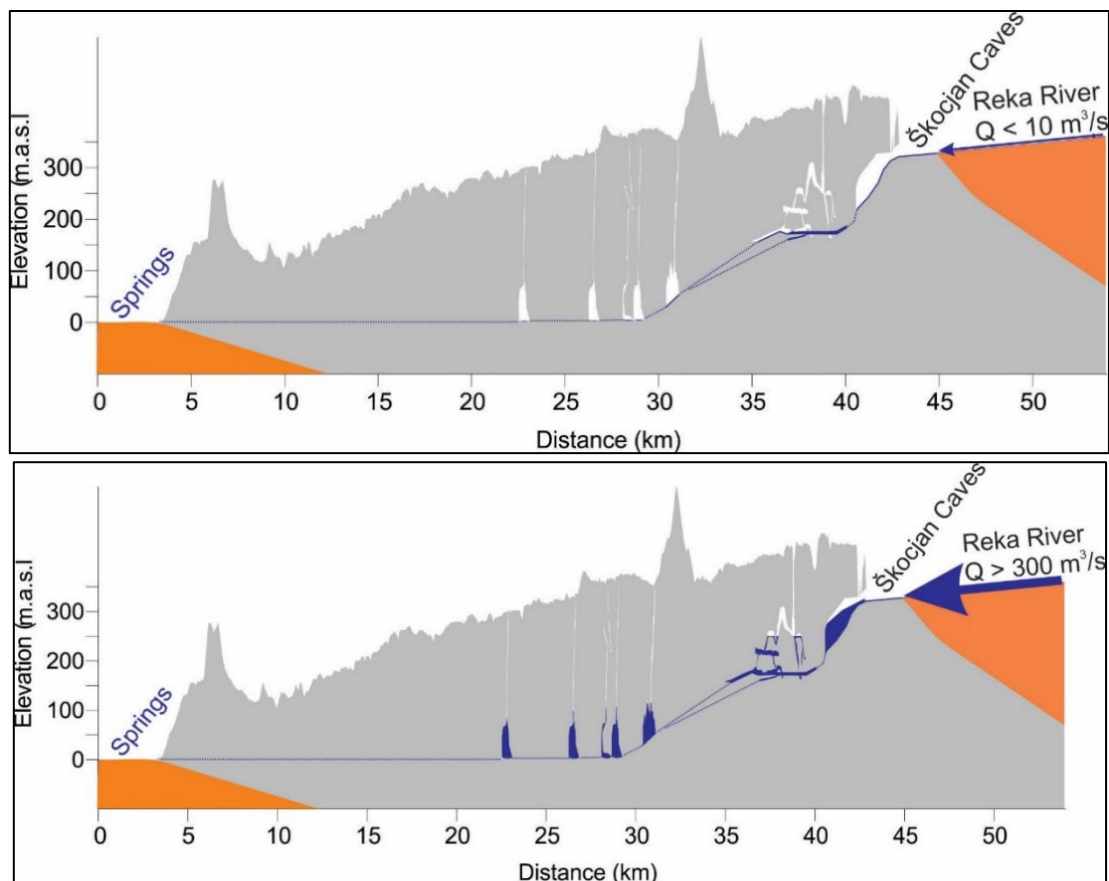
Reka zbira večino vode v flišnem zaledju Brkinov in doline Reke, kjer prevladujejo kremenovi peščenjaki, laporovci in konglomerati (slika 3.7). Ob prehodu s slabo prepustnih flišnih kamnin na karbonatne kamnine začne izgubljati vodo v kraško podzemlje, njena površinska dolina pa se zaključi kot značilna slepa dolina kontaktnega oziroma alogenega krasa (Gams, 1974; Mihevc, 1991, 2001).



Slika 3.7: Porečje Reke, geologija in Škocjanske jame. Flišna pokrajina Brkinov na jugovzhodnem robu planote Kras z rečnim reliefom in površinskimi vodotoki, ki ob stiku s krasom ponikajo v podzemlje. Vir podatkov DMR: GURS, 2026.

Poleg vode Reka s flišnega zaledja prenaša velike količine alohtonega sedimentnega materiala. V njem prevladujejo kremen, glineni minerali in drobcji flišnih kamnin, med transportom po apnenčastem delu struge pa se mu primešajo tudi karbonatni prodniki. Zaradi značilne mineralne sestave je mogoče sedimente Reke prepoznati tudi v danes suhih rovih, sedimentno zapolnjenih jamah in brezstropih jamah Divaškega krasa (slika 3.2). Njihova prostorska in višinska razširjenost omogoča rekonstrukcijo nekdanjih smeri podzemnega toka ter starejših, višje ležečih razvojnih nivojev jamskega sistema (Kranjc, 1989; Zupan Hajna, 1992; Mihevc, 2001; Zupan Hajna in sod., 2017, 2024).

Tok Reke je trenutno dostopen še v desetih drugih jamah med Škocjanskimi jamami (slika 3.8) in nizom izvirov med Nabrežino in Devinom na severozahodni obali Tržaškega zaliva; med njimi so najizdatnejši izviri Timave (Gabrovšek in Peric, 2006). Velik vertikalni razpon epifreatične oziroma poplavne cone dokazuje tudi prisotnost poplavnih sedimentov v danes visoko nad aktivnim tokom ležečih delih jam.



Slika 3.8: Prerez vodonosnika Krasa s podzemnim tokom Reke ob nizkem in visokem vodostaju (prirejeno po Blatnik in sod., 2020).

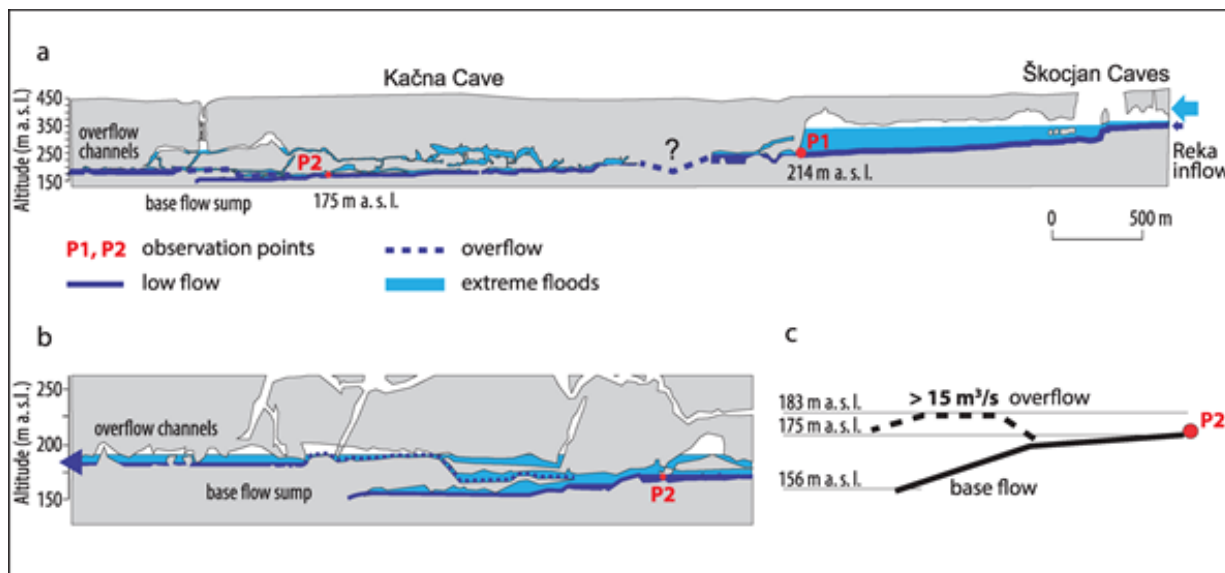
Lega, smer in geometrija jamskih rogov niso odvisne le od položaja kraške podzemne vode, temveč tudi od geološke zgradbe. Potek rogov je na številnih mestih prilagojen plastovitosti, medplastnim zdrsom, prelomom in prelomnim conam. Strukturne diskontinuitete so usmerjale začetni razvoj prevodnih poti, ki jih je Reka z raztapljanjem, mehansko erozijo ter transportom sedimentov postopoma širila in poglobljala (Knez, 1996; Mihevc, 2001; Šebela, 2009).

Dinamika poplav v Škocjanskih jamah

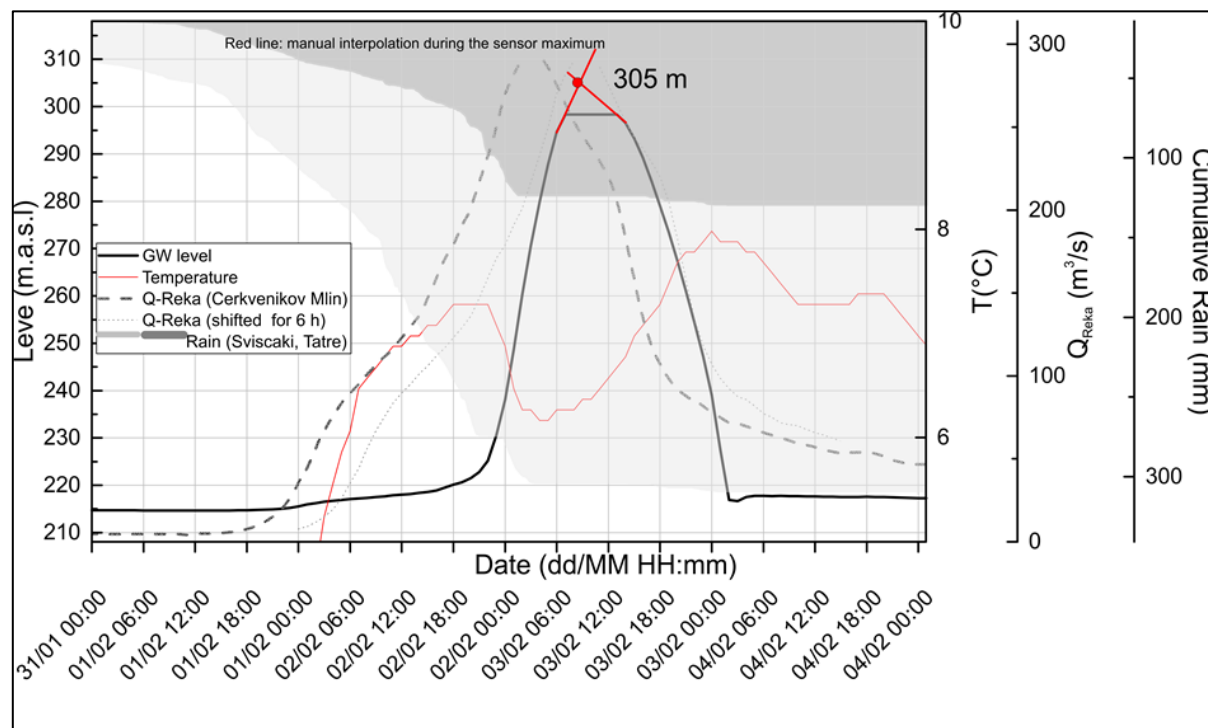
Reka ima izrazito spremenljiv pretočni režim, zato se lahko hidrološke razmere v Škocjanskih jamah spremenijo v zelo kratkem času. Srednji pretok na vodomerni postaji Cerkvenikov mlin znaša približno $8,95 \text{ m}^3/\text{s}$, ob izjemnih poplavah pa lahko doseže okoli $387 \text{ m}^3/\text{s}$. Ob običajnih poplavah se gladina vode v jami dvigne do približno 30 m nad običajno raven, najvišja dokumentirana poplava pa je dosegla približno 132 m nad običajno gladino Reke (Habič in sod., 1989; Mihevc, 2001; Gabrovšek in Peric, 2006; Gabrovšek in sod., 2018).

Velika spremenljivost napajanja in zapletena geometrija, za katero so značilne velike spremembe prečnega prereza in več jamskih nivojev, povzročata izrazito hidrodinamično dinamiko. Med izjemnimi poplavami se lahko gladina vode dvigne do 150 m, hitrost naraščanja pa preseže 10 m/h (Gabrovšek in sod., 2018). Sliki 3.10 in 3.11 prikazujeta primer

poplavnega dogodka februarja 2019 v Škocjanskih jamah in Kačni jami (glej sliko 3.9). Zvezno spremljanje vodostajev v sistemu podzemnega toka Reke (slika 3.9) in optimizirani numerični modeli so pokazali, da večje poplave v Kačni jami in Škocjanskih jamah povzročajo omejitve odtoka dolvodno od Kačne jame (Gabrovšek in sod., 2018).



Slika 3.9: a) Prerez skozi Škocjanske jame in Kačno jamo s položaji opazovalnih točk. Temno modre črte oziroma območja prikazujejo položaj vode ob nizkih pretokih, svetlo modra pa stanje ob poplavi. b) Podroben prikaz območja točke P2 v Kačni jami. c) Potek toka za točko P2 ob nizkem pretoku (polna črta) in velikem pretoku (črtkana črta; po Blatnik in sod., 2020).



Slika 3.10: Poplavni dogodek leta 2019: kumulativne padavine na dveh postajah, pretok Reke ter vodostaj in temperatura v Martelovi dvorani (po Blatnik in sod., 2020). Pikčasta siva črta prikazuje pretok, zamaknjen za šest ur, kar je ocenjeni čas potovanja vode od merske postaje do Martelove dvorane.

Med dogodkom je pretok Reke na merski postaji Cerkenikov mlin presegal 300 m³/s. Voda v Škocjanskih jamah je naraščala s hitrostjo do 10 m/h ter dosegla nadmorsko višino 305 m v Martelovi dvorani (slika 3.10) in približno 307,5 m v Šumeči jami. Poplava je bila največja v zadnjih 50 letih. Visoka voda je močno poškodovala infrastrukturo ter odložila precej blata in organskih snovi; ponekod je debelina svežih naplavin presegala 50 cm (slika 3.11).

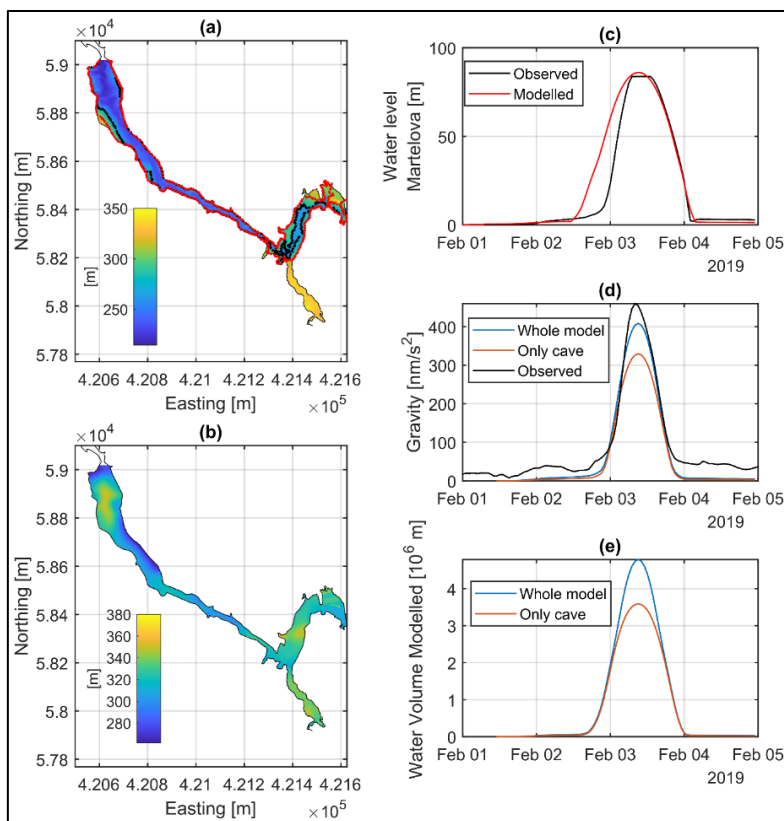


Slika 3.11: Fotografije poplave leta 2019. a) Velika dolina. b, c) Šumeča jama. d) Poplavne naplavine na pešpoti v Hankejevem kanalu (foto: B. Lozej (a, b, c), F. Gabrovšek (d)).

Gravimetrična opazovanja poplav

Od julija 2018 smo izvajali tudi časovno zaporedna gravimetrična opazovanja z gravimetrom gPhone (v nadaljevanju SK1), nameščenim na površju nad Škocjanskimi jamami. Namen je bil opazovati gravimetrični odziv na spremembe mase, ki jih povzročajo poplave (Pivetta in sod., 2021).

Gravimeter je bil nameščen na površju blizu informacijskega centra, približno 250 m od Šumeče jame. Iz surovih gravimetričnih podatkov smo s standardnimi metodami izluščili signal, ki ga povzroča masa poplavne vode. Slike 12a in 12b prikazujeta načrt Škocjanskih jam z nadmorskimi višinami dna struge in stropa jame. Slike 12c do 12e prikazujejo izmerjeni in modelirani vodostaj, gravimetrični odziv ter prostornino shranjene vode. Če volumnu vode v jami (»Only cave« na slikah 12d in 12e) dodamo še vodo shranjeno v udornicah in kanjonu reke (»Whole model«), dobimo precej boljše ujemanje med modelom in meritvami. V modelu smo uporabili geometrijo Škocjanskih jam iz 25 prečnih prereзов kanjona Reke, izdelanih z laserskim profilometrom.



Slika 3.12: Hidrološki in gravimetrični odziv na poplavni dogodek (po Pivetta in sod., 2021). (a) Nadmorska višina struge pri nizkem pretoku; rdeči in črni obris prikazujeta poplavljenno območje, kadar je vodostaj v Martelovem jezeru 86 m oziroma 50 m. (b) Nadmorska višina stropa jame. (c) Izmerjeni in modelirani vodostaj v Martelovem jezeru. (d) Opazovani (črno) in modelirani (modro, rdeče) gravitacijski učinek poplav (e) Modelsko ocenjena prostornina poplavne vode.

Transport in odlaganje sedimentov

Način transporta in odlaganja sedimentov v Škocjanskih jamah je odvisen predvsem od hitrosti toka, velikosti delcev, trajanja poplavnega dogodka in lokalne geometrije rova. Reka v Škocjanske jame prinaša alohtoni sedimentni material iz flišnega porečja. Poleg kremenovega peska in proda iz kremenovega peščenjaka vsebujejo naplavine tudi glinene minerale, glinence ter druge minerale, značilne za flišne kamnine. V aktivnem rečnem kanalu se jim pridružujejo apnenčevi prodniki, ki nastajajo zaradi erozije, odlamljanja in rušenja sten ter stropa jamskega rova (Gospodarič, 1984; Habič in sod., 1989; Mihevc, 2001; Zupan Hajna in sod., 2024).

Način transporta in odlaganja sedimentov je odvisen predvsem od hitrosti toka, velikosti delcev, trajanja poplavnega dogodka in lokalne geometrije rova. Prod in grobozrnati pesek se prenašata predvsem kot talni tovor po dnu aktivne struge, medtem ko se melj in glina prenašata v suspenziji. Ob zmanjšanju hitrosti toka se drobnozrnati material odlaga na skalnih policah, ob stenah, v zavetrju večjih skalnih blokov ter v stranskih in višje ležečih rovih. Po umiku poplavne vode ostanejo na skalnih površinah in sigi prevleke drobnozrnatega sedimenta, ki lahko označujejo največji doseg posameznega poplavnega dogodka (Gospodarič, 1984; Mihevc, 2001).

Ob ekstremnih poplavih Reka poleg mineralnega sedimenta prenaša tudi les, veje in drug organski material (slika 3.13). Poplavni tok lahko starejše sedimente erodira, premeša ali popolnoma odstrani, drugod pa v kratkem času odloži nove plasti. Posamezna sedimentna plast zato ne predstavlja nujno enega samega poplavnega dogodka, prav tako njene debeline ni mogoče neposredno povezovati z velikostjo pretoka. Pri interpretaciji sedimentnega zapisa je treba upoštevati lokalno morfologijo rova, možnost začasnega zajezevanja, trajanje visokega vodostaja ter poznejšo erozijo in presedimentacijo (Gospodarič, 1984; Mihevc, 2001).

Za rekonstrukcijo starejših hidroloških razmer je posebej pomembno menjavanje drobnozrnatih poplavnih sedimentov in sige v višje ležečih delih jamskega sistema. Siga se praviloma odlaga v obdobjih brez poplavnega preplavljanja, medtem ko plast poplavnega sedimenta dokumentira vnos materiala med poplavo in lahko prekine rast sige. Takšna zaporedja zato lahko ohranijo zapis več zaporednih faz poplavljanja, sedimentacije in rasti sige. U/Th-datacije sige omogočajo časovno omejitev posameznih faz njenega nastajanja in s tem posredno tudi časovno opredelitev odlaganja poplavnih sedimentov, ki ležijo nad ali pod datiranimi plastmi.

Najcelovitejši zapis starejših poplav se je ohranil v višje ležečih delih Tihe jame, kjer se drobnozrnatih sedimenti izmenjujejo s plastmi sige (Mihevc, 2001; Zupan Hajna in sod., 2024).



Slika 3.13: Poplava 3. 2. 2019, v Veliki dolini (foto: N. Zupan Hajna).

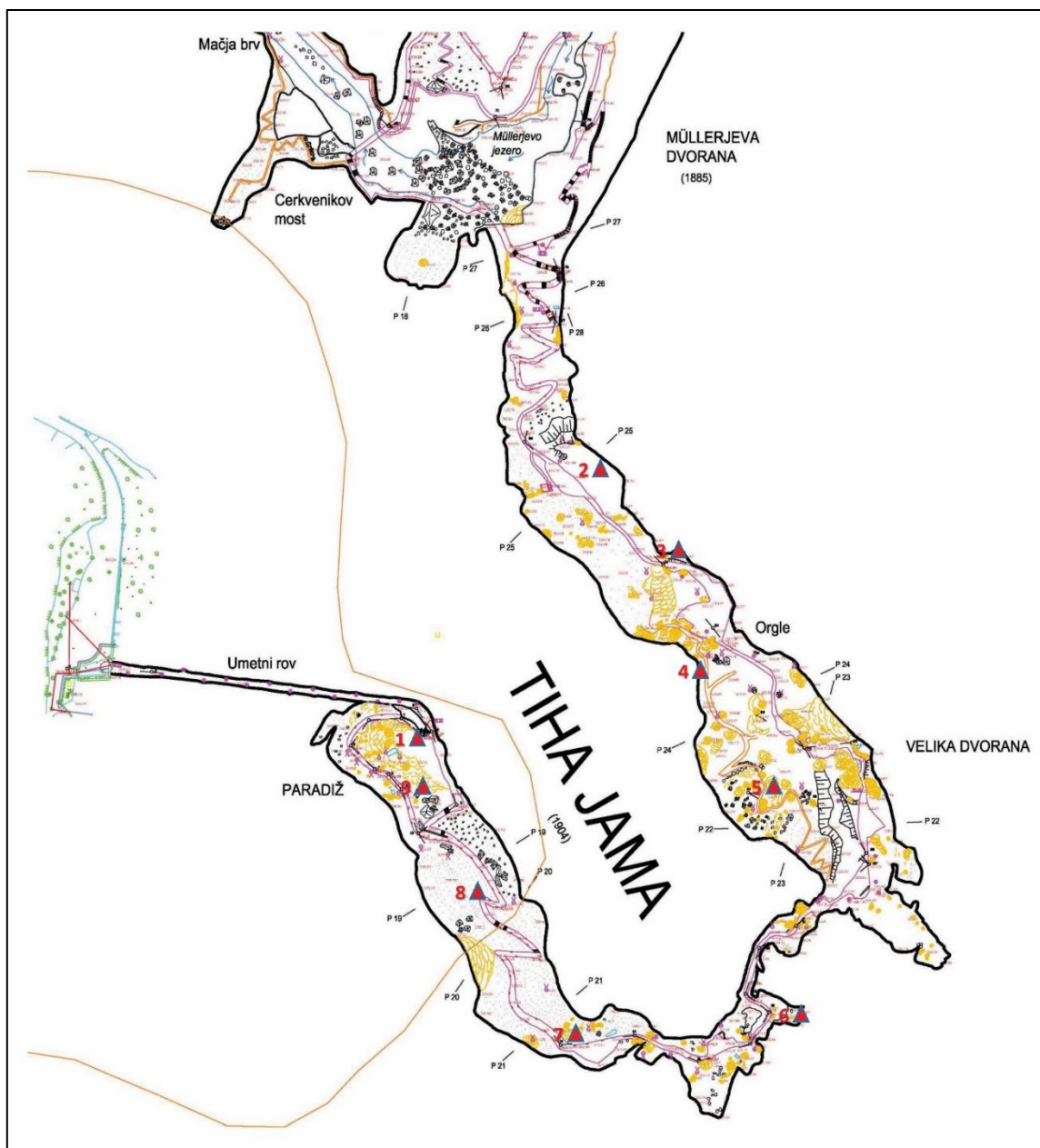
Sedimentni zapisi starejših poplav v Tihi jami

Tiha jama leži nad današnjim aktivnim tokom Reke in obsega rove ter dvorane na različnih nadmorskih višinah. Njeni nižji deli pripadajo epifreatični oziroma poplavni coni, ki jo voda doseže ob večjih poplavah, medtem ko so višji deli poplavljeni le ob izjemnih dogodkih. Poplavna ilovica, erozijske površine ter siga, ki prekriva ali vključuje drobnozrnate sedimente, zato predstavljajo pomemben arhiv nekdanjih hidroloških razmer (Gospodarič, 1984; Habič in sod., 1989; Mihevc, 2001; Zupan Hajna in sod., 2020).

Rekonstruirane gladine zgodovinskih poplav kažejo velik navpični razpon poplavne cone. Najvišje zgodovinske poplave so segale bistveno više od večine poplav 20. in 21. stoletja, pri čemer ocene za starejše dogodke, zlasti za leti 1826 in 1929, temeljijo na ohranjenih sledih in zgodovinskih rekonstrukcijah ter jih je treba obravnavati kot približne. Posamezni deli Tihe jame ležijo na različnih višinah: od Labirinta in spodnjih delov Podorne dvorane do višje ležečih delov Velike dvorane, Orgel in Paradiža. Sedimenti na teh mestih zato dokumentirajo različne dele nekdanje poplavne cone in ne predstavljajo nujno dogodkov primerljivega obsega.

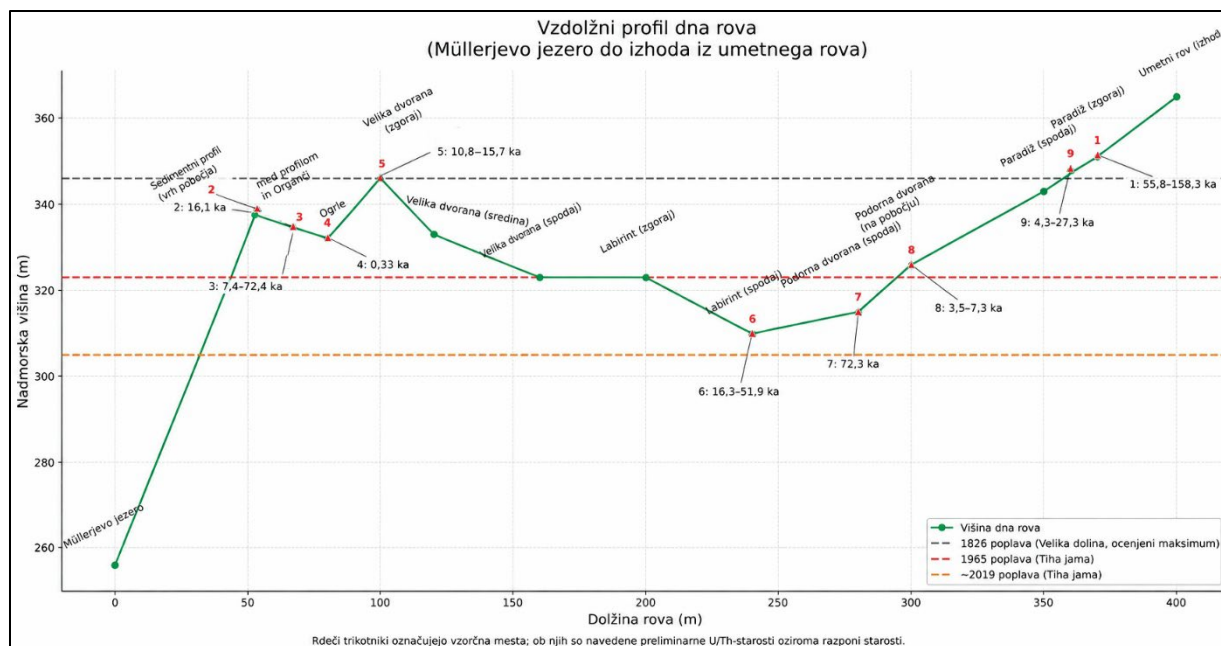
Pri interpretaciji U/Th starosti je ključen natančen stratigrafski položaj datirane sige glede na poplavni sediment. Siga nad sedimentom določa njegovo minimalno starost, siga pod njim pa maksimalno starost sedimentacije. Starost sedimentacije je najzanesljiveje mogoče omejiti tam, kjer je poplavna plast umeščena med dve datirani plasti sige.

V okviru novejših raziskav so bili vzorci sige in z njo povezanih poplavnih sedimentov odvzeti na devetih mestih v Tihi jami, med drugim v Labirintu, pri Orglah, v Veliki in Podorni dvorani, na Kalvariji, Paradižu ter v servisnem rovu (slika 3.14). U/Th datacije so bile opravljene v skupini Isotope Climatology and Environmental Research Group (ICER), HUN-REN Institute for Nuclear Research (ATOMKI) v Debrecenu na Madžarskem. Preliminarni rezultati kažejo več časovno ločenih faz rasti sige (slika 3.15; Zupan Hajna in sod., neobjavljeni podatki).



Slika 3.14: Vzorčna mesta za U/Th datacije sige v Tihi jami; podlaga je izrez iz načrta na sliki 3.3.

Najstarejše zanesljive starosti iz območja servisnega rova pri Paradižu dosegajo približno $158,3 \pm 3,1$ ka, sledijo starosti okoli 143, 129, 110, 87 in 72 ka, medtem ko številni vzorci iz drugih delov Tihe jame dokumentirajo rast sige v zadnjih približno 50 ka, 30 ka, 16–10 ka ter v holocenu. Najmlajša analizirana skorja je bila datirana na približno $0,33 \pm 0,27$ ka. Pri nekaterih delih vzorcev datacija zaradi poroznosti ali visoki vsebnosti gline ni bila uspešna.



Slika 3.15: Vzdolžni profil dna Tihe jame od Müllerjevega jezera do izhoda iz Umetnega rova. Rdeči trikotniki označujejo vzorčna mesta 1–9, ob katerih so navedene preliminarne U/Th starosti oziroma razponi starosti datiranih kapnikov in sigovih plasti. Za primerjavo so prikazani ocenjeni najvišji nivo poplave iz leta 1826 v Veliki dolini ter dokumentirana poplavna nivoja v Tihi jami leta 1965 in okoli leta 2019.

Za primerjavo je pomembna že objavljena datacija sige pri Šotoru v Podorni dvorani, kjer je bila rast sige na poplavnem sedimentu datirana na približno 37 ka (Mihevc, 2001). Novo vzorčno mesto 7 leži v istem širšem območju, vendar je analizirani del sige dal bistveno starejšo starost $72,31 \pm 3,86$ ka. Razlika opozarja na kompleksno stratigrafijo in več faz rasti sige, zato je treba posamezne datacije vedno interpretirati glede na njihov natančni položaj v profilu.

Širok razpon U/Th starosti kaže, da Tiha jama ne vsebuje zapisa ene same poplavne faze, temveč dolgotrajno in večkrat prekinjeno zaporedje poplavljanja, sedimentacije, erozije in rasti sige. Kombinacija U/Th datacij, natančnih nadmorskih višin vzorčnih mest ter rekonstruiranih poplavnih gladin omogoča postopno rekonstrukcijo spreminjanja hidrološke funkcije Tihe jame. Za povezavo posamezne starosti s konkretnim poplavnim dogodkom pa ostaja ključna podrobna dokumentacija lokalnega stratigrafskega odnosa med sigo in poplavnimi sedimenti.

Brezstropa jama Risnik in Lipove doline – ostanek starega nivoja Reke

Brezstropne jame so nekdanji podzemni rovi, ki jih je postopno zniževanje kraškega površja odprlo na površje (Mihevc, 2001). Zaradi denudacije je bil njihov prvotni strop odstranjen, nekdanje jamske rove pa danes prepoznavamo kot podolgovate globeli in sedimentno zapolnjene nekdanje rove z ohranjenimi janskimi sedimenti in sigo (npr. Zupan Hajna in sod., 2020). Takšne oblike dokazujejo obstoj starejših janskih sistemov, razvitih precej nad današnjo gladino podzemne vode (npr. Mihevc, 1999, 2001, 2007; Zupan Hajna in sod., 2020).

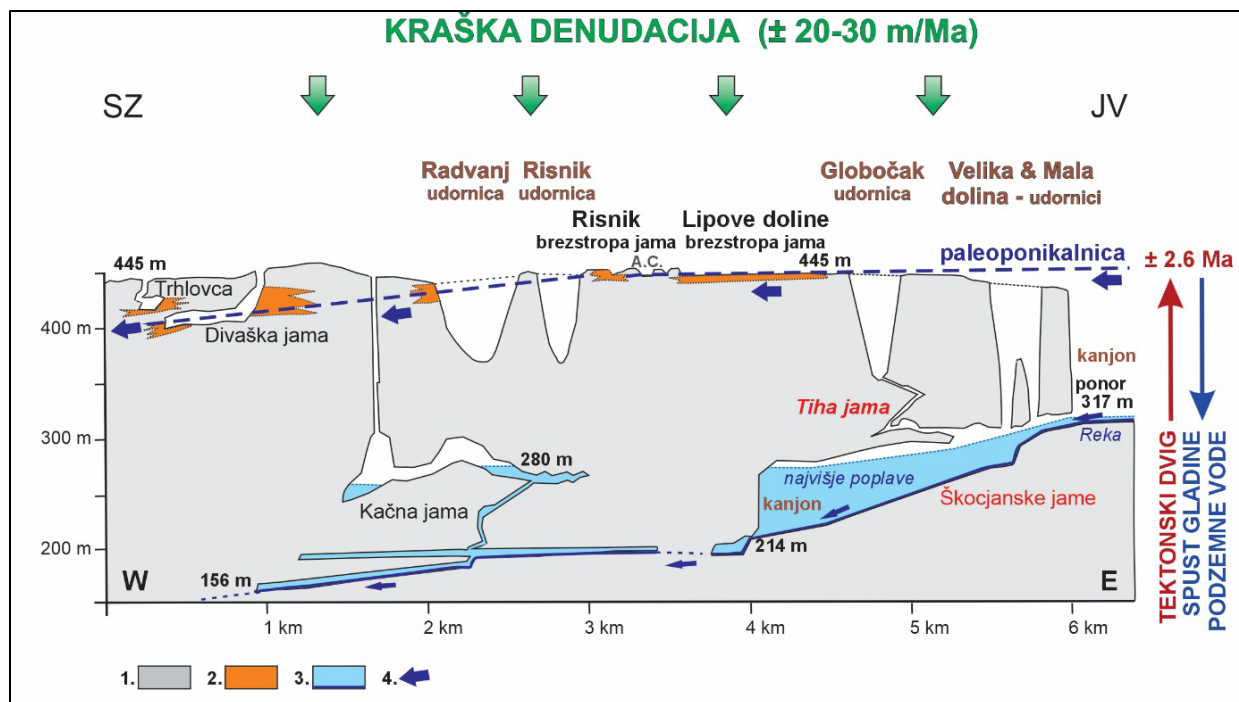
Lipove doline (Slika 2) predstavljajo približno 1,8–2 km dolg niz podolgovatih globeli na nadmorski višini približno 433–450 m, okoli 200–250 m nad današnjimi aktivnimi rovi Škocjanskih jam. V njih so ohranjeni kremenov pesek in prod, glina ter ostanki sige, kar kaže, da ne gre za običajne površinske kraške globeli, temveč za ostanek nekdanjega jamskega sistema, po katerem je tekla ponikalnica s flišnega zaledja (Mihevc, 1999, 2001).

Raziskano sedimentno zaporedje v brezstropi jami pri Risniku (sliki 3.2 in 3.16; Zupan Hajna in sod., 2024) leži v severozahodnem nadaljevanju Lipovih dolin, od katerih ga danes ločuje predvsem območje avtoceste. Paleomagnetne raziskave v kombinaciji z datiranjem sige kažejo, da so najstarejši ohranjeni sedimenti stari približno 5,2–4,9 milijona let. Ker je moral jamski rov obstajati že pred njihovim odlaganjem, predstavljajo te starosti minimalno časovno omejitev njegovega nastanka; jamski prostor je torej star vsaj okoli pet milijonov let.

Sedimentno zaporedje dokumentira več faz razvoja v različnih hidroloških razmerah (glej Zupan Hajna in sod., 2024). Najstarejši sedimenti so se odlagali, ko je bil rov v freatični oziroma epifreatični coni in je skozenj tekla predhodnica današnje Reke. Paleomagnetni podatki kažejo, da se je rečni sediment na tem nivoju odlagal še do približno 2,6 milijona let pred sedanostjo. S postopnim zniževanjem gladine podzemne vode in vrezovanjem Reke se je aktivni tok preselil v nižje rove, višji rov pa je najprej postal občasno poplavljen in pozneje suh, kar je omogočilo rast sige. Nadaljnja denudacija kraškega površja je odstranila njegov strop in ga preoblikovala v današnjo brezstropo jamo.

Neposredne kronološke podatke imamo za sedimentno zaporedje v brezstropi jami v Risniku (Zupan Hajna in sod., 2024), medtem ko Lipove doline še niso neposredno datirane. Njihovo povezovanje z Risnikom in uvrščanje v isti starejši, visoko ležeči jamski nivo temelji na prostorski povezanosti, primerljivi nadmorski višini ter značilnostih ohranjenih sedimentov in sige.

Velika višinska razlika (okrog 200 m) med tem starim janskim nivojem in današnjim aktivnim tokom Reke je posledica dolgotrajnega razvoja, povezanega z regionalnim dviganjem ozemlja, zniževanjem erozijske baze, vrezovanjem podzemnega toka in denudacijskim zniževanjem kraškega površja. Ostanke brezstropne jame Risnik in z njimi geomorfološko povezane Lipove doline tako predstavljajo ostanke starejšega visokega jamskega nivoja Reke. Sedimentno zaporedje v tej brezstropi jami dokazuje, da je tamkajšnji jamski prostor obstajal že pred približno petimi milijoni let, medtem ko današnji podzemni kanjon Škocjanskih jam predstavlja njegovo mlajšo in še vedno aktivno razvojno stopnjo.



Slika 3.16: Konceptualni model razvoja Divaškega krasa na podlagi današnje razporeditve jamskih rogov, brezstropnih jam, aktivnega toka Reke in sedimentnih zapisov (po Zupan Hajna in sod., 2024). Model ponazarja postopno poglobljanje podzemnega odvodnjavanja od pliocena do sedanjosti v interakciji med regionalnim tektonskim dviganjem in denudacijo površja. Legenda: 1- apnenec; 2- jamski sedimenti; 3- struga Reke in višina poplav; 4- smer paleoreke.

Sklep

- Reka še danes aktivno oblikuje podzemni kanjon in prerazporeja sedimente.
- Sedimenti in siga v Tihi jami hranijo večfazni zapis pleistocenskih in holocenskih hidroloških razmer.
- Profil pri Risniku dokazuje, da se je razvoj visokih jamskih nivojev začel že pred več kot petimi milijoni let.

Literatura

Blatnik, M., Culver, D. C., Gabrovšek, F., Knez, M., Kogovšek, B., Kogovšek, J., Liu, H., Mayaud, C., Mihevc, A., Mulec, J., Năpăruș-Aljančič, M., Otoničar, B., Petrič, M., Pipan, T., Prelovšek, M., Ravbar, N., Shaw, T., Slabe, T., Šebela, S., in Zupan Hajna, N., 2020. Deciphering Epiphreatic Conduit Geometry from Head and Flow Data. In M. Knez, B. Otoničar, M. Petrič, T. Pipan, in T. Slabe (Eds), *Karstology in the Classical Karst* (pp. 149–168). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26827-5_8

Gabrovšek, F., Peric, B., 2006. Monitoring the flood pulses in the epiphreatic zone of karst aquifers: The case of Reka River system, Karst Plateau, SW Slovenia. *Acta Carsologica* 35(1), 35–45. <https://doi.org/10.3986/ac.v35i1.241>

Gabrovšek, F., Peric, B., Kaufmann, G., 2018. Hydraulics of epiphreatic flow of a karst aquifer. *Journal of Hydrology* 560, 56–74. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.03.019>

Gams, I., 1974. *Kras: zgodovinski, naravoslovni in geografski oris*. Slovenska matica, Ljubljana, 359 str.

- Gospodarič, R., 1984. Cave sediments and Škocjanske jame speleogenesis. *Acta Carsologica* 12, 27–48.
- Habič, P., Knez, M., Kogovšek, J., Kranjc, A., Mihevc, A., Slabe, T., Šebela, S., Zupan, N., 1989. Škocjanske Jame Speleological revue. *International Journal of Speleology* 18(1–2), 1–42. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.18.1.1>
- Jurkovšek, B., Toman, M., Ogorelec, B., Šribar, L., Šribar, Lj., Poljak, M., Drobne, K., 1996. *Formacijska geološka karta južnega dela Tržaško-komenske planote 1 : 50.000: kredne in paleogenske karbonatne kamnine = Geological map of the southern part of the Trieste–Komen Plateau 1 : 50,000: Cretaceous and Paleogene carbonate rocks*. Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, Ljubljana, 143 str.
- Jurkovšek, B., Cvetko Tešović, B., Kolar-Jurkovšek, T., 2013. *Geologija Krasa = Geology of Kras*. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana, 205 str.
- Knez, M., 1996. *Vpliv lezik na razvoj kraških jam*. Carsologica 14, Založba ZRC, Ljubljana, 186 str.
- Kranjc, A., 1989. *Recent fluvial cave sediments, their origin and role in speleogenesis*. Opera SAZU 27, Ljubljana, 167 str.
- Mihevc, A., 1991. Morfološke značilnosti ponornega kontaktnega krasa v Sloveniji. *Geografski vestnik* 63, 41–50.
- Mihevc, A., 1999. Contact karst of Brkini Hills. *Acta Carsologica* 28, 100–109.
- Mihevc, A., 2001. *Speleogeneza Divaškega krasa*. Carsologica 27, Založba ZRC, Ljubljana, 180 str.
- Mihevc, A., 2007. The age of karst relief in west Slovenia. *Acta Carsologica* 36(1), 35–44. <https://doi.org/10.3986/ac.v36i1.206>
- Placer, L., 2015. Poenostavljena strukturno-geološka karta Krasa: Kras (slovensko), Carso (italijansko) = geografska enota. *Geologija* 58(1), 89–93. <https://doi.org/10.5474/geologija.2015.008>
- Pivetta, T., Braitenberg, C., Gabrovšek, F., Gabriel, G., in Meurers, B., 2021. Gravity as a tool to improve the hydrologic mass budget in karstic areas. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 25(11), 6001–6021. <https://doi.org/10.5194/hess-25-6001-2021>
- Šebela, S., 2009. Structural geology of the Škocjan Caves. *Acta Carsologica* 38(2–3), 165–177. <https://doi.org/10.3986/ac.v38i2-3.121>
- Šebela, S., Novak, U., 2023. Geological structure of karst stratigraphical windows at Škocjan Caves, Slovenia. *SN Applied Sciences* 5, 104. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05330-x>
- Walters, R., Zupan Hajna, N., 2020. 3D-lasersko skeniranje naravnih jam: primer Škocjanskih jam = 3D laser scanning of the natural caves: example of Škocjanske jame. *Geodetski vestnik* 64(1), 89–103. <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.01.89-103>
- Zupan Hajna, N., 1992. Mineralna sestava mehanskih sedimentov in nekaterih delov slovenskega krasa. *Acta Carsologica* 21, 115–130.
- Zupan Hajna, N., Mihevc, A., Pruner, P. in Bosák, P., 2017: Cave sediments in Škocjanske Jame and unroofed cave above them, SW Slovenia. In: Moore K. in White, S. (Eds.) *Proceedings. 17th International Congress of Speleology*, Sydney, NSW, Australia, July 22–28. Sydney: Australian Speleological Federation, V. 2, 34–36.

Zupan Hajna, N., Bosák, P., Pruner, P., Mihevc, A., Hercman, H. in Horáček, I., 2020: Karst sediments in Slovenia: Plio- Quaternary multi-proxy records. *Quaternary International* 546, 4–19. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.11.010>

Zupan Hajna, N., Pruner, P., Bosák, P., Mihevc, A., 2024. Temporal insights into karst system evolution: A case study of the unroofed cave above Škocjanske Jame, NW Dinarides. *Geomorphology* 461, 109282. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109282>

Sponzorji in donatorji





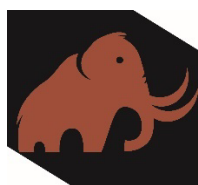
KONZORCIJ
KRAŠKIH



PRIDELOVALCEV
TERANA



Ostali sodelujoči in razstavljalci



**prirodoslovni
muzej
SLOVENIJE**



Zapiski

