



GEOPARK KRAS



GEO PARK KRAS

GEOPARK KRAS

ZALOŽNIK: Geološka služba – Centralna direkcija za varstvo okolja, energijo in trajnostni razvoj Avtonomne dežele Furlanije-Juljske krajine (ADFJK)

v sodelovanju z Občino Sežana (Slovenija)

Za založnika: Fabrizio Fattor, direktor Geološke službe ADFJK

KOORDINACIJA UREDNIŠKEGA ODBORA IN DELOVNE SKUPINE:

Sara Bensi (*Geološka služba ADFJK*)

UREDNIŠKI ODBOR:

Matevž Novak (*Geološki zavod Slovenije - GeoZS*)

Bojan Otoničar (*Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU*)

Chiara Calligaris, Franco Cucchi, Luca Zini, Lorenzo Bonini (*Oddelek za matematiko in geoznanosti Univerza v Trstu - DMG-UniTS*)

Vincenzo Barone (*eco&eco S. r. l.*)

Samo Škrjanec (*Zavita d.o.o.*)

Chiara Piano (*Geološka služba ADFJK*)

AVTORJI (po abecednem vrstnem redu):

Vincenzo Barone¹, Sara Bensi², Lorenzo Bonini³, Chiara Calligaris³, Franco Cucchi³, Katja Fedrigo⁴, Furio Finocchiaro³, Marco Franceschi³, Franci Gabrovšek⁵, Petra Gostinčar⁶, Anna Natali¹, Matevž Novak⁶, Bojan Otoničar⁵, Chiara Piano², Samo Škrjanec⁷, Urška Šolc⁶, Aleksandra Trenchovska⁶, Luca Zini³, Nadja Zupan Hajna⁵

Avtorjem so pri pisanju poglavij pomagali raziskovalci in strokovnjaki z različnih znanstvenih področij, povezanih s posebnostmi geoparka Matičnega Krasa (po abecednem vrstnem redu):

Deborah Arbutta⁸, Lorenzo Consorti⁹, Vesna Guštin¹⁰, Bogdan Jurkovšek⁶, Tea Kolar-Jurkovšek⁶, Andrej Kranjc⁶, Giuliana Renzi¹¹

¹eco&eco Economia & Ecologia Srl (Italija), ²Geološka služba ADFJK (Italija), ³Oddelek za matematiko in geoznanosti - Univerza v Trstu (Italija), ⁴Občina Sežana (Slovenija), ⁵Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU (Slovenija), ⁶Geološki zavod Slovenije (Slovenija), ⁷Zavita d.o.o (Slovenija), ⁸Mestni naravoslovni muzej – Trst (Italija), ⁹CNR Ismar – Trst (Italija), ¹⁰Zadruga Naš Kras (Italija), ¹¹Služba za biotsko raznovrstnost ADFJK (Italija)

PREVODI (po abecednem vrstnem redu):

Vincenzo Barone, Sara Bensi, Lorenzo Bonini, Chiara Calligaris, Franco Cucchi, Furio Finocchiaro, Marco Franceschi, Petra Gostinčar, Matevž Novak, Lorenzo Orettill, Bojan Otoničar, Quickline S.a.S., Petra Škrapč, Samo Škrjanec, Urška Šolc, Aleksandra Trenchovska, Luca Zini

OBLIKOVANJE, PRIPRAVA ZA TISK IN TISK:

Mosetti Tecniche Grafiche Srl, Trst, Italija

NAKLADA:

500 izvodov

KRAJ IN DATUM:

Trst, oktober 2022

Knjiga je na voljo tudi v digitalni obliki na spletni strani:

www.karst-geopark.eu

Izdaja knjige je bila sofinancirana v okviru Programa čezmejnega sodelovanja Slovenija-Italija 2014-2020 iz sredstev Evropskega sklada za regionalni razvoj in nacionalnih sredstev.

Prispevki italijanskih avtorjev so bili financirani s sredstvi Geološke službe Avtonomne dežele Furlanije-Juljske krajine.

Vsebina knjige ne odraža nujno uradnega stališča Evropske unije. Za vsebino te publikacije so odgovorni avtorji.

ZAHVALE:

Delovna skupina, ki je uredila to publikacijo, se zahvaljuje za vso podporo, zlasti številnim raziskovalcem, ki so neposredno in posredno, s svojimi nasveti in na splošno s svojimi idejami, ki so se v preteklih letih uveljavile tudi pri številnih znanstvenih raziskovalcih, poskrbeli za povezavo konceptov, predstavljenih v tej publikaciji. Nemogoče je navesti številne pripadnike znanstvene skupnosti in sodelavce, ki so omogočili to delo in katerim smo iskreno hvaležni.

Interreg



UNIONE EUROPEA
EVROPSKA UNIJA

ITALIA-SLOVENIJA



GeoKarst

Progetto standard co-finanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale
Standardni projekt sofinancira Evropski sklad za regionalni razvoj



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

www.regione.fvg.it

www.ita-slo.eu/geokarst

Partnerji projekta Interreg GeoKarst:

Vodilni partner:



Občina Sežana
www.sezana.si



Javni zavod Park Škocjanske jame
www.park-skocjanske-jame.si



Regione Veneto
www.regione.veneto.it

Vse pravice pridržane. Nobenega dela te publikacije ni dovoljeno reproducirati, shranjevati v sistem za iskanje podatkov ali prenašati v kakršni koli obliki ali na kakršen koli način, bodisi elektronsko, mehansko, s fotokopiranjem, snemanjem ali kako drugače, brez predhodnega dovoljenja založnika.

Slike dinosavrov z lokacije Ribiško naselje - Villaggio del Pescatore so uporabljene z dovoljenjem SABAP FVG – MiC, nadaljnje reproduciranje za dobičkonosne namene je prepovedano.

Fotografije na naslovnici: Roberto Valenti (*Služba za gozdove in gozdarsko policijo, ADFJK*) in Mario Saccomano - Shutterstock

Oblikovanje naslovnice: Fiorella Bieker (*Geološka služba ADFJK*) & Mosetti Tecniche Grafiche S.r.l.

ISBN: 97888940394-6-7

Pri citiranju prosim napišite:

Bensi S., Novak M., Otoničar B., Calligaris C., Cucchi F., Zini L., Bonini L., Barone V., Škrjanec S., Piano C. Eds (2022): Geopark Kras, Založnik: Geološka služba - Centralna direkcija za varstvo okolja, energijo in trajnostni razvoj Avtonomne dežele Furlanije-Juljske krajine, 2022, Trst-Trieste

Spremna beseda

Knjiga z naslovom »Geopark Kras« je poseben izdelek, saj priča o uspešnem čezmejnem sodelovanju, katerega skupni rezultat bo rojstvo čezmejnega geoparka na matičnem Krasu. Knjigo smo pripravili v projektu GeoKarst, ki je sofinanciran v okviru Programa sodelovanja Interreg V-A Italija - Slovenija 2014–2020. Knjigo je sofinancirala tudi Geološka služba Centralne direkcije za varstvo okolja, energijo in trajnostni razvoj Avtonomne Dežele Furlanije - Julijske krajine (ADFJK).

Ideja o čezmejnem geoparku se je porodila ob pripravi strateškega projekta KRAS-CARSO (Program čezmejnega sodelovanja Slovenija - Italija 2007–2013). V teku projekta se je izkazala za ustrezno, saj je bilo v Študiji izvedljivosti vzpostavitve geoparka na Krasu s strokovnega, ekonomsko-upravljaljskega in participativnega vidika ugotovljeno, da bo povezovanje homogenega območja Krasa doseženo z vzpostavitvijo čezmejnega geoparka - kot razvojnega orodja za trajnostno rabo virov v dobrobit ljudi, ki živijo na čezmejni planoti Krasa.

Območje geoparka vključuje pet slovenskih in dvanajst italijanskih občin. Te so se leta 2015 in 2017 dogovorile za vzpostavitev čezmejnega geoparka, zato od leta 2018 Geološka služba Dežele Furlanije – Julijske krajine (koordinator za italijanski del geoparka) in Občina Sežana (koordinator za slovenski del geoparka) intenzivno izvajata aktivnosti za ustanovitev in delovanje čezmejnega geoparka na Krasu.

Knjiga opisuje vse glavne značilnosti Krasa, ki kot zibelka krasoslovne znanosti nosi svetovni pomen v kulturnem, zgodovinskem in znanstvenem vidiku. V knjigi boste opazili pogosta dvojezična imenovanja krajev in toponimov, v čemer se odraža bogata zgodovina območja, ki je stičišče več kultur. Danes so prebivalci Krasa predvsem Slovenci in Italijani. Slovenski jezik in kulturo na italijanskem delu Krasa podpira tudi zakon o zaščiti zgodovinskih jezikovnih manjšin.

Iskrena hvala vsem sodelujočim, ki so prispevali k izidu te knjige.

KAZALO

1 Uvod	7	4.2.2 Geotočka "Ribiško naselje (Villaggio del Pescatore)" (geotočka št. 6)	83
1.1 Geoparki in Unescova Globalna mreža geoparkov	7	4.2.3 Olistoliti Miramarskega gradu (geotočka št. 27)	84
1.2 Zakaj geopark Kras-Carso?	9	4.2.4 Škrapljišča v Briščikih (Borgo Grotta Gigante) (geotočka št. 28)	85
2 ZNAČILNOSTI KRASA	13	4.2.5 Arheološke jame	87
2.1 Kaj je kras?	13	4.2.6 Tomajski apnenec s fosili (geotočka št. 34)	89
2.1.1 Kraške kamnine	14	4.2.7 Kamnolom rudistnega apnenca Lipica (geotočka št. 45)	90
2.1.2 Raztapljanje karbonatnih kamnin	15	4.2.8 Rimski kamnolom Nabrežina (Aurisina) (geotočka št. 24)	90
2.2 Površinske in podzemne kraške oblike ter kraška terminologija	15	4.2.9 Dolina Glinščice (Val Rosandra) (geotočka št. 58)	91
2.2.1 Reliefne značilnosti kraškega površja	15	4.2.10 Slepe doline Matarskega podolja (slepa dolina Odolina) (geotočka št. 61)	93
2.2.1.1 Drobne skalne oblike	15	4.2.11 Prelomna cona Raškega preloma (geotočka št. 38)	95
2.2.1.2 Kraške oblike srednjega obsega	17	4.2.12 Jame Krasa	95
2.2.1.3 Kraški pojavi velikih dimenzij	19	4.2.13 Devinske stene (geotočka št. 9)	102
2.2.1.4 Morfološke oblike kontaktnega krasa	20	4.2.14 Izviri Timave (geotočka št. 5)	103
2.2.1.5 Kraška uravnavna	22	5 Kras in človek	105
2.2.1.6 Obalni kras	22	5.1 Kraški kamen	105
2.2.1.7 Fluviokras	22	5.2 Kras kot kulturna krajina	111
2.2.2 Jame	22	5.3 Kmetijstvo, običaji in geoproducti geoparka	118
2.3 Hidrogeološke značilnosti krasa	25	5.3.1 Kmetijstvo	118
2.4 Vrste krasa	25	5.3.2 Geoproducti	119
2.4.1 Glavni tipi krasa v Sloveniji	26	5.3.3 Kuhinja	121
2.4.2 Glavni tipi krasa v Furlaniji - Julijski krajini	28	5.3.4 Dogodki in tradicije	127
3 Geologija in geomorfologija matičnega Krasa	33	6 Rastlinstvo in živalstvo Krasa	131
3.1 Območje geoparka Kras-Carso	33	6.1 Uvod - geodiverziteteta in biodiverziteteta območja	131
3.2 Zgodovina odkritij in raziskovanj Krasa	35	6.2 Rastlinstvo	134
3.2.1 Geološke raziskave	35	6.3 Živalstvo	137
3.2.2 Speleološke in hidrogeološke raziskave	37	7 Varstvo narave	145
3.3 Geološka zgodovina območja geoparka	39	7.1 Zavarovana območja geoparka - varstvo naravne in kulturne dediščine	145
3.4 Geološka struktura območja Krasa	55	7.2 Etični kodeks za obiskovalce geoparka	147
3.4.1 Dinarska orogeneza	55	Priloga 1: Zemljevid izbranih geoloških točk čezmejnega geoparka Kras-Carso	149
3.4.2 Struktura in zgodovina Krasa	57	Seznam literature in spletnih virov	155
3.5 Geomorfologija območja geoparka	59		
3.6 Hidrogeologija območja geoparka	71		
4 Geodiverziteteta v slikah: geološke zanimivosti geoparka	81		
4.1 Predstavitev geodiverzitetete in geotočk geoparka	81		
4.2 Geodiverziteteta v slikah	82		
4.2.1 Kraška jezera (geotočka št. 3)	82		



1.1 Geoparki in Unescova Globalna mreža geoparkov

Geopark je geografsko območje z dobro opredeljenimi mejami in prepoznano geološko dediščino. Izstopa v znanstvenem pomenu in redkosti geoloških pojavov ter estetske ali izobraževalne vrednosti interesnih točk, ki jih vsebuje. V geoparku sta primarna cilja varstvo in bogatitev geodiverzitete združena s ciljema izobraževanja in trajnostnega razvoja. Slednja vključujeta tudi lokalne skupnosti. Geopark uporablja svojo geološko dediščino v povezavi z vsemi drugimi vidiki naravne in kulturne dediščine območja. Skrbi za krepitev ozaveščenosti in razumevanja ključnih problemov, s katerimi se sooča družba, kot so trajnostna raba zemeljskih virov, blažitev učinkov podnebnih sprememb in zmanjševanje tveganj, povezanih z naravnimi nevarnostmi. Z ozaveščanjem o pomenu geološke dediščine območja v zgodovini in v današnji družbi, geoparki lokalnim prebivalcem vzbujajo ponos na svojo regijo in krepijo njihovo identifikacijo z območjem.

Koncept geoparkov se je rodil sredi devetdesetih let prejšnjega stoletja in ga na mednarodni ravni promovira UNESCO. Leta 2000 je bila ustanovljena Evropska mreža geoparkov (EGN), ki se je kasneje (2004) združila v širšo Globalno mrežo geoparkov (GGN).

Evropska listina geoparkov, ki jo mora sprejeti in podpisati vsak član EGN, narekuje razvoj :

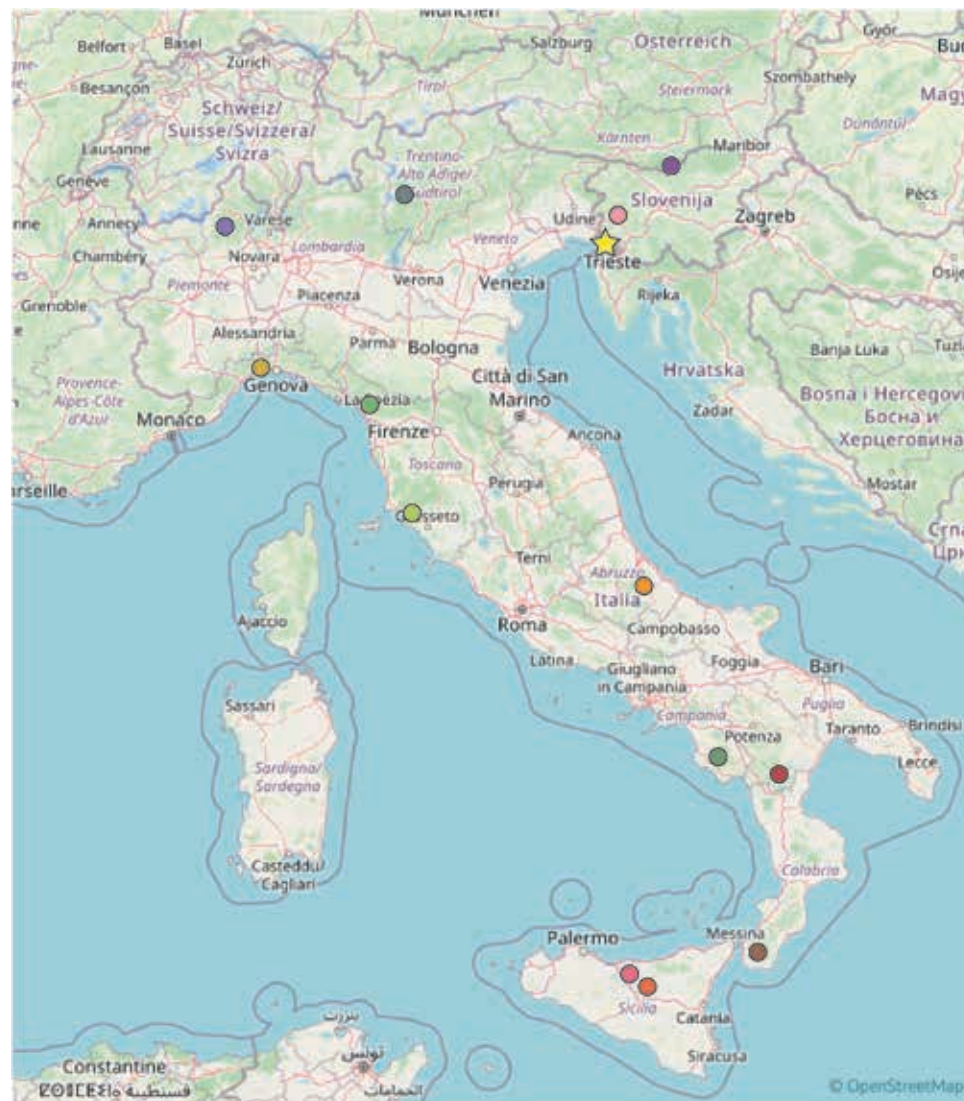
- ♦ metod **ohranjanja** geološke dediščine;
- ♦ partnerstev z lokalnimi podjetji za promocijo, ustvarjanje in **trženje novih izdelkov**, povezanih z geološko dediščino;
- ♦ dejavnosti za spodbujanje **geoturizma** in celostnega gospodarskega razvoja;
- ♦ dejavnosti za spodbujanje **okoljskega izobraževanja in znanstvenih raziskav** na področju znanosti o Zemlji.

The European Geoparks Network today



The Network consists of 94 Geoparks in 28 European countries (February 2022)
www.europeangeoparks.org

Slika 1.1.2: Zemljevid Evropske mreže geoparkov in seznam italijanskih in slovenskih geoparkov z lokacijo Krasa



- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| ★ CLASSICAL KARST GEOPARK | ● KARAWANKEN KARAVANKE GEOPARK |
| ● ADAMELLO BRENTA GEOPARK | ● MADONIE GEOPARK |
| ● APUAN ALPS GEOPARK | ● MAIELLA GEOPARK |
| ● ASPROMONTE GEOPARK | ● POLLINO GEOPARK |
| ● BEIGUA GEOPARK | ● ROCCA DI CERERE GEOPARK |
| ● CILENTO AND VALLO DI DIANO GEOPARK | ● SESIA VAL GRANDE GEOPARK |
| ● IDRIJA GEOPARK | ● TUSCAN MINING GEOPARK |

Leta 2022 je Unescovih globalnih geoparkov 177, razporejeni so v 46 državah na štirih celinah.

Italija in Slovenija sta dobro zastopani na mednarodnem prizorišču s 14 geoparki, ki so priznani v Evropski mreži in Globalni mreži geoparkov pod okriljem Unesca. V vsej Evropi pa le štirje geoparki sodijo v kategorijo čezmejnih geoparkov. Tudi Kras-Carso je čezmejno območje edinstvenih geoloških in geomorfoloških značilnosti mednarodnega pomena, zaradi katerih je s kulturno-zgodovinskega in znanstvenega vidika postalo »zibelka« krasoslovne znanosti in dobilo ime »matični Kras«.



Slika 1.2.1: Podzemni tok sistema Reka/Timava na dnu brezna Labadnica (Abisso di Trebiciano) je bil prvič dosežen na globini 326 metrov leta 1841 (avtor: Antonio Federico Lindner 1841)

1.2 Zakaj Geopark Kras-Carso?

Vsak geopark predstavlja geološko dediščino mednarodnega pomena. Promovira geološke procese in pojave, časovna obdobja, zgodovinske teme, povezane z geologijo, ali izjemno geološko lepoto na svojem ozemlju.

Glavne geološke posebnosti Geoparka Kras-Carso so:

- ♦ Geomorfologija Krasa, za katero so značilni raznovrstni površinski in podzemni kraški pojavi ter posebna hidrogeološka mreža. Matični Kras je zato v 19. stoletju prispeval k rojstvu in razvoju znanstvenih disciplin krasoslovja, speleologije in speleobiologije. Pravzaprav je sodobna speleologija (sistematično raziskovanje in kartiranje jam) nastala na tem območju, začeniši z raziskavami vodooskrbe Trsta. Leta 1841 je bil dosežen podzemni vodotok rečnega sistema Reke-Timave na dnu brezna Labadnica (Grotta di Trebiciano), na 326 metrih pod površjem. Zaradi izrazitih reliefnih oblik so bili v mednarodno znanstveno terminologijo privzeti lokalni izrazi za kraške pojave, kot so sam kras, dolina in polje.
- ♦ Geološki razvoj geoparka se najbolje odraža v kraških jamah, ki so nastale v hidrogeološkem sistemu reke Reke/Timave. Tu so nastale Škocjanske jame, izjemen kraški sistem z enim največjih znanih podzemnih kanjonov na svetu. Učbeniški primeri ponorov, naravnih mostov, sotesk, škavnic, udornic, brezen, podzemnega kanjona, izvirov in rofov, okrašenih s sigo, dajejo temu majhnemu območju svetovni pomen pri proučevanju kraških pojavov in procesov. Škocjanske jame so zaradi svojega naravnega in kulturnega pomena že od leta 1986 uvrščene na Unescov seznam svetovne dediščine. Po izjemni obliki in velikosti je primerljiva Briška jama (Grotta Gigante) z največjo dvorano v turistični jami na svetu.
- ♦ Sedimentno zaporedje zajema časovno obdobje skoraj 100 milijonov let - od začetka obdobja krede, pred približno 140 milijoni let, do sredine eocena, pred približno 45 milijoni let. Hrani zapis spreminjajočih se geoloških okolij na plitvomorski karbonatni platformi, na katera so vplivale podnebne spremembe, evstatične spremembe morske gladine ter globalni in lokalni tektonski premiki.



- ✦ Eden najpopolnejših in najbolj ohranjenih dinosavrov na svetu, najden v Ribiškem naselju (Villaggio del Pescatore) in drugi izjemno dobro ohranjeni fosilni vretenčarji v ploščastih apnencih na območjih Komna in Tomaja. Matični Kras vsebuje zelo bogat in raznovrsten fosilni inventar več živalskih in rastlinskih elementov.
- ✦ Kredno-paleogenska (mezozojsko-kenozojska) stratigrafska meja, ki jo zaznamuje eno najbolj uničujočih množičnih izumrtij v zgodovini planeta, je zabeležena v več profilih na tem območju.
- ✦ Kraška kulturna krajina, ki jo močno zaznamujeta kamnito površje in uporaba kamna kot gradbenega materiala. Tehniko suhozidne gradnje je Unesco leta 2018 uvrstil na seznam nesnovne kulturne dediščine človeštva.

Pomembno prisotnost z geologijo povezanih virov matičnega Krasa dopolnjujejo:

- ✦ Približno 80 geoloških točk, med katerimi imajo mnoge mednarodni pomen. Obišče jih več sto tisoč obiskovalcev letno.
- ✦ izjemna pestrost rastlinskih in živalskih vrst in veliko število redkih in endemičnih vrst, Kras uvrščajo med območja z najvišjo biodiverziteteto v Evropi. Pomemben je za ohranjanje življenjskih prostorov ogroženih rastlinskih in živalskih vrst v Evropi. Območje ima tudi velik znanstveno-raziskovalni pomen za proučevanje jamskih rastlin in živali.
- ✦ o pomembni naravni dediščini priča tudi 67 % ozemlja, ki sodi v omrežje Natura 2000; tu sta tudi dve biosferni območji z zaščito Unescovega medvladnega raziskovalnega programa MaB – Človek in biosfera, in sicer Park Škocjanske jame in Morsko zavarovano območje Miramar.
- ✦ kulturna dediščina, za katero so značilna številna arheološka najdišča. Utrdbe in obrambni artefakti prve svetovne vojne pričajo o eni najbolj krvavih strani v zgodovini tega območja. Za to območje so značilne tudi agroživilske dobrine - vina, olja, siri in pršuti, ki so močno povezani z značilnostmi tal in geologijo.



ZNAČILNOSTI KRASA

2.1 Kaj je kras?

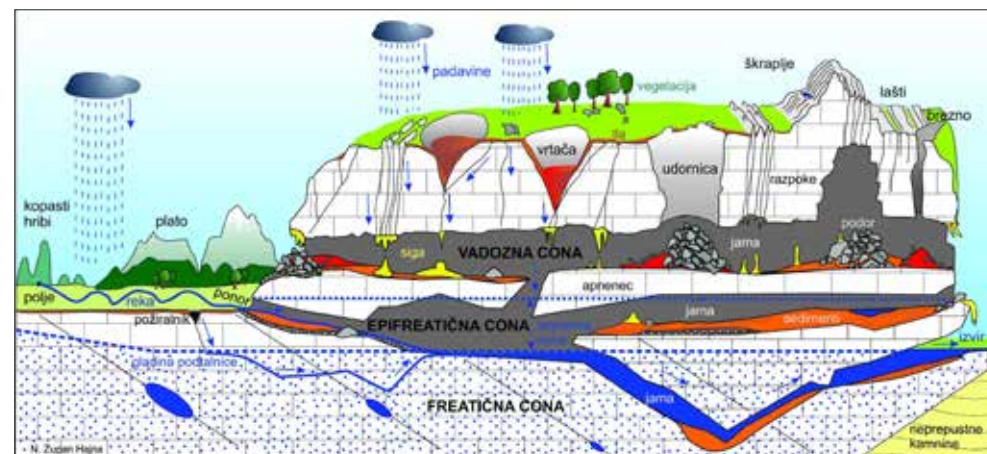
Kraški pojavi ali preprosteje kras je morfološki izraz za vse procese raztapljanja kamnin, pri katerih prevladuje kemično delovanje na karbonatne kamnine, z mehanizmi, ki jih imenujemo kraška korozija oziroma raztapljanje. Raztapljanje poteka tam, kjer je voda prisotna v tekoči obliki, torej v zmernem, subtropskem in tropskem podnebjju. Na območjih z malo padavinami ali kjer prevladujeta sneg in led, so kraški procesi manj učinkoviti od mehanskih (rečna erozija, ledeniška abrazija ipd.).

Čeprav so do neke mere vse kamnine topne v vodi, pa se le v nekaterih v določenih morfo-klimatskih razmerah oblikujejo značilni kraški pojavi. Po pomembnosti med kraškimi kamninami prednjačijo karbonati, sestavljeni iz kalcita, dolomita itd., sledijo evaporiti, sestavljeni iz kamene soli, sadre, anhidrita itd., v nekaterih predelih so pomembni tudi kvarciti, sestavljeni iz kremenca.

Apneneci in dolomiti predstavljajo približno četrtno kopnega površja zemlje, razširjeni so po vseh celinah in so vsi bolj ali manj zakraseli.

Na površju ima kras veliko oblik, ki jih po eni strani težko prepoznamo, po drugi pa so nekatere dramatične in slikovite. Velik del kraške pokrajine je skrit pod zemeljskih površjem v jamah. Na večini kraških območij vode običajno ni na površju, saj večina kraških voda teče podzemno. Vse padavine hitro poniknejo pod površje skozi odprte razpoke. Na krasu lahko v ponorih poniknejo tudi razmeroma velike reke, ki nato tečejo globoko pod površjem, tako skozi znane

jame, kot tudi neznane kanale in razpoke. Ker je kraško površje večinoma kamnito, brez debelih tal in zato neprimerno za obdelovanje, kraška območja nikoli niso bila gosto poseljena.



Slika 2.1.2: Konceptualni model vodnega toka v kraškem vodonosniku z glavnimi površinskimi in podzemnimi geomorfološkimi oblikami (po Zupan Hajna N., 2021)

Toponim Kras izvira iz paleoindoevropske besede Kar (tudi Karra), kar pomeni skala ali kamen.

Z znanstvenega vidika je kras opredeljen kot pokrajina z značilnim reliefom, jamami in drenažo podzemne vode, ki je nastala s procesi raztapljanja (Slika 2.1.2). Izraz se je prvotno nanašal na apnenčasto območje severovzhodno od Tržaškega zaliva v Sloveniji in Italiji, z latinskim imenom Carusadus ali Carsus, in se je glede na različne jezike spreminjal: Karst (nemško), Carso (italijansko), Kras (slovensko). Ta izraz se je kasneje prenesel na vsa območja s podobnimi geomorfološkimi lastnostmi. V slovenščini kras pomeni kamnita, gola in suha pokrajina. Ime pogosto uporabljamo kot toponim za tovrstno pokrajino na severozahodnem delu dinarskega krasa, tako v Sloveniji kot na Hrvaškem.

◀ Slika 2.1.1: Orleška Draga, v ozadju Nanos (foto: Roberto Valenti)

2.1.1 Kraške kamnine

Raztapljanje topnih kamnin je najpomembnejši kraški proces. Tako je razvoj kraških oblik omejen predvsem na območja, kjer prevladujejo karbonati (npr. apnenec (Slika 2.1.3A), dolomit, kreda, klastične karbonatne kamnine (konglomerat, breča) (Slika 2.1.3B), marmor in karbonatit) ali evaporiti (npr. sadra, anhidrit in sol) (Slika 2.1.3C), med njimi pa je največ apnencev in dolomitov. Večina karbonatnih in tudi evaporitnih sedimentov izvira iz tropskih in subtropskih območij, kjer so se odlagali na obsežnih plitvih morskih karbonatnih platformah in koralnih grebenih, podobno kot danes na Bahamih (Slika 2.1.4), obalah Perzijskega zaliva in Velikem koralnem grebenu Avstralije. Kasneje so bila območja s karbonatnimi platformami, zaradi procesov tektonike plošč iz prvotnega geografskega položaja, premaknjena.

Med pomembne lastnosti karbonatnih kamnin za razvoj zakrasevanja prištevamo poroznost, mineraloško sestavo, strukturne in te-

Slika 2.1.3: Kraške kamnine: A) zgornjetriasni plastoviti apnenec Dachsteinske formacije (Kaninski podi, Julijske Alpe, Slovenija) (foto: Bojan Otoničar), B) kredna apnenčasta breča/konglomerat (Dolina Učje, Z Slovenija) (foto: Bojan Otoničar), C) paleozojska sol (otok Queshm, Iran) (foto: Bojan Otoničar)



Slika 2.1.4: Podvodne karbonatne peščene sipine, lokalno izpostavljene na kopnem (zahodno od otoka Eleuthera, Great Bahama Bank, Bahami) (foto: Bojan Otoničar)

ksturne značilnosti, količino nečistoč v njih in debelino plasti. Poleg tega igrajo pri razvoju zakrasevanja in oblikovanju kraških značilnosti in krajine pomembno vlogo tudi geotektonski režim kraških območij in geološke strukture, kot so razpoke in prelomi. Voda pronica skozi odprte prostore (razpoke, prelomi, lezike, ...) v karbonatnih kamninah in jih hkrati s korozijskimi procesi širi. Bolj kot je karbonatna kamnina čista, manj netopnih ostankov vsebuje. Dolomit se topi počasneje kot apnenec in je bolj nagnjen k mehanskemu preperevanju.

2.1.2 Raztapljanje karbonatnih kamnin

Na intenzivnost raztapljanja apnenca vplivata predvsem količina padavin in parcialni tlak razpoložljivega CO_2 , oboje je odvisno od podnebja in lastnosti kamnin. Na splošno velja, da več kot je na voljo vode in CO_2 za tvorbo ogljikove kisline, hitreje se kamnina raztaplja. Voda povzroča raztapljanje glede na svojo kemično sestavo in mehanske lastnosti, to je količino in naravo vodnega toka ter značilnosti njenega stika s kamnino. Zakrasevanje karbonatnih sedimentov/kamnin se začne takoj, ko so le-ti izpostavljeni sladki vodi ali mešanici sladke in slane vode. Pri zakrasevanju apnenca in dolomita pride načeloma do raztapljanja mineralov kalcita in dolomita, nečistoče pa ostanejo kot netopni ostanek. Deževnica, obogatena s CO_2 iz ozračja in tal, tvori šibko ogljikovo kislino. Pri pronicanju skozi karbonatne kamnine jih ta šibka ogljikova kislina raztopi, pri čemer nastanejo kalcijevi in hidrogenkarbonatni ioni. Ko voda, obogatena z raztopljenimi ioni, doseže odprto jamsko okolje, razlika v parcialnem tlaku CO_2 v jami povzroči razplinjevanje raztopine (mehurčki), kar povzroči izločanje kalcita v različnih oblikah kalcitnih usedlin, to je različnih oblikah sig.

Razlike v denudaciji (znižanje zemeljskega površja) kraškega površja oziroma odnašanju karbonatnega materiala s površja v ionski obliki temeljijo predvsem na razlikah v podnebju (količina padavin, temperatura), evapotranspiraciji, parcialnem tlaku CO_2 in sestavi kamnine (minerali, tekstura, struktura, nečistoče itd.). Glede na terenske podatke je v zmernem podnebju stopnja denudacije kraškega površja okoli 20 - 60 metrov na milijon let.

2.2 Površinske in podzemne kraške oblike ter kraška terminologija

Površinski kraški pojavi nastanejo z raztapljanjem z deževnico (npr. škraplje, vrtače), kraško podtalnico (npr. dna polj, kraške uravnave) in s prenosom kraških podzemnih pojavov na površje (npr. udornice, brezstropne jame). Naravni jamski vhodi so del kraškega površja in vodijo v podzemlje. Sem spadajo brezna, ponori, požiralniki, izviri in odprtine v dnu udornic ter odprtine, ki nastanejo, ko kraško površje zaradi denudacije oziroma zniževanja zaradi površinske erozije odkrije jamski strop. Jame imajo različno razporeditev jamskih kanalov, ki je odvisna od lokalne geologije (kamninska sestava in tektonske strukture, kot so razpoke, prelomi, lezike), lokacije (geografska širina, nadmorska višina), značilnosti podzemne vode (alogene ali avtigene, ...), prevladujočega mehanizma raztapljanja (prevladujoča kislina, korozija mešanja, ohlajanje dvigajoče se vode itd.), razvoja pokrajine (različna geotektonska območja) in podnebje (zmerno, tropsko, ...).

2.2.1 Reliefne značilnosti kraškega površja

Nastanek kraških pojavov je odvisen od količine padavin, vrste gostiteljske kamnine, prisotnosti tal in vegetacije ter naklona terena. Ustrezne razmere povzročijo nastanek tako majhnih raztopinskih skalnih oblik (npr. žlebovi, meandri, ponve, grike v apnenčastih tlakih itd.) kot srednje velikih in velikih kraških pojavov (npr. vrtače, kopasti griči, polja, itd.).

2.2.1.1 Drobne skalne oblike

Na stiku med kamnino in meteorno vodo nastajajo na površini kamnin zaradi korozije z meteorno vodo (padavinami) drobni kraški pojavi (Slika 2.2.1). Njihov nastanek je odvisen od količine padavin, narave toka in stika vode s površino kamnine.

Na površini apnenca se oblikujejo drobne korozijske oblike različnih velikosti, zaradi česar je površina kamnin neravna in hrapava (Slika 2.2.1A, B). Na ravni površini gole skale nastanejo škavnice (ka-



Slika 2.2.1: Značilnosti drobnih površinskih skalnih kraških pojavov (arhiv IZRK ZRC SAZU): A) žlebiči (Kras); B) žlebovi (Kanin, zahodna Slovenija); C) škavnice (kamenice) (Kras); D) korozijske škraplje (Kras)

menice) (Slika 2.2.1C), medtem ko se na nagnjenem površju oblikujejo žlebiči in večji žlebovi (Slika 2.2.1A, B). Če so žlebovi nastali pod naknadno odstranjenimi tlemi - ponekod tudi mahom, so bolj ali manj zaobljeni. Ko se razpoke ali druga območja z nižjo odpornostjo zaradi korozije povečajo, nastanejo škraplje (Slika 2.2.1D), ki ločijo kamnino na bloke različnih velikosti. Bloki so večji, če je kamnina debelo plastovita ali masivna. Predvsem na tanko plastovitih apnencih so pogosta območja kaotično razčlenjenih manjših kamnov oziroma melišča (griže).

Nastanek različnih drobnih kraških oblik je posledica razlik v učinkovitosti raztapljanja vode, ki teče po različno nagnjenem pobočju (dinamična topnost) ali na ravnem površju s stoječo vodo v depre-

sijah (statična topnost). Prve lahko nadalje razdelimo na tiste, ki se oblikujejo vzdolž linij največjega naklona, in na tiste, ki sledijo nezveznostim v kamninah.

Najpogostejše drobne površinske kraške skalne oblike:

- ◆ Žlebiči (Slika 2.2.1A) so drobne skalne oblike, ki jih lahko opredelimo kot kratke ravne brazde (globoke približno centimeter, široke od enega do štiri cm in dolge pet do 50 cm) z zaobljenim dnom. Pogosto se tvori več vzporednih žlebičev, ki lahko spominjajo na glavnik, pero, snop, ...-pri tem pa so posamezni žlebiči med seboj ločeni z ostrimi grebeni, ki delujejo kot razvodnica. Žlebiči nastanejo s korozijo zaradi deževnice oziroma dinamične topnosti vzdolž linij največjega naklona.
- ◆ Žlebovi (Slika 2.2.1B) so podobno kot žlebiči brazde, ki sledijo največjemu naklonu apnenčastega površja, le da so nekoliko večjih dimenzij (široke nad 5 cm, globoke nad 3 cm, dolge najmanj 100 cm). V prerezu so vedno v obliki črke U, po dolžini pa so običajno ravni, lahko pa, predvsem na rahlo nagnjenih površinah, tudi vijugasti. Dno je gladko, pogosto izdolbeno s sekundarnim žlebom (minimalni perkolacijski tok). Geneza žlebov je vezana na zgoščeni linearni tok odtočnih voda, zato je morfologija odvisna od naklona površja, prisotnosti rastlin in tipa podnebja (padavinski režim). So klasičen primer tako imenovane pospešene korozije.
- ◆ Škavnice (Slika 2.2.1C) so običajno relativno majhne zaprte zaobljene kotanje, neenakomernega premera in glede na površino plitve (globina od dva do 50 cm, širina od pet do 200 cm). Tla so običajno skoraj vodoravna, prerez je raven ali skledast, proti dnu razširjen. Pogosto imajo iztok. Njihova geneza je povezana s stoječo vodo v mikrodepresiji, agresivnost katere včasih izvira ali jo pospešuje prisotnost nitastih alg (fitokras). Škavnice se širijo hitreje kot poglobljajo, saj je korozija bolj aktivna na robovih kot na dnu. Zaradi postopnega poglobljanja iztočne zareze se v fazah postopnega zniževanja gladine vode v škavnici na dnu sten pogosto ustvarijo zajede, skoraj „korozijski utori“.

- ◆ Škraplje (Slika 2.2.1D)
so globoke zajede, ki so ponekod med luknjami povezane z anastomozami. Pogosteje kot naklon površja jih usmerjajo razpoke v kamnini. Stranice so vedno zelo strme, dno je ravno ali v obliki črke V in slabo odprto. Z vidika nastanka so podobni kraškim žlebičem, vendar pri žlebičih usmerja vodni tok največji naklon, pri škrapljah pa nezveznosti (običajno razpoke) v kamnini.
- ◆ Griže
so kamnita tla iz bolj ali manj drobnih kamnov oziroma skal, ki se oddvojijo od matične kamnine zaradi raztapljanja vzdolž pogostih nezveznosti v kamnini (plastovitost in razpoke). Tako se ločijo od kamnite podlage in ostanejo bolj ali manj na mestu nastanka – brez znatnega premika.
- ◆ Apnenčasti lašti in škrapljišča
so skalni izdanki, ki lahko vključujejo več morfotipov raztapljanja, kot so žlebiči, žlebovi, škraplje, škavnice, kanali itd.
- ◆ Apnenčasti stolpi
Posamezni ostanki blokov (pet - do deset metrov višine) štrlijo nad ostalim kraškim površjem in pričajo o preteklih, višjih, a danes večinoma denudiranih kraških površjih.

2.2.1.2 Kraške oblike srednjega obsega

Vrtača je najznačilnejša kraška reliefna oblika srednjih zemljepisnih širin (Slika 2.2.2). Vrtače so zaprte lijakaste ali skledaste kotanje v kraški pokrajini, katerih širina je običajno večja od globine. Med njimi prevladujejo globoke do deset metrov in široke do 50 metrov. Pogosto so njihova pobočja podobno skalnata kot okoliška kraška pokrajina, dno običajno pokriva do nekaj metrov debel sediment oziroma tla. Različni procesi, kot so raztapljanje, porušitve jamskih stropov, izpiranje drobnozrnatih sedimentov in posedanje plasti nad bolj topnimi kamninami, lahko privedejo do podobne reliefne oblike oziroma do vrtače. To pomeni, da so lahko številne vrtače podedovane oblike, nastale s preoblikovanjem jam in brezen. Kljub temu so najpogostejše vrtače nastale z raztapljanjem na površju, kjer voda raztaplja kamnino in jo v raztopini odnaša v podzemlje. Predvsem

nastajajo na mestih, kjer voda pronica v globino navpično in pri tem učinkovito raztaplja kamnino, še posebej kjer so prisotna tla in biološko delovanje. Gostota vrtač na kraškem površju je odvisna od vrste kamnine (na dolomitih so manj pogoste, na čistih plastovitih apnencih pa zelo številne), naklona pobočij (na strmih pobočjih vrtač ni) in pogostosti prelomov. Vrtače na apnencih so bolj skalnate od tistih na dolomitih in imajo manj preperine na pobočjih. Tla se običajno kopičijo v dnu vrtač, ki so pogosto obdelana.

Veliko večje od običajnih vrtač so običajno udorne vrtače oziroma udornice (Slika 2.2.3). To so velike kraške kotanje s strmimi ali celo navpičnimi pobočji, ki so nastale z udrom stropa večjega jamskega rova. Prisotnost teh kraških pojavov je povezana predvsem s prisotnostjo tokov podzemne vode, saj je bil le tako lahko zaradi erozije in raztapljanja zrušen material odstranjen. Udornice običajno ne nastanejo nenadoma, temveč počasi, z dolgotrajnim padanjem

Slika 2.2.2: Za kmetijske namene antropogeno preoblikovana (izravnana) vrtača – tako imenovana delana vrtača (Bela Krajina, južna Slovenija) (foto: Bojan Otoničar)





kamenja s stropa jame, dokler se na površini ne odpre luknja. Dna udornic so običajno prekrita z podrtim kamenjem, ki lahko zapira vhode v jame. Vendar pa skozi nekatere udornice kljub temu lahko dosežemo spodaj ležeče jame. V deževnih obdobjih, ko je gladina podzemne vode visoka, so lahko poplavljeni tudi spodnji deli udornic. Večje udornice so globoke od 50 do 200 metrov in široke do nekaj sto metrov. Njihova prostornina lahko doseže več milijonov kubičnih metrov.

Druga tipična kraška reliefna oblika je uvala. To je večja podolgovata plitva kotanja z dnom v obliki črke U in višjim obodom. Uvale so pogoste tudi na dolomitni podlagi. Nastanejo lahko z združenjem več manjših kraških depresij - vrtač, ki so se povečevale druga proti drugi. Ponekod so vrtače tudi v dnu uval, kjer je pogosto tudi nekoliko večja količina sedimenta, tla pa so debelejša.

Kot je prikazano zgoraj, je površje apnenčastega krasa običajno kamnito in razgibano ter zato razmeroma neprehodno, tla so tanka ali pa se kopičijo le v dnu kraških kotanj. Nekoliko drugačno je površje dolomitnega krasa, ki je nastalo z vzajemnim delovanjem denudacijskih procesov in fluvioerozijskih geomorfni procesov. Zato je površje dolomitnega krasa običajno bolj blago in manj kamnito (Slika 2.2.4), na njem so lahko vidne sledi površinskega toka vode. Pogoste so podolgovate depresije oziroma dolci - nagnjene podolgovate kraške kotanje, precej podobne vrtačam. Na dolomitnem krasu so tla debelejša in izrazitejša kot na apnenčastem krasu, zato je krajina primernejša za poselitev in obdelovanje.



Slika 2.2.4: Rahlo valovito površje na dolomitu med Gorenjem in Bukovjem pri Postajni (jugozahodna Slovenija) (foto: Bojan Otoničar)

2.2.1.3 Kraški pojavi velikih dimenzij

Polje (Slika 2.2.5) je največja oblika kraške depresije. Ima izravnano kamnito dno, prekrito s tanko plastjo sedimenta in tipičnim kraškim drenažnim sistemom. Polja so lahko dolga in široka več deset kilometrov. Običajno ima podolgovat obod in reko z izviri na eni strani polja in ponori na drugi strani. Večina polj nastane ob regionalnih tektonskih strukturah – prelomih - in se širijo z bočnim raztapljanjem podnožja okoliških pobočij. Nihajoča gladina vode tla polj zaradi korozije izravna. Posledica nihanja vodne gladine so značilni kraški hi-

Slika 2.2.5: Cerkniško kraško polje (presihajoče jezero) z Javorniki in Snežnikom v ozadju (jugozahodna Slovenija) (foto: Bojan Otoničar)



◀ Slika 2.2.3: Osp, udornica na Kraškem robu (jugozahodna Slovenija). Ob visoki vodi izvira potok iz jame pod pečino (foto: Matej Blatnik)

drološki pojavi, kot so izviri, ponori, estavele in periodične poplave. Ko ponori ne zmorejo več odvajati vode, ki jo nosi ponikalnica, nad dno polja pa se dvigne tudi gladina podtalnice, nastanejo presihajoča kraška jezera. Tipični primer na matičnem Krasu je Doberdobsko jezero (Slika 2.2.6). V sušnih obdobjih so polja suha, gladina vode pa je pod nivojem dna polja.

2.2.1.4 Morfološke oblike kontaktnega krasa

Območje, kjer površinske vode pritakajo iz rečnega reliefa v kras, imenujemo kontaktni kras. Zaradi velike količine vode, ki se iz neprepustnih kamnin s površinsko rečno mrežo steka na kraško obrobje, na stiku s prepustnimi kamninami nastajajo grezi, ponori in poplavne ravnice. Najznačilnejše reliefne oblike takega kontaktnega krasa so slepe doline. Zaradi velikih količin vode je raztapljanje apnenca na takšnih mestih hitrejše kot na tistih kraških območjih, kjer karbonatne kamnine raztaplja le deževnica. Zaradi nihanja podzemne vode je njihovo dno uravnano in običajno prekrito z alogenimi sedimenti, ki jih prinašajo reke ponikalnice. Ker ponore tvorijo povprečni vodni

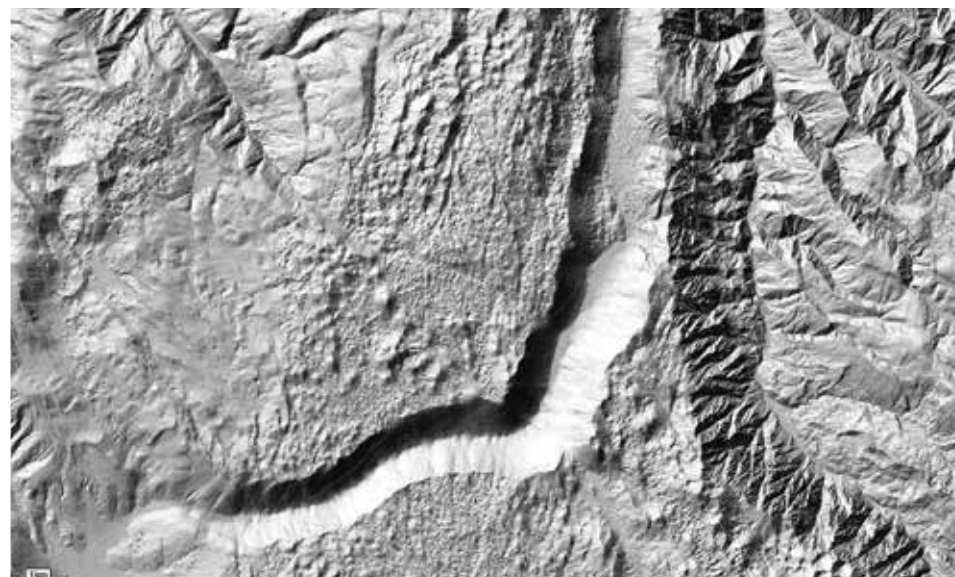
Slika 2.2.6: Doberdobsko jezero med nizkim vodostajem (foto: Philippe Turpaud)



tokovi, le-ti ob močnejših nalivih ne morejo odvajati povečanega dotoka, zato so tu pogoste poplave.

Za »nekraški« element na krasu lahko v določeni meri štejemo suhe doline (Slika 2.2.7). Gre za nekdanje rečne doline, ki so v preteklosti prečkale določeno kraško območje. Stare struge vsaj del leta nimajo aktivnega vodotoka v celotnem toku ali le na določenem odseku, saj se voda izgublja v krasu ali pa teče precej globlje pod površjem. Dna suhih dolin so običajno bolj ali manj zakrasela, tako da so tam pogoste vrtače in drugi površinski kraški pojavi.

Slika 2.2.7: Lidar DMR (Agencija RS za okolje) skoraj 500 m globoko vrezane suhe doline Čepovanski Dol, ki prečka visoko kraško planoto Banjščice (zahodna Slovenija) ►



2.2.1.5 Kraška uravnava

Kraške uravnave (Slika 2.2.8) predstavljajo uravnana površja, nastala z erozijo in predvsem korozijo. Kompleksni procesi, ki ustvarjajo korozijske uravnave na krasu, so bili poimenovani s skupnim terminom „lateralna planacija zaradi raztapljanja“ oziroma „korozijsko uravnavanje“ in vključujejo kombinacijo navpičnega raztapljanja, bočnega spodjedanja pobočij in zadenjske erozije pobočij ob izviri. Večje kraške uravnave lahko sekajo različne geološke strukture.

2.2.1.6 Obalni kras

Obalni kras se razvije tam, kjer se skale, ki ležijo nad morsk gladino, stikajo s tistimi, ki so praviloma pod morsk gladino. V teh okoljskih razmerah so vse kraške značilnosti poudarjene z učinkovanjem morskih aerosolov, mikrobov in valov, kar pospešuje procese raztapljanja in erozije kraških kamnin. Tudi mešanica morske in sladke podzemne vode spodbuja nastanek in razvoj jam in izvirov.



Slika 2.2.8: Pogled s Trstelja na rahlo nagnjeno, a uravnano planoto Krasa, obdano z gričevnatimi območji, brdi (foto: Bojan Otoničar)

2.2.1.7 Fluviokras

Fluviokras je kraška pokrajina, kjer prevladujejo doline, ki jih oblikujejo površinske reke, erozija pa prevladuje nad procesi raztapljanja.

2.2.2 Jame

Najbolj značilen kraški pojav, brez katerega ni »pravega« krasa, so kraške jame. Glede na antropogeno definicijo so jame podzemne votline, ki so dovolj velike, da so dostopne ljudem. Lahko so navpične ali vodoravne in napolnjene z vodo. V jamah so običajno med seboj povezani prehodi različnih velikosti in oblik, kot so galerije, kanali, kanjoni, rovi v obliki ključavnice, razširjene razpoke in meandri. Jamski rovi se lahko razširijo v velike votline in dvorane.

Kraške jame nastanejo kot posledica raztapljanja kamnin ob toku podzemnih voda v različnih okoljih. Geološka zgradba in litološka sestava karbonatnih kamnin odločilno vplivata na nastanek in razvoj jam. V kamnitem masivu voda sledi geološkim nezveznostim (lezike, prelomi, razpoke, pore, ...) in najbolj topnim poroznim plastem. V primeru kraškega vodonosnika voda na svoji poti kemično in mehansko razjeda karbonatno kamnino in tvori kanale oziroma kraške jame.

Značilnosti jamskih rogov, iz katerih lahko sklepamo na njihov izvor, so predvsem posledica hidravličnih razmer, v katerih so nastali. V hidrološkem smislu so jame kanali v kraškem masivu, v katerem se zaradi raztapljanja vzpostavi turbulenten vodni tok. Voda, ki se pretaka pod stalnim pritiskom skozi tanke razpoke, postopoma raztaplja njihove stene. Pretok se tako poveča in razpoka se še razširi, kemično agresivna voda prodira vse globlje. Nadaljevanje tega procesa vodi preko pospešene rasti razpoke do točke preboja, ko se stopnja pretoka v zelo kratkem času poveča za več velikostnih redov. Jamski rovi lahko nastanejo v stalno poplavljeni (freatični) coni – nastajajo pod gladino kraške vode s počasnim tokom pod pritiskom. Tu se primarno oblikuje večina jamskih rogov, nato pa rastejo in se preoblikujejo pod različnimi pogoji, v občasno poplavljenih (epifreatičnih) in nepoplavljenih (vadoznih) hidroloških conah. Čeprav v freatični coni prevladujejo bolj ali manj vodoravno orientirani rovi, lahko v posebnih pogojih nastanejo tudi vertikalni, ki spominjajo na brezna.



a



b



c

Slika 2.2.9: Prvotno freatični jamski rovi so bili pozneje preoblikovani v epifreatični in vadozni hidrološki coni:

- a) Freatični rov ovalne oblike in oblike ključavnice, ki se danes nahaja v občasno poplavljeni epifreatični coni (Amaterska jama, Moravski kras, Češka) (foto: Bojan Otoničar);
- b) velik kanjonski (vadozni) rov Škocjanskih jam z odprtim tokom podzemne Reke je občasno poplavljen do različnih nivojev (Kras) (foto: Matej Blatnik);
- c) Reliktni freatični rov preoblikovan v epifreatični (jamski sedimenti) in vadozni coni (siga) (Postojnska jama; jugozahodna Slovenija) (arhiv IZRK ZRC SAZU).

Jamski rovi se širijo po celotnem obodu, zato so značilni freatični rovi okrogle ali ovalne oblike v preseku (Slika 2.2.9a). V epifreatični coni voda po rovih običajno teče hitreje. V sušnem obdobju voda prekrije le dno rova ali struge, v deževnem obdobju so rovi v celoti poplavljeni. Največji jamski rovi nastanejo v območjih nihanja podtalnice. Ti rovi se razvijejo deloma v freatičnih razmerah, to je simetrično pod pritiskom, in deloma v vadoznih razmerah, to je v toku z odprto gladino. Tipična oblika prehodov je običajno kombinacija ovalne (freatične) oblike in kanjonskega tipa (vadoznega) jamskega rova (Slika 2.2.9a, b).

Ko se gladina podzemne vode zaradi različnih vzrokov zniža, v osnovi freatični rovi preidejo v vadozno cono, kjer voda, razen v višjih freatičnih horizontih, teče po principu prostega pada. Osnovni tipi rovov v vadozni coni so kamin, nekoliko spremenjena oblika brezna, nastajajo pa tudi meandri, ki jih viseči vodni tokovi korodirajo in mehansko erodirajo. V vadozni coni pridobiva pomen mehanska erozija, stene jam pa so močno spremenjene tudi z udornimi procesi. Pesek in prod v kraških rekah lahko mehansko erodirata in bistveno preoblikujeta jamske rove. V epifreatičnih in vadoznih conah so lahko jamski rovi v različni meri zapolnjeni z jamskimi sedimenti in sigami (Slika 2.2.9c). Sedimenti, ki se nalagajo po obodu rovov, ščitijo stene pred korozijo. Če se naplavine odlagajo na tla, se rov na splošno razširi v smeri navzgor, kjer so stene še naprej izpostavljene koroziji. Ta vrsta razvoja rova se strokovno imenuje „parageneza“.

Vadozne jame nastajajo tudi med kraškim površjem in kraško podzemno vodo. Voda v tem območju teče gravitacijsko in odnaša le omejen del stropa jame. Zaradi tega je večina jam v vadozni coni brezen in meandrov.

Ker se na kraških območjih običajno gladina podtalnice (in tudi površje) sčasoma znižuje, freatične jame »potujejo« navzgor skozi hidrološki profil, najprej v območje nihanja vodne gladine (epifreatična cona) in nato višje v nenasičeno ali vadozno cono (Slika 2.2.9c). Tu se seka z vadoznimi brezni, ki nastanejo zaradi pronicanja vode s površja. Postopno zniževanje kraškega površja (denudacija) in gladine podzemne vode izpostavi nekatere kraške rove, prvotno freatičnega izvora, na kraško površje, kjer tvorijo del površinskega kraškega reliefa (Slika

2.2.10). Te tako imenovane denudirane ali brezstropne jame nam lahko povedo veliko o geološki, geomorfološki, hidrogeološki in podnebni zgodovini določenega območja, zlasti če so zapolnjene z jamskimi sedimenti. Podobno pomembni so mehanski sedimenti in sige v fosilnih jamskih rovih nekoč freatičnih in epifreatičnih jam. Tako izraz speleogeneza uporabljamo za opis celotnega življenjskega cikla jam, od njihovega nastanka do njihovega izginotja.

Slika 2.2.10: Stare denudirane freatične jame, ki kažejo na dolgotrajni geotektonski, hidrogeološki in klimatski razvoj določene regije:

- A) popolnoma denudiran del stare freatične jame, zapolnjen z jamskimi sedimenti (Kozina, JZ Slovenija) (arhiv IZRK ZRC SAZU);
- B) delno denudirana fosilna freatična jama, zapolnjena z jamskimi sedimenti (Kozina, JZ Slovenija) (arhiv IZRK ZRC SAZU)



2.3 Hidrogeološke značilnosti krasa

Kraška območja zavzemajo približno 15 % zemeljskega površja brez ledu. Kraški vodonosniki oskrbujejo z vodo približno 20 % svetovnega prebivalstva, 30 % Evropejcev in več kot 50 % Slovencev. Zakaj so ti vodonosniki tako izdatni, a hkrati tako ranljivi?

Karbonatne kamnine so v svojem življenjskem ciklu izpostavljene raztapljanju v podzemni in površinski vodi, začeni v območju mešanja slane in sladke vode v morskem okolju. Kraški sistemi so del hidrološkega cikla. Voda, ki teče prvotno skozi porozne razpokane karbonate, raztaplja kamnino vzdolž por ali sten razpok, pri čemer tvori mreže rogov (jame). Njihov razvoj se sprti prilagaja geološkim in hidrološkim razmeram območja. Lahko rečemo, da se mreže rogov razvijajo tako, da vzpostavijo optimalno prevajanje vode od dotokov oziroma napajanja vodonosnika do izvirov.

V zrelem kraškem vodonosniku je razporeditev rogov posledica dolgotrajnega geološkega razvoja območja, ki vključuje tektonsko dvigovanje in prelamljanje, zniževanje erozijske baze, spremembe hidroloških razmer itd. Razporeditev kanalov v nekem vodonosniku, ki v veliki meri določa tok podzemne vode, je zato izjemno zapletena in nepredvidljiva.

Kraški vodonosniki se lahko napajajo iz različnih virov. Vedno se kraški vodonosnik deloma oskrbuje s porazdeljeno infiltracijo padavin. Pogosto se kraška območja stikajo z nekraškimi rečnimi območji, kjer so površinske vode urejene v fluvialno mrežo. Kjer se tako nekraško območje stika s krasom, poteka razvoj fluvialne in podpovršinske kraške mreže sočasno, pri tem pa en sistem vpliva na drugega in obratno. Končni rezultat teh procesov predstavlja reka, ki ponikne pod zemljo na stiku topnih in netopnih kamnin. V nekaterih primerih lahko vztraja površinski tok tudi na kraškem površju in šele nato ponikne pod zemljo kot skoncentriran vodni tok. Kraški izviri so edinstvena hidrološka posebnost. Kraški vodonosniki so hierarhični, pri čemer voda iz velikega napajalnega območja izvira na zelo omejenem območju ali celo pri enem samem izviru. Le v kraški pokrajini je mogoče, da izvira cela reka s povprečnim pretokom več deset kubičnih metrov na sekundo naenkrat iz enega izvira.

V grobem so vsi vodonosniki razdeljeni na freatično in vadozno cono. Freatična cona je trajno napolnjena s podzemno vodo, vadozna cona je napolnjena z zrakom, vodni tok pa je gravitacijsko usmerjen proti gladini podzemne vode. Velika nihanja v napajanju, zlasti v kraških sistemih z alogenim dotokom, lahko povzročijo zelo velika nihanja gladine podzemne vode, ki se lahko v skrajnih primerih dvigne tudi do 200 metrov v manj kot enem dnevu.

Zaradi velikih podzemnih kanalov na kraških območjih pogosto ni površinskih voda. Nenasičena cona v kraških vodonosnikih je lahko debela več kot dva kilometra. Vrtanje nekaj sto metrov od površja do gladine podtalnice je prej pravilo kot izjema.

Voda, ki teče po kraškem vodonosniku, lahko sledi sistemu velikih rogov in kanalov od dotoka do izvira. Lahko teče tudi zelo počasi vzdolž sistemov drobnih razpok, nato pa vstopi v hierarhično večje strukture in rove. Pravzaprav je večina vode v kateremkoli vodonosniku shranjena v sistemih razpok, medtem ko se vodonosnik odvaja skozi večje rove. Čas, potreben, da enota vode prepotuje od vstopne točke do izvira v istem vodonosniku, lahko traja od nekaj ur do nekaj tisočletij - zato je kraške vodonosnike težko varovati. Onesnaženje lahko preide skozi vodonosnik v nekaj urah, v njem pa lahko ostane tudi desetletja.

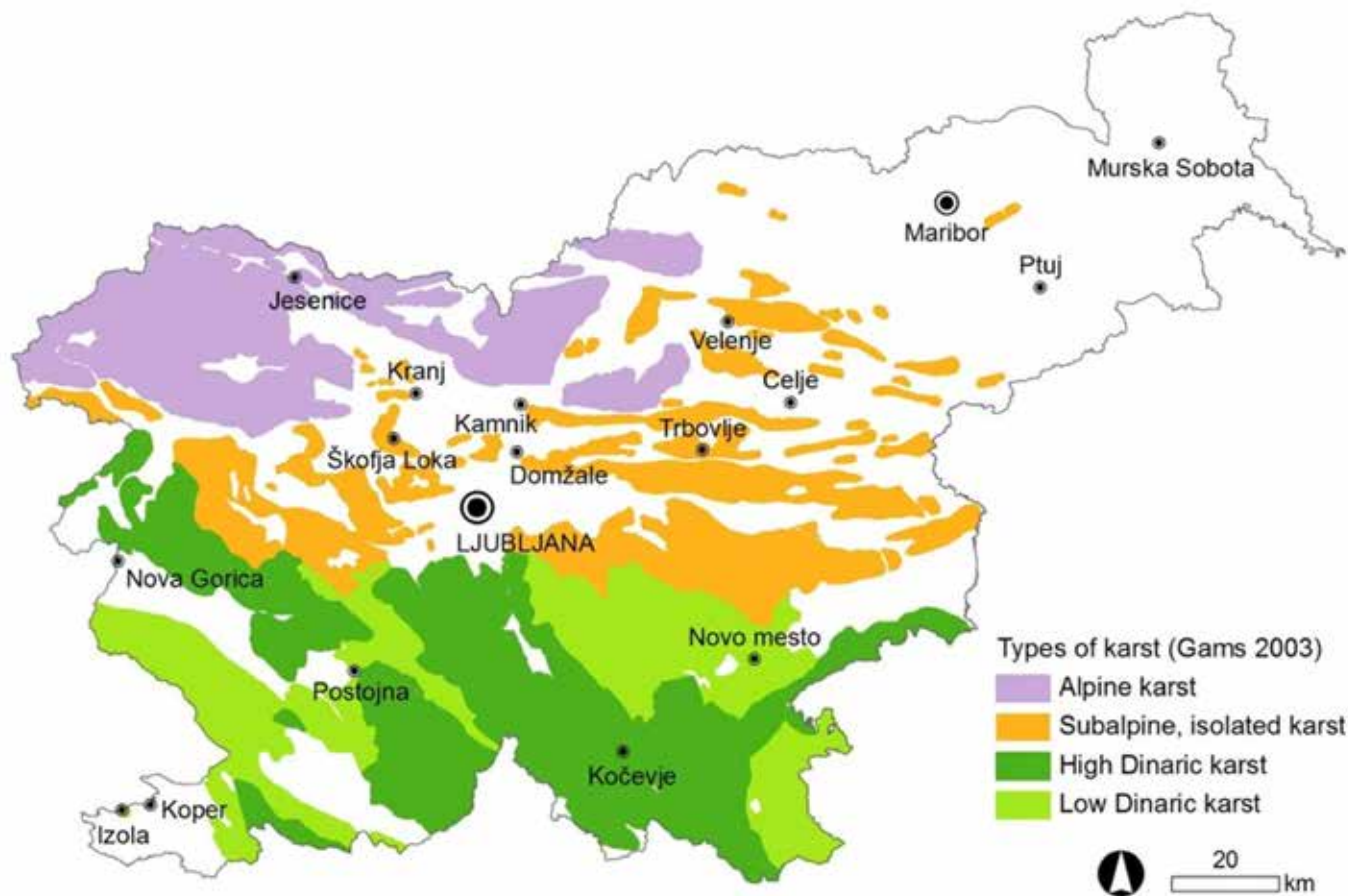
2.4. Vrste krasa

Različni tipi krasa in jam se razvijajo v različnih geoloških, klimatskih in hidroloških razmerah. Za nastanek krasa morajo biti izpolnjeni trije osnovni pogoji: topna kamnina, voda in razvoj podzemne dretnaže. Razpoložljivost vode je najpomembnejši podnebni dejavnik za razvoj krasa. Kraška pokrajina zavzema približno 20 % kopnega površja Zemlje. Za oblikovanje take pokrajine so potrebne topne kamnine, kot so karbonati (npr. apnenec, dolomit) in evaporiti (sadra, sol). Jame in raztopine lahko nastanejo tudi v drugih kamninah, kot so kremenovi peščenjaki ali graniti, vendar ne z enakimi procesi kot kraški pojavi »običajnega« in tudi Krasa. Jame nastajajo tudi v ledenikih in lavi, vendar z drugačnimi procesi od tistih, ki tvorijo zgoraj omenjene značilnosti in pokrajine.

Karbonatne kamnine pokrivajo 15 % zemeljskega površja, pri čemer je pomemben podatek, da so globalne stopnje raztapljanja apnenca določene s količino vode in CO₂ v danem okolju. Tako so splošne stopnje raztapljanja apnenca določene s količinami vode in CO₂ iz rastlinja, ki je na voljo v okolju. To je razlog, da so po svetu kraške pokrajine zelo raznovrstne. Kakšen bo njihov nastanek in izgled je odvisno od geoloških danosti in podnebja (padavine, temperatura, vrsta vegetacije in količina biogenega CO₂ v tleh), to pa je običajno povezano z njihovim geografskim položajem, vključno z zemljepisno širino, dolžino in nadmorsko višino. Kras se pojavlja na območjih, kjer je vode dovolj, saj suša in hud mraz ovirata njegov razvoj. Ti dve podnebni danosti povzročata pomanjkanje vode v tekočem stanju, kar omejuje raztapljanje, zato lahko drugi geomorfološki procesi prevladujejo v morfološkem razvoju območja. Nasprotno pa so v trajno ali sezonsko vlažnem tropskem podnebju procesi raztapljanja veliko hitrejši in izrazitejši.

2.4.1 Glavni tipi krasa v Sloveniji

Kras predstavlja skoraj polovico površine Slovenije. Po Habiču (1969) lahko kras v Sloveniji glede na geološke, hidrološke, morfološke in krajinske danosti razdelimo na tri večje enote (Slika 2.4.1): 1) alpski kras - visokogorski in gorski kras Julijskih Alp, Kamniško-Savinjskih Alp in Karavank; 2) dinarski kras - visoki in nizki primorski, notranjski in dolenski kras; in 3) predalpski, osrednje slovenski in predpanonski osamljeni kras (Idrija, Cerkljansko in Tolminsko, Rovte, Polhograjski Dolomiti, Posavske gube, Gorjanci in



Slika 2.4.1: Zemljevid različnih tipov krasa Slovenije (iz Gams, 2003)

nekatera območja v severovzhodni Sloveniji), ki se delijo na manjše regije glede na morfološke in hidrološke značilnosti.

Za alpski oziroma visokogorski kras (Slika 2.4.2) so značilni izraziti vertikalni gradienti in mešanica fluvialnih, ledeniških in kraških elementov v pokrajini, zaradi česar so rečne doline globoko zarezane v gore in planote. V Sloveniji je alpski kras razvit v karbonatnih kamninah devonskega do krednega obdobja, vendar prevladujeta

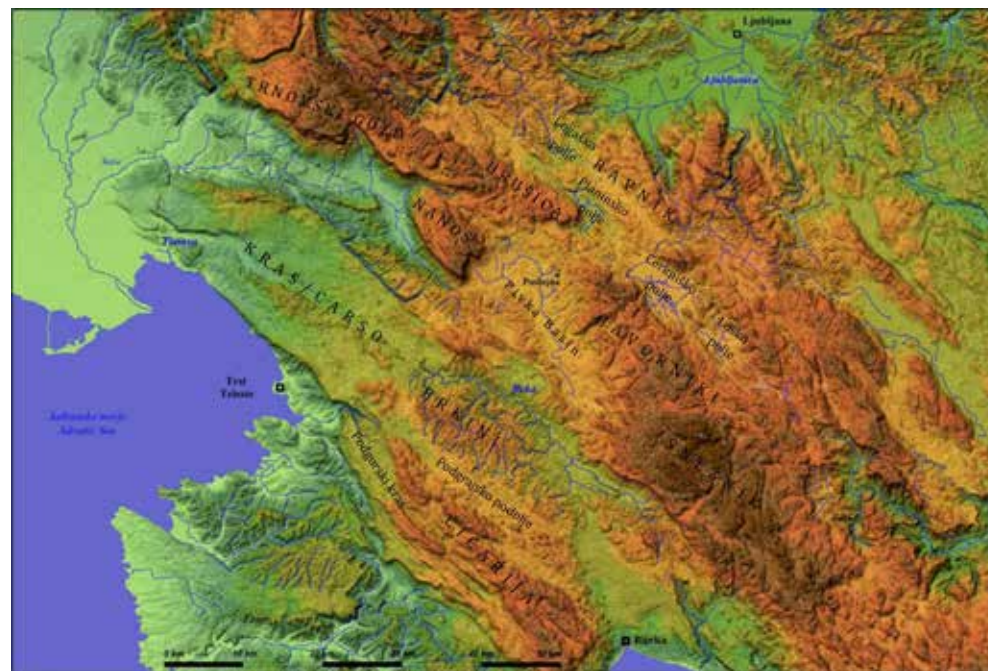
triasni apnenec in dolomit. V slovenskem alpskem krasu se pojavljajo bolj ali manj vsi značilni visokogorski kraški pojavi, kot so lašti, žlebiči, manjše kotanje z navpičnimi stenami (kotlički) in velike vrtače (konte). Značilni so globoka brezna in prevladujoči vertikalni jamski sistemi. Najgloblje jame v Sloveniji so na Kaninu in sosednji planoti Rombonski podi (npr. jama Čehi 2 je globoka več kot 1.500 m).

Dinarski kras (Slika 2.4.3) se nahaja v južnem delu Slovenije in se deli na nizki in visoki dinarski kras (Slika 2.4.4). Kraški pojavi so se izoblikovali v permskih do paleogenskih karbonatih, med katerimi prevladujejo kredni apnenci in v manjši meri dolomiti. Glavne tektonske strukture na tem območju predstavljajo dinarski (severozahod - jugovzhod) in prečnodinarski (severovzhod - jugozahod) prelomi, razpoke v smeri jug - sever in severovzhod - jugozahod ter proti jugozahodu narinjeni tektonski pokrovi (narivi). Med reliefnimi značilnostmi prevladujejo obsežne uravnave na različnih nadmorskih

višinah, velike zaprte depresije (npr. polja) in kopasti griči. Na površju se pojavljajo kraške reke le na dnu polj. Alogene reke, ki pritekajo iz nekarbonatnih območij, bodisi ponikajo na kraški meji in tvorijo slepe doline, bodisi prečkajo kras v obliki globokih kraških rečnih dolin in kanjonov. Obstajajo številni obsežni in kompleksni jamski sistemi, ki so jih oblikovale reke ponikalnice, in so s površjem povezani tudi preko številnih vadoznih brezen. Ti sistemi predstavljajo tako aktivne kot reliktnne drenažne poti. Zelo znane so Škocjanske jame, ki so na Unescovem seznamu svetovne dediščine, in znamenita turistična Postojnska jama, katerih nastanek je povezan z relativno velikima rekama ponikalnicama. V jamah so se kot posledica specifičnega razvoja krasa odložile različne naplavine (npr. alogeni sedimenti, sige). Za morfologijo površinskega krasa so značilne številne vrtače različnih velikosti, ponekod so dokaj pogoste udornice, pojavljajo se tudi različni vhodi v jame ter brezstropne jame.



Slika 2.4.2: Visokogorski kras kaninskih podov (severozahodna Slovenija) (foto: Bojan Otoničar)



Slika 2.4.3: DMR jugozahodne Slovenije (z deli Hrvaške in Italije) s prikazom različnih kraških območij dinarskega krasa vključno s planoto Kras (Arhiv IZRK ZRC SAZU)



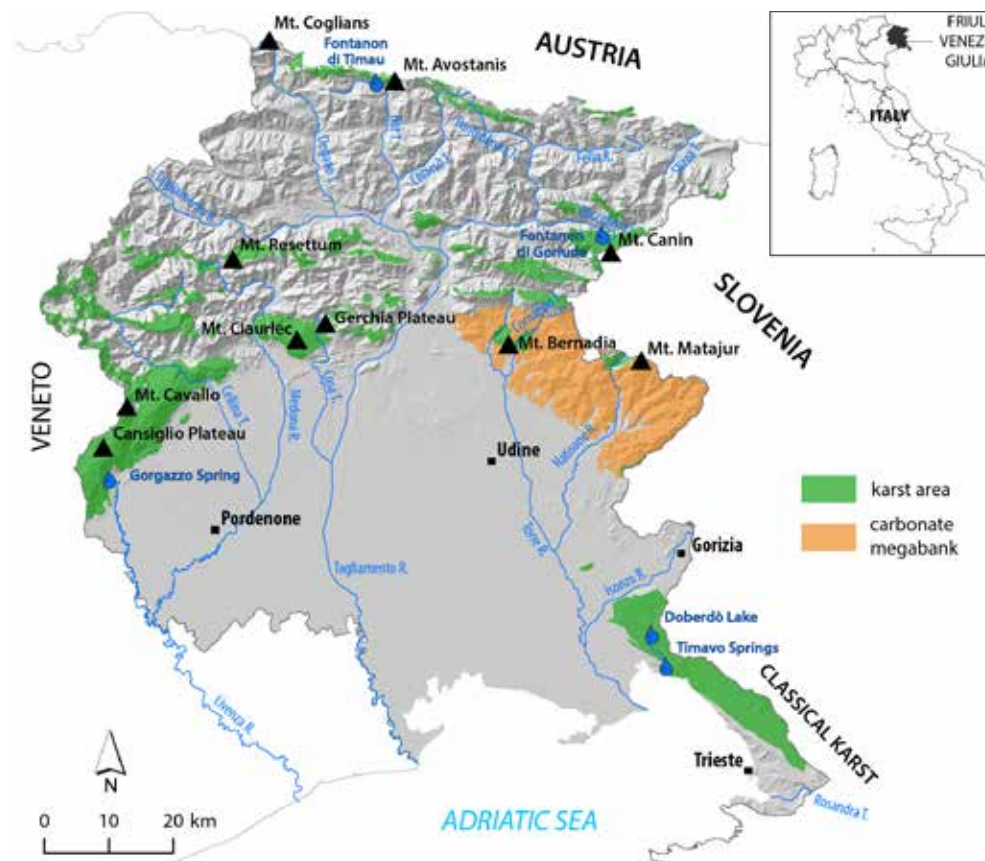
Slika 2.4.4: Vipavska dolina ločuje Krasi od Trnovskega gozda in Nanosa, visokih kraških planot dinarskega krasa (zgornja in desna stran fotografije) (foto: Bojan Otoničar)

V nasprotju z velikimi ekstenzivno zakraselimi območji Alp in Dinaridov zavzemata vmesni in izolirani kras precej manjša območja. Ta so obdana z nekarbonatnimi kamninami, ki so se v glavnem razvile pod vplivom alogenega dotoka. Horizontalne jame običajno tvorijo reke ponikalnice, ki so na splošno zelo obremenjene s klastičnimi sedimenti. Ponori in izviri so pogosti. Kraško hidrologijo in kraško značilnosti določa predvsem lega posameznega kraškega območja, manj pomemben je splošni razvoj obsežnejšega reliefa. Vmesni kras, razvit v apnencih in dolomitih od paleozoika do neogena, se nahaja v osrednjem delu Slovenije v pasu usmerjenem od zahoda proti vzhodu med Alpami in Dinaridi. Glavne tektonske strukture v tem delu so tako alpske (usmerjene vzhod - zahod), kot dinarske (usmerjene severozahod - jugovzhod). Izolirani kras se pojavlja v manjših zaplatah karbonatnih kamnin, predvsem miocenske starosti, v osrednjem in vzhodnem delu Slovenije, to je na območju Panonskega bazena.

2.4.2 Glavni tipi krasa v Furlaniji - Julijski krajini

Izdanki karbonatnih kamnin se pojavljajo v 7.850 km² veliki Furlaniji - Julijski krajini na približno 1.900 km² in posredno učinkujejo na približno 5.000 km² veliko gorsko in hribovito območje. V Furlaniji je bilo odkritih in popisanih skoraj 7.500 jam, od tega dobrih 3.000 na italijanski strani Krasa.

S pomočjo geoloških, morfoloških in hidrogeoloških kriterijev je bilo v zadnjem času identificiranih in opredeljenih približno šestdeset kraških območij, ki jih sestavljajo apnenec, dolomitni apnenec, apnenčasti dolomit, apnenčaste breče in konglomerati.



Slika 2.4.5: Kraška območja v Furlaniji - Julijski krajini (iz Cucchi in Finocchiaro, 2017)

Na približno 50 od teh območij izdajajo apnenčaste ali dolo-
mitne kamnine, v katerih se zakrasevanje izraža tako v površinskih
kot podzemnih kraških oblikah (vrtače, vhodi v jame, jamski spleti,
kraški izviri, apnenčasti lašti in majhne korozijske značilnosti, polja,
slepe doline itd.). Med njimi jih je približno deset posebno pomemb-
nih, nekatere so čezmejne in si jih delita Italija in Avstrija ali Slovenija.

Z morfološkega vidika in s tem tudi s stališča zakrasevanja lahko
prepoznamo tri tipe kraških območij, in sicer alpski kras, predalpski
kras in kraško planoto.

Alpski kras je razvit v ozkih pasovih Karnijskih Alp, ki se raztezajo
vzdolž avstrijske meje. Zanje je zna-
čilna visoka prevotljenost in moč-
na zakraselost kraškega površja.
Tu se nahajajo izolirani, a pogosto
z vodo bogati vodonosniki. Kot po-
nos dežele bi lahko opredelili kras
razvit v triasno-krednih zaporedjih
Kanina. Tu je mogoče prepoznati
vse površinske kraške značilnosti
visokogorja, ki so pogosto tipične,
spremljajo jih impresivni podzem-
ni jamski sistemi, kot sta npr. Col
delle Erbe - več kot 23 km dolg
jamski sistem, z več desetimi glo-
bokimi brezni, ki segajo do globine
935 m - in Foran del Mus z več kot
13 km dolžine.

V predalpskem svetu Pordenonskih Karnijskih Alp in Julijskih Alp
so številna območja z gozdom poraslega predalpskega krasa z zani-
mivimi jamami ter razširjenim in razgibanim površinskim krasom,
vključno z območji okoli Pradisa ter gorami Resettum, Ciaurlec, Bern-
nadija (Bernadia) in Mužci (Musi), za katere so značilni visoka pogo-
stnost jam, vrtač in močno zakraselih izdankov ter bogati vodonos-
niki. Nenavaden je kras, ki se je razvil v debelih apnenčastih plasteh,
ki se pojavljajo v sicer siliciklastičnem paleocenskem in eocenskem
flišu vzhodne Furlanije. V njem so obsežni sistemi aktivnih jam, ki jih
razkrivajo izviri, sicer pa je na površju malo dokazov o krasu.



Slika 2.4.6: Alpski kras na Pobiču (Mt. Poviz)
(foto: Giacomo Casagrande)



Slika 2.4.7: Apnenčasti lašti in škrapljišča v visokogorju gore Ciastelat (prokrajina Pordenone) (foto: Barbara Grillo)

Na območju Furlanije-Julijske krajine sta dokumentirani dve kraški planoti. Ena je blizu morja in jo predstavlja matični Kras, druga je prostrana planota Cansiglio - Cavallo, ki dominira nad Furlansko nižino, njene geološke in geomorfološke meje presegajo meje dežele. Posebnost predstavljajo polje Piancavallo in prostrani zakraseli izdanki krednega apnenca. Med splošno razširjenimi kraškimi pojavi so najznačilnejše vrtače, ki obrobajo planoto na vzhodnem obrobju. Vrtače, ki so tu na gosto »posejane«, so simetrične, globoke, pobočja pa pogosto označujejo čudovita škrapljišča in apnenčasti lašti. Slednji so značilni tudi za severni del planote (gora Ciastelat). Med jamami so glavna brezna, med njimi naj omenimo Bus de la Lum in Bus de la Genziana, ter izviri Gorgazzo, Santissima in Molinetto, ki opredeljujejo izvirsko območje reke Livenza.

Slika 2.4.8: Izvir Gorgazzo ob vznožju kraškega območja Cansiglio - Cavallo (foto: Franco Cucchi)





GEOLOGIJA IN GEOMORFOLOGIJA MATIČNEGA KRASA

3.1 Območje geoparka Kras-Carso

Kras je apnenčasta planota, ki se razteza v smeri severozahod - jugovzhod in meji na reko Sočo (Isonzo) na severu, Jadransko morje na zahodu, Brkinsko hribovje in spodnji del doline reke Reke na jugu ter Vipavsko dolino na vzhodu.

Obsega 936 km², 213 km² je na italijanskem in 723 km² na slovenskem ozemlju. Blago se spušča proti severozahodu od 674 metrov visokega hriba Kokoš (Cocusso) do izvirov Timave na morski gladini.

Planoto sestavljajo predvsem apnenčaste in dolomitne kamnine, slednje se pojavljajo v manjši meri in predvsem v gričastih delih.

Območje zajema 17 občin, ponekod celih, drugod le delov, kot na primer središči mest Trst in Monfalcone - Tržič; na italijanski strani je vključenih dvanajst občin, na slovenski pa pet. Italijanske občine vključujejo goriški kras (Sovodnje ob Soči - Savogna d'Isonzo, Zagaj - Sagrado, Fogliano Redipuglia, San Pier d'Isonzo, Ronke - Ronchi dei Legionari, Doberdob - Doberdò del Lago, Tržič - Monfalcone) in tržaški kras (Devin - Nabrežina - Duino - Aurisina, Zgonik - Sgonico, Repentabor - Monrupino, Trst - Trieste in Dolina - San Dorlingo della Valle). Na slovenskem delu Krasa je pet občin: Sežana, Miren-Kostanjevica, Hrpelje-Kozina, Divača in Komen.

Geopark prečkajo pomembne infrastrukturne povezave na relacijah zahod - vzhod in jug - sever Evrope, kar po eni strani omogoča dobre povezave z drugimi evropskimi regijami, po drugi strani pa povečuje njegovo okoljsko ranljivost.

Za kraško pokrajino je značilnih nekaj posebnih pojavov, ki kažejo popolno tipologijo tega, kar proučuje krasoslovje, in jih lahko povzamemo v naslednjih točkah:

1. **Podzemni vodni tokovi, kraški izviri in kraška jezera**, ki jih spremlja skromna površina s površinsko hidrografsko mrežo in redkost erozijsko oblikovanih dolinskih sistemov.
2. **Nepravilne, valovite planote** z zaobljenimi, kupolastimi reliefnimi oblikami in obsežnimi uravnavami z brazdastimi površinami.
3. **Zaprte krožno oblikovane kotanje** (vrtače).
4. **Obsežni goli skalnati izdanki**: škrapljišča, ki jih sestavljajo različni morfotipi raztapljanja, imenovani tudi *mikro* kraške oblike (žlebiči, škavnice, škraplje), zato da bi jih ločili od *makro* oblik (vrtača, uvala, polje).
5. **Jame, brezna, rovi, pečine, spodmoli**.

Za pokrajino Krasa je značilen tudi vpliv tektonike z dinarsko usmerjenimi strukturami. V Italiji ta struktura ustvarja široko antiklinalo z osjo v smeri severozahod - jugovzhod, vendar asimetrično, to je z navpičnim jugozahodnim krilom in precej bolj položnim severovzhodnim krilom - in prav tu se je razvila kraška planota.

Zaradi bližine morja in zaradi vpliva sredozemskega podnebja je Krasa neprekinjeno naseljen že od paleolitika. Zaradi tankega pokrova rodovitne zemlje, golih kamnitih površin in dolgotrajne poletne

suše je bila raba tal tradicionalno usmerjena v pašništvo in hlevsko rejo živine. Le na najbogatejših zemljiščih se je razvilo kmetijstvo, ki je v zadnjih letih zaznamovalo odličnost vina in oljčnega olja. Mesto Trst, ki leži v bližini ozemlja Krasa, je pomembno z vidika storitev, turizma in zaposlovanja prebivalcev geoparka. Geoturizem ima na tem območju dolgo tradicijo, povezano zlasti s prisotnostjo jam, pri čemer kot znamenitosti izstopajo Škocjanske jame in Briška jama (Grotta Gigante).

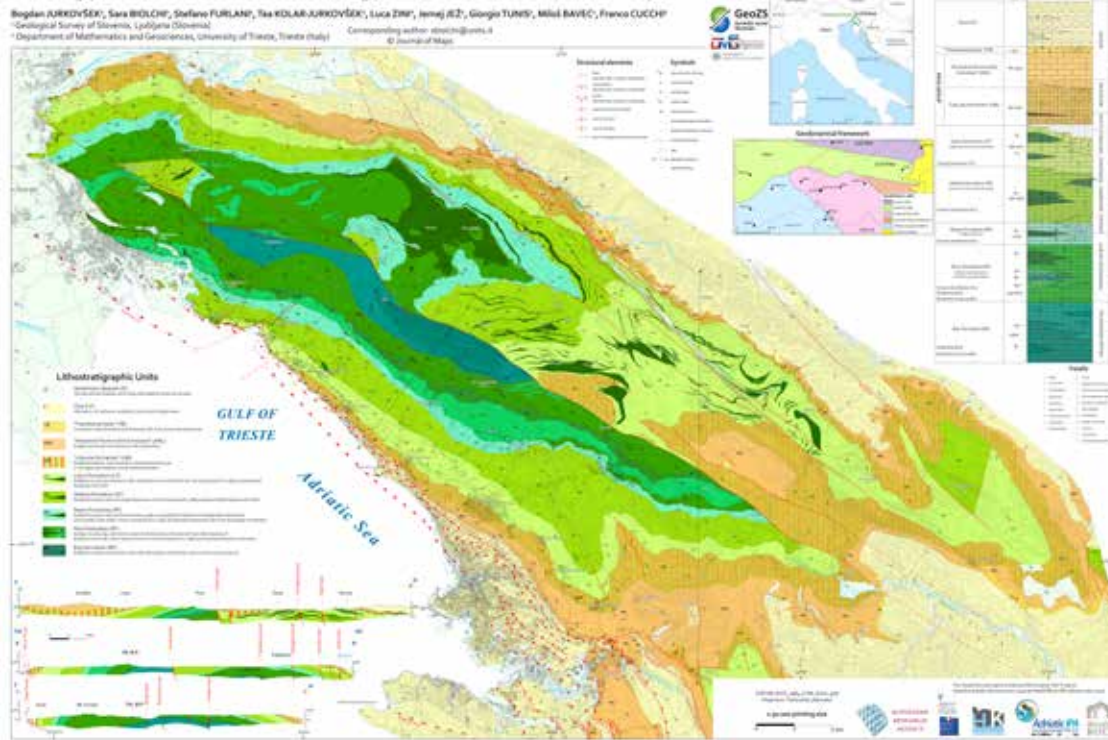


Slika 3.1.2: Območje geoparka Krasi-Carso z mejami občin (ZaVita d.o.o.)



Slika 3.1.3: Območje geoparka Krasi-Carso s prometnimi povezavami in vodotoki (ZaVita d.o.o.)

Geology of the Classical Karst Region (SW Slovenia - NE Italy)



Slika 3.2.2. Geološka karta Krasa, izdelana v okviru projektov INTERREG Italija - Slovenija: HydroKarst in RoofOfRock (Jurkovšek et al., 2016)

Po prvi svetovni vojni so Kras podrobno preučevali predvsem italijanski geologi: C. D'Ambrosi od 1925 do 1955, A. Comel od 1927 do 1940 in F. Kossmat od 1935 do 1938. Objavili so številne liste geoloških kart in njihovih tolmačev za „Carta geologica delle Tre Venezie“ (Geološka karta treh Benetk) v merilu 1:100.000.

Po drugi svetovni vojni so se nadaljevale raziskave številnih italijanskih in slovenskih geologov, vendar ločeno, z razvojem nove tradicionalne lokalne geološke kartografije v merilu 1 : 25.000 in 1 : 100,000. Najpomembnejši geologi v tem obdobju so bili za Italijo B. Martinis od 1949 do 1975, za Jugoslavijo pa M. Pleničar od 1961 do 1973 in S. Buser od 1968 do 1982. V tem obdobju je zlasti L. Placer začel na sodoben način proučevati kompleksne geostrukturne značilnosti Krasa in okolice, od leta 1969 do danes pa je napisal številna dela o postkredni alpsko-dinarski geodinamiki. Zadnje obdobje podrobnejših geoloških raziskav v Sloveniji, ki jih je v devetdesetih letih prejšnjega stoletja začel B. Jurkovšek, je privedlo do izdelave geoloških kart južnega in severnega dela tržaško-komenske planote (Jurkovšek et al., 1996; Jurkovšek, 2008, 2010).

Od leta 1999 je Geološka služba Avtonomne dežele Furlanije-Julijske krajine v sodelovanju z Univerzo v Trstu preko projektov Tehnično-geološka karta (CGT) in Formacijsko-geološka karta (GEO-CGT) izdelala nove digitalizirane geološke karte v merilu 1:5.000 in 1:10.000 nekaterih območij Dežele, vključno z listi »Trieste«, »Caresana«, »Gorizia« in »Grado«, ki vključujejo matični Kras. Z združitvijo le teh je leta 2013 izšla geološka karta italijanskega dela matičnega Krasa v merilu 1:50.000 (Cucchi & Piano, 2013).

V začetku 21. stoletja se je tudi zaradi skupnih evropskih INTERREG projektov sodelovanje med italijanskimi in slovenskimi geologi močno okrepilo. Z združitvijo omenjenih sodobnejših italijanskih in slovenskih geoloških kart in zahvaljuč se čezmejnemu sodelovanju je leta 2016 izšla geološka karta v merilu 1:50.000 celotnega čezmejnega območja matičnega Krasa (Slika 3.2.2).

3.2.2 Speleološke in hidrogeološke raziskave

Kar zadeva geomorfologijo in speleologijo, lahko za prvega raziskovalca štejemo Posidonija iz Apameje (135 - 50 pr. n. št.), a žal vemo le, da omenja ponor Reke, ki pod površjem teče do Timave. Šele tisočletje pozneje se je Ferrante Imperato začel ukvarjati z izviri Timave, da bi ugotovil ali je Reka, ki ponikne v Škocjanskih jamah, tista, ki se ponovno pojavi v teh izviri. To je skušal dokazati s plovci in svoja opažanja objavil leta 1599. A. Kircher je svojo razlago »hidrofilacije« kot teorije o podzemnih rezervoarjih, povezanih z morjem, ponazoril s primerom iz Retijskih Alp. Slika zajema dejansko območje Slovenije, označeni pa so tudi izviri Timave, ki izvirajo izpod »Timavus Mons«. V zvezku *Mundus Subterraneus* (1665) je Kirchner na karti označil »usta«, iz katerih je pritekla Timava in jih je opeval že Vergil, ter pripomnil, da so že dolgo domnevali, da vode pritekajo iz Škocjana.

Za rojstvo znanstvene speleologije na območju klasičnega krasa je zaslužen J. V. Valvasor, ki je leta 1687 opisal hidrogeologijo Cerkniškega jezera in okoliških krajev, v svojem najbolj znanem delu *Slava vojvodine Kranjske* opisuje tudi najbolj znane jame Kranjskega krasa, kot je Postojnska. Čeprav se Valvasor (1689) za Kras ni tako poglobljeno zanimal kot za kraške pojave Notranjske in Dolenjske, so njegove objave vzbudile veliko zanimanje za kraške pojave na splošno.

Leta 1748 je dvorni matematik J. A. Nagel po cesarjevem naročilu prišel na Kranjsko, da bi videl in poročal, kaj je res v poročilih o »nenavadnih in čudežnih pojavih«. V svojem poročilu s Krasa je opisal jamo Vilenico, ki je bila takrat že dobrih 100 let »turistična jama«. Njegov opis spremlja več lepih ilustracij. Ne smemo pozabiti, da to ozemlje ni le zibelka znanstvene speleologije, ampak tudi speleološkega turizma. Prva podpisna knjiga obiskovalcev Škocjanskih jam sega v leto 1819, obstaja pa listina iz leta 1633, ki pravi, da je grof Petač, lastnik zemljišča, na katerem se je odprla jama Vilenica pri Lokvah, odstopil občini del izkupička od obiska jame, ki se torej lahko dokumentirano pohvali kot prva turistična jama na svetu.

Razvoj speleologije na območju Krasa je v veliki meri povezan z gospodarskim življenjem Trsta. Ko je Karl VI. leta 1719 Trstu podelil status svobodnega pristanišča, sta se pomorski promet in pomembnost mesta občutno povečala: ocenjujejo, da je leta 1780

čez Trst potekala četrtnina vse trgovine cesarstva. V enem stoletju je mesto doživelo velike spremembe, pristanišče so povečali in zgradili nove soseske, posledično se je povečala tudi potreba po vodi. *Teresianischer Aquädukt* (akvadukt Marije Terezije), ki je bil zgrajen že sredi 18. stoletja, je dovajal vodo s flišnih pobočij, naslonjenih na Kras, in napajal fontane na glavnih trgih. Vendar pa pretoki nikoli niso bili tako visoki, da bi dokončno rešili probleme oskrbe z vodo v mestu in pristanišču, kar je spodbudilo speleološke raziskave podzemlja Reke in Timave.

V začetku 19. stoletja so prevladovala raziskovanja navdušenih in znanja željnih posameznikov. Dober primer je Eggenhöfer, ki je leta 1816 preplaval Reko od ponora preko Mariničeve in Mahorčičeve jame do Male Doline. Kmalu zatem so se začela organizirana raziskovanja.

Vključenost občine Trst in zanimanje nekaterih uglednih mestnih osebnosti za to temo so dokumentirani že od začetka 19. stoletja. Leta 1828 je bila imenovana komisija za vodo, ki je ocenila vodne vire od Nabrežine (Aurisina) do Škocjana, nekoliko kasneje, leta 1838, pa je A. F. Lindner začel sistematično raziskovati dihalnike (*»buchi soffianti«*), kjer so ob poplavih Timave narasle vode izrivale zrak naraščajočega podzemnega vodonosnika. Namen teh raziskav je bil določiti vmesno točko, kjer bi dosegli podzemni tok Reke in Timave. Tako je bila odkrita Labadnica pri Orleku, takoj za mejo v Italiji (Abisso di Trebiciano). Raziskovanje je bilo za tiste čase izjemen podvig, saj je trajalo pet mesecev, številne ozke prehode so razširili tudi z uporabo razstreliva. 5. aprila 1841 sta se L. Kral iz Trebč (Trebiciano) in A. Arič, idrijski rudar, spustila v veliko jamo, po dnu katere je na 326 m globine tekla Reka oziroma Timava. Tako se je odprl prvi prehod k njenemu podzemnem toku. Novica je obkrožila Evropo, jama je do začetka dvajsetega stoletja veljala za najglobljo na svetu.

Med enim od prvih spustov so bili zbrani primerki *Pterostichus fasciatopunctatus*, hrošča, značilnega za zunanji tok Reke, kar je dokazovalo povezavo zunanjega in podzemnega toka Reke in Timave ter enega najzgodnejših primerov uporabe biološkega sledila.

Toda odkritje ni rešilo težav Trsta z vodo, saj je bila nadmorska višina (12 m), kjer so dosegli nivo Reke oziroma Timave prenizka. Fi-

nancirali so izgradnjo fiksnih lestev, proučene so bile značilnosti nihanja vode, da bi ocenili, do kakšnega nivoja lahko reka naraste. V naslednjih letih je gradnja Südbahna (Južne železnice) še dodatno zaostri problem oskrbe z vodo. Projekt vodovodne napeljave iz jam Krasa je bil opuščen, začeli pa so z izkoriščanjem izvira pri Nabrežini (Aurisina).

Na pobudo graditeljev Južne železnice je A. Schmidl v petdesetih letih 19. stoletja začel raziskovati jame na Krasu, da bi ugotovil, kakšne so možnosti za razvoj jamskega turizma.

V osemdesetih letih 19. stoletja so bile ustanovljene številne speleološke skupine različnih tržaških planinskih društev, ki so začele z iskanjem in raziskovanjem jam na Krasu. R. Timeus je v zgodnjem 20. stoletju s serijo poskusov s kemičnimi sledili, z barvili in tudi z radioaktivnim označevanjem vode dokazal vodno povezavo med Škocjanskimi jamami, Labodnico (Abisso di Trebiciano) ter izviri pri Štivanu (San Giovanni). S tem je znanstveno potrdil številne hipoteze in poskuse, pogosto empirične, ki so si od tistih, s katerimi je začel farmacevt Ferrante Imperato ob koncu 16. stoletja, sledili tri stoletja.

Leta 1888 so odkrili Kačno Jamo in leta 1889 so jamarji pod vodstvom A. Hankeja (SK DÖAV) dosegli dno, kjer se pojavijo visoke vode Reke. V letih 1894 do 1895 je petim domačim delavcem uspelo v 315 dneh zgraditi lesene stopnice in lestve do dna 186 m globokega navpičnega vhodnega brezna, kar je omogočilo vstop v jamo brez dodatne opreme. Ta konstrukcija je bila edinstvena na svetu in je verjetno največji tehnični dosežek raziskovanja jam na Krasu.

Leta 1890 so speleologi prišli do končnega sifona Škocjanskih jam, s čemer je bila jama skoraj v celoti raziskana, z izjemo Tihe jame, ki je bila odkrita šele leta 1904. Hkrati z raziskavami so jamo pripravljali tudi za turistično - planinske obiske.

Med prvo svetovno vojno je fronta dosegla tudi Kras. Raziskovanja niso prenehala, temveč so se preusmerila v vojaške namene. Posebna skupina pod vodstvom speleologa A. Bocka je pripravila načrte za preureditev jam v zavetišča, skladišča, bolnišnice itd. Nekateri projekti so bili tudi uresničeni in v nekaterih jamah je bilo dovolj prostora za 2.000 mož!

Konec 1. svetovne vojne je za mesto Trst in tudi za raziskovalce Krasa pomenil veliko spremembo: v naslednjih letih sta vse večji pomen dobivala L. Bertarelli in E. Boegana, ki sta leta 1926 izdala publikacijo *2.000 Grotte* (2.000 jam), sintezo takratnega speleološkega znanja in predvsem prvi poskus popolnega seznama jam Krasa. Leta 1929 je imela velik pomen za raziskovanje ustanovitev državnega zavoda *Istituto Italiano di Speleologia* (Italijanski speleološki inštitut) v Postojni. Inštitut je izdajal osrednjo italijansko speleološko revijo *Grotte d'Italia* (Jame Italije). V naslednjih letih je Boegan poglobil in sintetiziral svoje znanje o podzemnem toku Reke in Timave ter leta 1938 izdal knjigo *Il Timavo*, ki je desetletja ostala ena najboljših »študij o površinski in podzemni kraški hidrologiji«, kot je navedeno v podnaslovu.

Po drugi svetovni vojni se je tako ona slovenski kot italijanski strani Krasa povečalo raziskovanje z namenom širjenja speleološkega znanja in odkrivanja jam, ki so segale v podzemni tok Reka oziroma Timave.

3.3 GEOLOŠKA ZGODOVINA OBMOČJA GEOPARKA

Paleogeografija

Matični Kras dolguje svojo identiteto pretežno beli do svetlosivi kamnini, imenovani apnenec, ki predstavlja njegovo hrbtenico. Ta apnenec je nastajal v starodavnih morjih skozi obdobje skoraj 100 milijonov let. Kalcijev karbonat, ki sestavlja apnenec v obliki mineralov kalcita in aragonita, je topen v sladki vodi in ko so te kamnine izpostavljene nad morsko gladino, voda deluje kot fino dleto, ki kleše apnenec v značilne oblike. Te oblike so po raznolikosti in lepoti na Krasu tako izjemno dobro zastopane, da jih imenujemo kar kraške, sam geomorfološki pojav je po tem območju dobil ime kras.

Čeprav se nepazljivemu obiskovalcu zdijo apnenci na kraški planoti skoraj enaki, lahko pozorno oko opazi razlike v debelini plasti, barvnih odtenkih in svojevrstnih fosilih. Toda izurjen geolog lahko s pomočjo ročne lupe prebere odlomke debele knjige dolge geološke zgodovine v vsakem koščku teh kamnin. Narava plasti in stiki med njimi, predvsem pa notranja struktura kamnine in drobni fosili, imenovani mikrofosili, so strani in črke te geološke kronike. Posredujejo fascinantne informacije o globini, temperaturi, slanosti in prezračenosti starodavnih morij, v katerih so ti apnenci nastali. Pripovedujejo o tem, kako sta izgledala življenje in okolje v geološki preteklosti in kako sta se skozi čas spreminjala. Predpono paleo- uporabljamo za označevanje prazgodovinskih pojavov z besedami, kot so paleotemperatura, paleookolje, paleogeografija ali paleokras. Poglavlja kronike geoparka so res postavljena daleč pred zgodovino človeštva v geološki obdobji krede in paleogena, med mezozoik in kenozoik. Zajemajo časovno obdobje skoraj 100 milijonov let od začetka krede, pred približno 140 milijoni let (mio let), do sredine eocena, pred približno 45 mio let.

Danes poslušamo veliko razprav o podnebni spremembi, učinku tople grede, dvigu morske gladine, emisijah CO₂ in potencialnih učinkih teh pojavov na družbo, človeštvo in zemeljske ekosisteme. V tej perspektivi je zgodba, ki jo pripovedujejo kamnine Krasa, še posebej zanimiva. Obdobje zgodnje krede je bilo eno

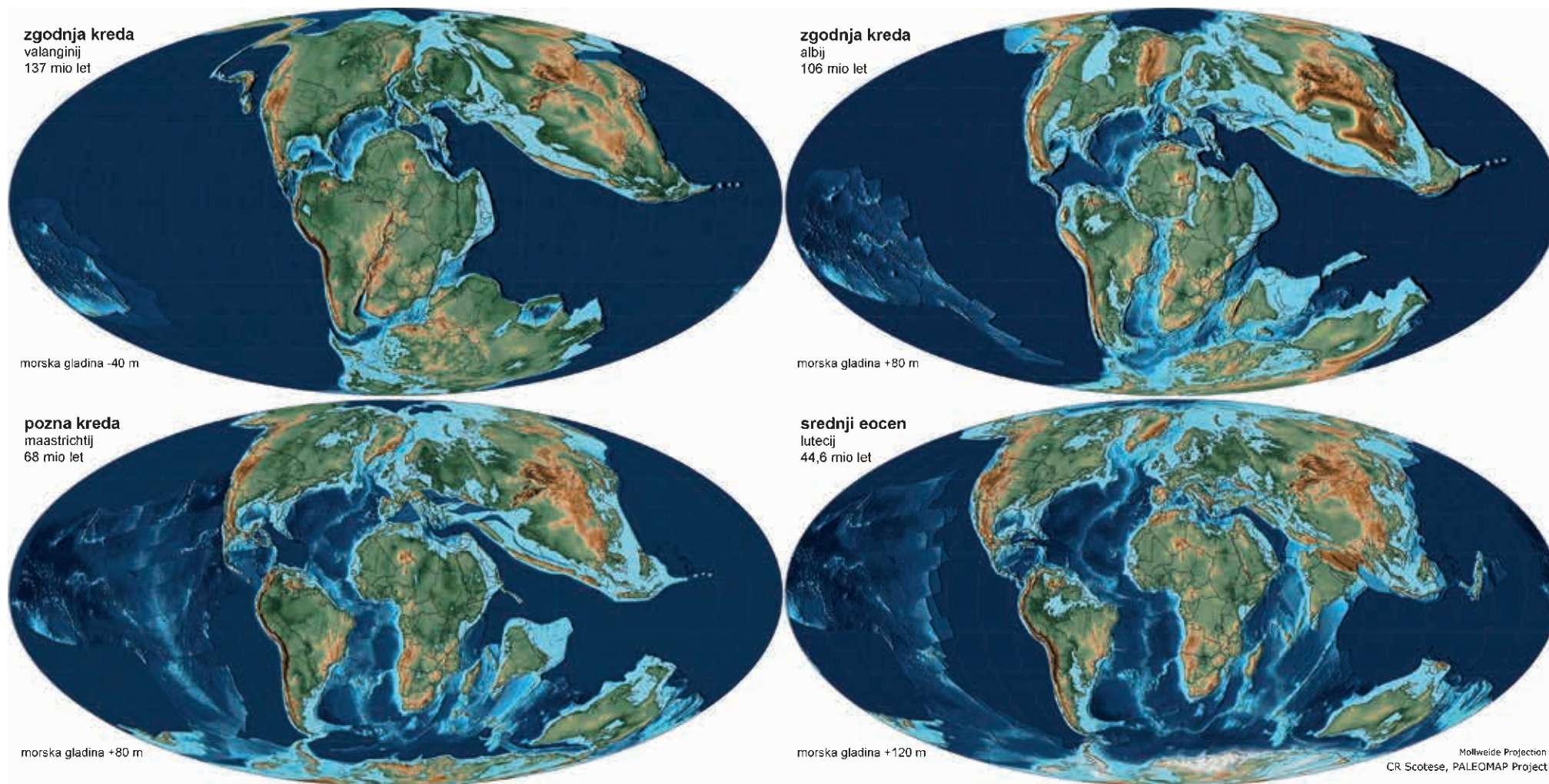
najtoplejših obdobj v Zemljini zgodovini. Takrat je bila povprečna letna temperatura na severni polobli v poletnih mesecih približno 18,4 °C, več kot 4 °C višja od današnje. Pri tako visokih temperaturah ni bilo ledenih pokrovov na polih in gladina morja je bila veliko višja od današnje. Do konca krede je temperatura padla na približno 16,2 °C, do srednjega eocena pa na 13,9 °C. Temperaturnim nihanjem so sledila močna nihanja morske gladine, ki se je večkrat dvignila za več kot 120 m in znižala za več kot 40 m glede na današnjo gladino. Mejo med kredo in paleogenom, ki predstavlja tudi mejo med mezozoikom in kenozoikom, je zaznamovalo veliko izumrtje, povezano s trkom velikega asteroida na območje, ki ga zdaj zavzema polotok Jukatan v Mehikiškem zalivu. Ta dogodek je drastično spremenil življenje na Zemlji in z njenega obličja izbrisal 73 % živih vrst, vključno z dinosavri, amoniti in številnimi drugimi organizmi, ki so milijone let vladali na celinah in v oceanih.

V kredi je bilo ne le okolje, v katerem so nastajale kamnine, ki gradijo Kras, ampak ves svet videti precej drugače kot ga poznamo danes. Šele na začetku pozne krede se je med Afriko in Južno Ameriko odprl južni Atlantski ocean, Indija pa se je dokončno ločila od Madagaskarja in začela svojo pot, ki jo je sčasoma pripeljala do trka z Azijo. Severna Amerika je bila še vedno povezana z Evropo, Avstralija pa z Antarktiko. Proti koncu krede so se prej velike in razčlenjene kopenske mase starega velekontinenta Gondvana premaknile do Evrazije, kar je povzročilo nastanek ogromne Alpsko-Himalajske gorske verige (Slika 3.3.1).

V kredi so zaradi toplega podnebja in visoke gladine morja velike dele celin, ki so danes kopna, prekrivala obsežna plitva, epikontinentalna morja (kar pomeni »na celinah«). To je omogočilo bujen razcvet morskega življenja, vključno s tistimi oblikami življenja, ki so pozneje v kenozoiku uspešno osvojila Zemljo. Med njimi so korale, mehkužci, iglokožci, raki in ribe. Zemljina pola sta bila brez ledu, morska voda pa je počasneje krožila in je bila manj oksigenirana (prezračena). To je od časa do časa vodilo do kopičenja črnih, z organskimi snovmi bogatih sedimentov na morskem dnu.

Območje Krasa sestavljajo sedimentne kamnine nekdanje Jadransko-dinarske karbonatne platforme (Slika 3.3.2). Karbonatna platforma se razvije, ko je nakopičenje apnenca v morju tolikšno, da se na morskem dnu zgradi relief. Najvišji del te tvorbe

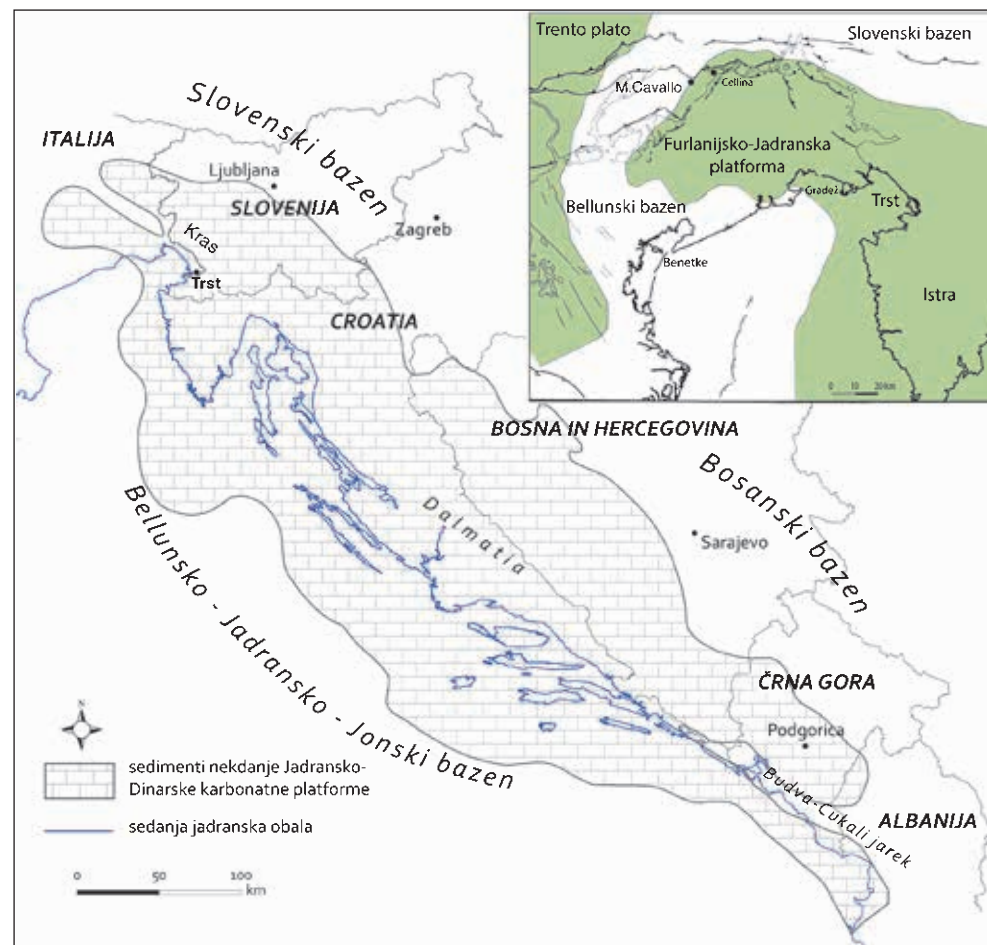
je pogosto blizu morske gladine in raven (zaradi česar se imenuje „platforma“), tako da nastane območje z relativno plitvo vodo, podobno laguni. Na zunanjih robovih platforme različno strma pobočja povezujejo njen vrh z okoliškim globokim oceanskim



Slika 3.3.1: Spreminjajoči se svet od zgodnje krede do srednjega eocena, v času nastajanja kamnin, ki gradijo Krasi (po Scotese, 2014)

dnom na način, ki spominja na nagnjen pas grušča ob vznožju gore. V nekaterih primerih so lahko te platforme zelo velike. Sodobna primera sta na primer Bahami v Mehiškem zalivu ali Veliki koralni greben v Avstraliji. Jadransko-dinarska karbonatna platforma je bila res velika, kar dokazujejo njene kamnine, ki se pojavljajo od severovzhodne Italije, po celotni dolžini Dinaridov, vse do Črne gore. Platforma se je razvila, ko je razpad velekontinenta, imenovanega Pangea, z odprtjem oceana Tetida povzročil nastanek dveh ločenih celinskih mas, Lavrazije in Gondvane. Sprva je bila Tetida samo zaliv, kasneje je postal široka morska pot, ki se je raztezala približno v smeri vzhod - zahod na zemljepisnih širinah tropov. Eden od sestavnih delov Gondvane je bila Afriška litosferska plošča. Jadransko-dinarska karbonatna platforma je nastala na Jadranski mikroplošči, ki je bila sprva del Afriške plošče in se je v mezozoiku od nje ločila kot samostojna plošča. V kredi se je Jadranska mikroplošča nahajala približno 2.000 kilometrov južneje, znotraj (sub)tropskega podnebnega pasu. Na teh zemljepisnih širinah so bili idealni pogoji za nastanek apnenca. Platforma je obstajala milijone let, od jure do zgodnjega eocena, dokler tektonski premiki, povezani s trkom med litosferskimi ploščami, niso povzročili dviga Alpske verige in potopitve platforme v globino oceana. O tem dogodku pričajo flišni peščenjaki, ki izhajajo iz erozije dvigajočih se gora in so se odložili, ko je območje, kjer je bila nekoč platforma, na začetku kenozoika (pred 66 mio let) zasedlo globoko morje.

Debelo karbonatno kamninsko zaporedje Krasa je nastalo v notranjem delu Jadransko-dinarske karbonatne platforme na območju, ki spominja na današnjo bahamsko laguno. Italijanski del tega območja se imenuje tudi Furlanska platforma in ustreza severozahodnemu delu Jadransko-dinarske karbonatne platforme, ki je bila v času krede omejena z dvema krakoma globokega morja: Slovenskim bazenom na severovzhodu in Bellunskim bazenom na zahodu (Slika 3.3.2). Okolje na tej platformi se skozi obdobje krede več milijonov let ni veliko spremenilo. Izrazitejša diferenciacija se je začela v mlajšem delu pozne krede, ko so na platformo začele delovati tektonske sile, povezane z alpsko orogenezo.



Slika 3.3.2: Današnji zemljevid z območjem, na katerem se pojavljajo kamnine Jadransko-dinarske karbonatne platforme (prirejeno po Dragičević & Velić, 2002) in detajl severnega dela s Furlansko-jadransko platformo (prirejeno po Consorti et al., 2021)

Slika 3.3.3: Geološki stolpec, ki prikazuje geološke enote geoparka (Br - breča, K - Komenski apnenec, T - Tomajski apnenec) (po Jurkovšek et al., 2016 in Consorti et al. 2021)

starost	kamnine	lito-stratigrafske enote	litološki stolpec	okolje nastanka	debelina [m]	
PALEOGEN	menjavanje laporovcev in peščenjakov (fliš)	Fliš	okopnitve 	oceanski bazen	> 400	
		Prehodne plasti		pro-deleta		
	foraminiferni apnenci	Miliolidni in Alveolinsko-numulitni apnenec		odprta platforma	80-450	
		apnenci		Liburnijska formacija	morsko do sladkovodno	30-450
	KREDA	rudistni apnenci	Lipiška formacija	Nabrežinski apnenec 	kras	500-1000
			Sežanska formacija		odprta platforma	
Repenska formacija			medplimska platforma			
apnenci, dolomiti in breče		Povirska formacija	Člen Repen Člen Zolla dolomitizacija	platforma med. zuna-plimska linja	350-1100	
		Brška formacija	Apnenec Monte Coste Člen Repen	nadplimsko - kras		
SPODNJA KREDA	apnenci, dolomiti in breče	Brška formacija	laguna	350-1100		

Kamnine in fosili geoparka

Zaradi dolgotrajne stabilnosti okolja sedimentacije se je po vsej Jadransko-dinarski karbonatni platformi naložila debela skladovnica karbonatnih sedimentov. Značilnosti teh usedlin geologom nedvoumno povedo, da so bile odložene v toplem, plitvem morju. V teh vodah so uspevali mikroskopsko majhni organizmi, kot so foraminifere, kokolitoforidi in diatomeje. Na karbonatni platformi je bilo na tisoče oblik koral, iglokožcev, ramenonožcev, rakov in drugih živalskih skupin. Poleg njih se je razvila svojevrstna skupina školjk, imenovanih rudisti. Te nenavadno oblikovane školjke so se prvič pojavile na začetku krede, se razmahnile v pozni kredi in skupaj s številnimi drugimi rastlinami in živalmi ob koncu krede izumrle. Kamnine Krasa vsebujejo tudi zapise o večkratnih kratkotrajnih in dolgotrajnih okopnitvah, obdobjih, ko se je vrh platforme dvignil nad morsko gladino.

Zaporedje kamnin Krasa z debelino skoraj 1.500 metrov je razdeljeno na več geoloških enot, ki združujejo genetsko sorodne kamnine. Eden od načinov predstavitve takšnih enot, ki jih geologi imenujejo *formacije* - včasih nadalje razdeljene na manjše dele, imenovane členi, ali združene v večje, imenovane *grupe* - je litostratigrafski stolpec (Slika 3.3.3). Pri tej vrsti upodobitve so formacije nanizane od najstarejše na dnu do najmlajše na vrhu. Litostratigrafski stolpec Krasa odseva glavne faze razvoja okolja na tem območju v skoraj 100 milijonov let dolgem obdobju. Prostorska razporeditev formacij je prikazana na geološki karti. Za nekatere od teh enot slovenski in italijanski geologi uporabljajo različna imena, nekateri deli zaporedja so tudi drugače razčlenjeni. V tej knjigi je bila sprejeta poenostavljena shema, v kateri so kamnine Krasa razdeljene na njihove najbolj prepoznavne enote. Naslednji opis jih predstavlja v stratigrafskem vrstnem redu, to je od najstarejših do najmlajših.

♦ Spodnje- do zgornjekredni apnenci, dolomiti in breča

To so najstarejše karbonatne kamnine Krasa, ki so se odlagale v času zgodnje krede, pred približno 140 do 90 milijoni let, večinoma v mirnem okolju plitve lagune, ki je spominjala na današnje tropške otoke. Večina teh kamnin je apnenec, pojavlja se tudi dolomit. Medtem ko je apnenec pretežno sestavljen iz minerala kalcita, je dolomit kamnina, v veliki meri sestavljena iz minerala dolomita, ki je tesno povezan s kalcitom (oba sta karbonatna minerala), vendar ima nekoliko drugačno kemično sestavo in drugačno strukturo. Med najstarejšimi kamninami Krasa pogosto najdemo temnosiv dolomit.

Okolje se v obdobju krede na območju Krasa ni dramatično spreminjalo, vendar je ob nihanju morske gladine zaradi plitve vode zlahka okopnelo. Pri tem je pomembno upoštevati, da se gladina morja lahko spreminja v različnih časovnih obdobjih in iz različnih razlogov. Vsi poznamo plimo in oseko, nihanje morske gladine, ki se pojavlja vsak dan in je posledica gravitacijske privlačnosti lune. Obstajajo pa tudi pojavi, ki lahko povzročajo te spremembe v daljših časovnih obdobjih. Taki so na primer nastanek ali taljenje ledenih pokrovov na polih ali navpični premiki Zemljine skorje navzgor ali navzdol, na primer tisti, ki povzročajo rast gorske verige. Karbonatne platforme so še posebej podvržene tem spremembam, ker je velik del njihovega površja tako plitev, da lahko že zmerno nihanje morske gladine povzroči okopnitev ali potopitev velikih območij. V časih nizke morske gladine so obsežni deli platforme okopneli in izpostavili apnenec raztapljanju in oblikovanju kraških oblik, ki so povsem podobne tistim, ki nastajajo danes. Pojavi, ki nakazujejo kraško preperevanje v geološki preteklosti, kot so kraške votline, zapolnjene s sedimenti in sigo, se imenujejo paleokras - izurjeno oko jih prepozna v kamninah Krasa. Obstajajo dokazi, da je to območje karbonatne platforme v času krede večkrat okopnelo, do izrazito dolgotrajne kopne faze pa je prišlo pred okoli 110 mio let. Ta faza sovpada z globalnim znižanjem morske gladine (geologi ga imenujejo „evstatični padec morske gladine“). O njej priča plast breče (sedimentna kamnina, sestavljena iz sprijetih oglatih kosov starejših kamnin), ki se v ozkem pasu razteza čez Kras. Ta breča je verjetno nastala, ker so bile kamnine platforme, ko so bile izpostavljene na kopnem, razdro-



Slika 3.3.4: Breča, ki priča o daljših obdobjih okopnitev karbonatne platforme (zahodno od Povirja) (foto: Bogdan Jurkovšek)

bljene in erodirane v votline, nastale zaradi potekajočega kraškega raztapljanja (Slika 3.3.4).

Po tem obdobju kopne faze se je gladina morja ponovno dvignila in na območju Krasa spet vzpostavila morską okolja. Apnenci, nastali v tem obdobju, vsebujejo številne fosile, kot so foraminifere, vrsta enoceličnih organizmov, in alge dazikladaceje. Najdemo lahko tudi med nevihtami odložene lupine rudistov, ki so ponekod nakopičene v plasteh, vendar jih je malo.

Ponekod se znotraj tega karbonatnega zaporedja pojavljajo rjavkasto obarvana nepravilna telesa kalcitnih mineralizacij v sicer dolomitni matični kamnini. To je kalcitiziran dolomit, imenovan tudi dedolomit.

♦ **Zgornjekredni rudistni apnenci s plastmi ploščastih apnencev, bogatih s fosili**

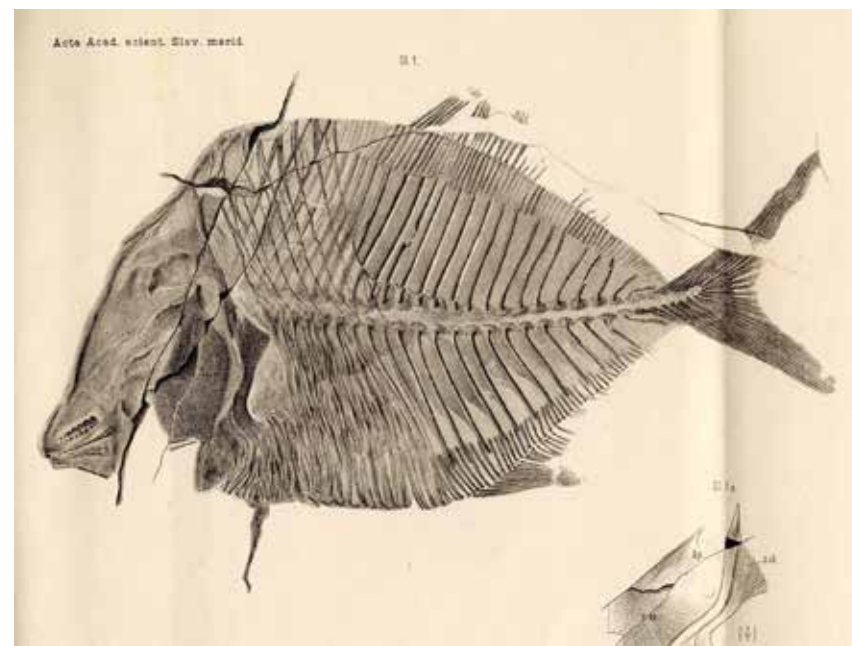
Tudi v pozni kredi je apnenec nastajal v plitvem morju na Jadransko-dinarski karbonatni platformi. Kroženje vode v plitvi laguni na območju današnjega Krasa ni bilo enakomerno razporejeno. V predelih, kjer je bilo kroženje vode počasnejše, so bile koncentracije kisika nižje. Poleg tega, čeprav je bilo morskó dno dokaj ravno, je bilo v nekaterih predelih morje globlje. To je vodilo do nastanka nekaterih najbolj zanimivih in paleontološko pomembnih kamnin v geoparku, ploščastih apnencev. Temno sivi, tankoplastnati, laminirani apnenci vsebujejo tanke plasti ali leče roženca - trde, goste kamnine, sestavljene iz mikrokristalnega kremená - in imajo lahko ob lomljenju močan vonj po bitumnu (Slika 3.3.5). To je zato, ker vsebujejo visoko koncentracijo organskih snovi, ki se je lažje ohranila v vodah z nizko vsebnostjo kisika. Slednja lastnost omogoča tudi hitro fosilizacijo in odlično ohranitev tudi najfinejših struktur organizmov. Takšni apnenci se pojavljajo kot posamični debeli paketi znotraj različnih debeloplastnatih plitvomorskih apnencev, ki pripadajo različnim formacijam zgornje krede, stárim med 95 in 80 mio let. Eden od njih, imenovan Komenski apnenec po vasi Komen (znan tudi kot Komenski skrilavec - in v starejši literaturi slavnega hrvaškega paleontologa Gorjanovič-Krambergerja iz leta 1895 celo ribji skrilavec), vsebuje ostanke rib, različnih plazilcev in rastlin v izjemni ohranjenosti (Slika 3.3.6).



Slika 3.3.5: Zgornjekredni ploščasti in laminirani Komenski apnenec z rožencem pri vasi Skopo (foto: Stanko Buser)



Slika 3.3.6: Fosil ribe iz Komenskega ploščastega apnenca pri Komnu (foto: Bogdan Jurkovšek) in risba holotipa (prvega opisanega primerka) fosilne ribe *Coelodus vetteri* iz monografije Gorjanovič-Krambergerja o fosilnih ribah, ki je izšla leta 1895.

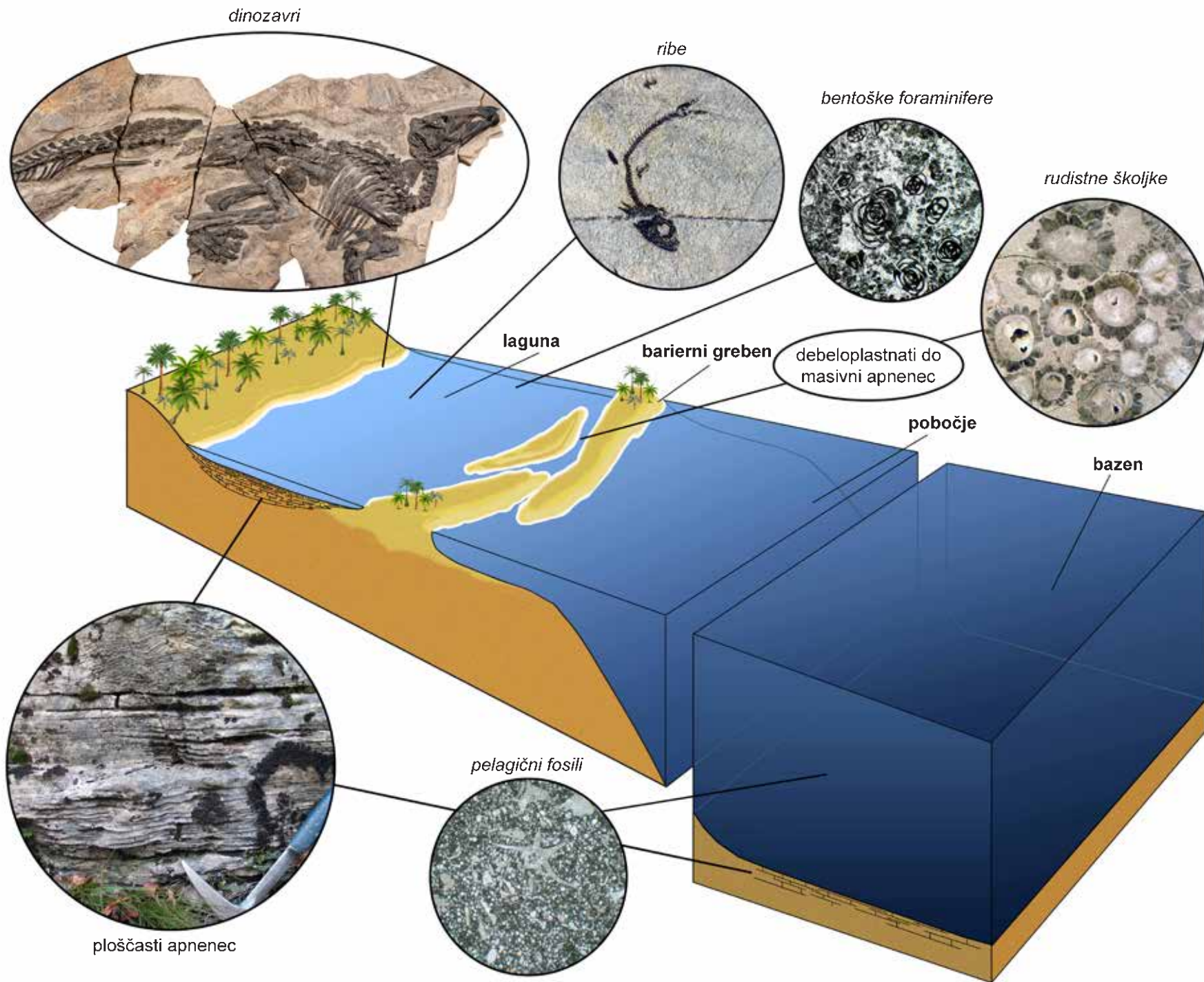


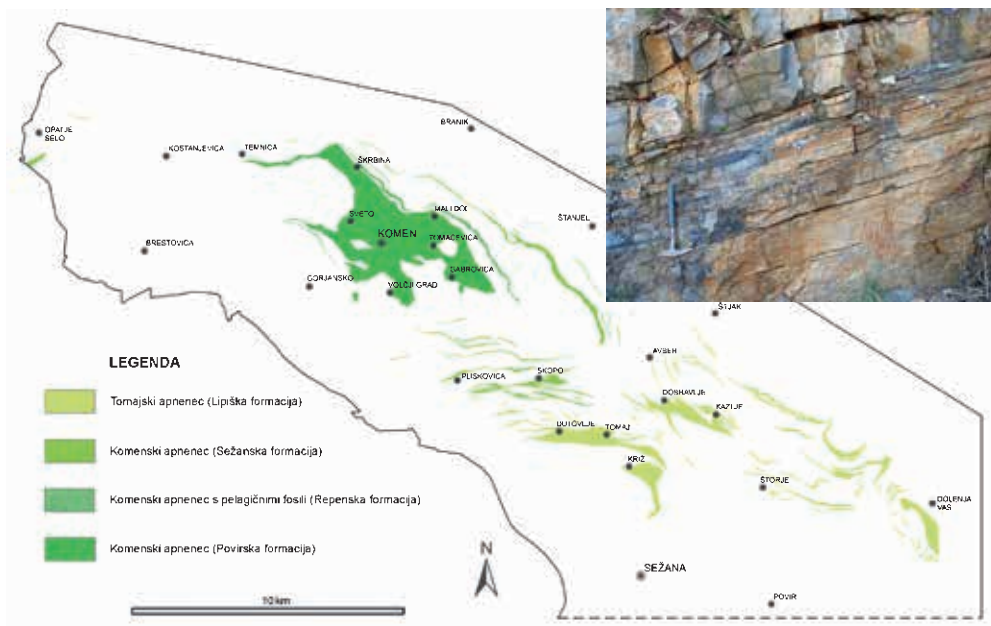


Slika 3.3.7: Rekonstrukcija poznokrednega plitvomorskega okolja z značilnimi prebivalci, najdenimi kot fosili na Krasu (slika: Barbara Jurkovšek)

Drugi, nekoliko mlajši ploščasti in laminirani apnenec s tankimi lečami ali plastmi roženca je Tomajski apnenec. Pogosto vsebuje številne in dobro ohranjene fosile rib, amonitov, planktonskih krinoidov in drugih prebivalcev odprtega morja (Slika 3.3.7). Prisotnost fosilnih rastlin s prevladujočimi iglavci kaže na neposredno bližino kopnega južno od lagune (Slika 3.3.8; glej 4. poglavje).

Slika 3.3.8: ▶
 Okolje nastajanja ploščatega ter debeloplastnatega in masivnega (neplastnatega) apnenca na plitvomorski karbonatni platformi, na robu platforme (bariernem grebenu) in v obdajajočem globokomorskem bazenu (model: Vlatko Brčić; foto: Bogdan Jurkovšek in Marino Ierman, Museo Civico di Storia Naturale di Trieste)





Slika 3.3.9: Zgornjekrednji ploščasti apneneci različne starosti na območju slovenskega dela Krasa (prirejeno po Jurkovšek et al., 2013). Desno zgoraj: Laminirani Komenski apnenec z lečami roženca v Škrbini (foto: Bogdan Jurkovšek)



Slika 3.3.10: Rudistni apnenec v cestnem useku pri Divači (foto: Bogdan Jurkovšek)

Komenski in Tomajski apnenec najdemo predvsem v osrednjem in severnem delu Krasa (Slika 3.3.9). Nedvomno sodita med najstarejše gradbene materiale na Krasu. Tudi še v poznem 19. in zgodnjem 20. stoletju so domačini nabirali plošče teh kamnin za tlakovanje in kritino. Ko so te kamnine izpostavljene atmosferskim dejavnikom, pri preperevanju nastane debela plast rdečkasto rjave prsti, imenovane *terra rossa* (jerovica). Na takih tleh zelo dobro uspeva trta.

Poleg črnih ploščastih apnenecv večji del zgornjekrednjih plasti Krasa gradi siv in svetlosiv plastnat apnenec. Ena najbolj značilnih lastnosti te kamnine je številčnost rudistov. V tem obdobju so se rudistne školjke, popolnoma prilagojene na to, da so živele pritrjene na različne podlage, razvile v neverjetno število vrst različnih oblik, ki geologom pomagajo določiti relativno starost kamnin. Najbolj tipične spominjajo na kravji rog. Lupini sta popolnoma različni, pri čemer je velika stožčasta lupina običajno tista, ki je pritrjena na morsko

dno, majhna zgornja lupina v obliki kapice pa služi kot pokrov. Med pozno kredo so se rudisti bohotili v plitvem morju na karbonatni platformi in tvorili obsežne kolonije. Njihove lupine predstavljajo pomemben sestavni del krednih karbonatnih kamnin in so eden od geoloških pečatov Krasa. V nekaterih primerih so se razrasli v tako velikem številu, da se zdi, da so kamnine skoraj v celoti sestavljene iz njihovih lupin (Sliki 3.3.10 in 3.3.11).

Obsežna nahajališča rudistnega apnenca na območju Krasa najdemo na primer pri Lipici, Kazljah, Vrhovljah, Povirju, Gorjanskem, Nabrežini in Briščikih. Te kamnine še vedno pridobivajo v številnih kamnolomih kot dragocen arhitektonski kamen.

V apnencu so rudistne školjke lahko bolj ali manj številne, razdrobljene na različno velike kose ali ohranjene cele. Glede na to ter glede na barvo kamnin in njihov videz, ko so narezane in spolirane, so primerne za različne vrste uporabe. To je prineslo veliko lokalnih imen,



Slika 3.3.11: Polirana plošča Lipiškega apnenca s presekom rudistnega grozda (foto: Bogdan Jurkovšek)

ki jih lastniki kamnolomov uporabljajo za identifikacijo kamnin, ki jih pridobivajo in prodajajo. Nekateri primeri so Lipica (Slika 3.3.11), Repen, Kopriva in Granitello (glej poglavje 5.1).

Apnenec, ki pripada tej enoti, zaradi svoje strukture in homogene teksture predstavlja komercialno najbolj dragoceno kamnino na območju Krasa. Kamnolom *Cava Romana* pri Nabrežini (Aurisina) v Italiji sega v 1. stoletje pr. n. št. Največji kamnolom Lipiškega apnenca (ki je enak italijanskemu apnencu Aurisina) je danes Lipica 1 v Sloveniji, kjer pridobivajo velike bloke masivnega rudistnega apnenca (glej 4. poglavje).

Drugi značilni fosili, ki jih je mogoče najti v zgornjekrednih apnenicah, so školjke vrste *Chondrodonta ioannae*. Videti so kot listi z veliko rebri in so lahko dolgi nekaj centimetrov (Slika 3.3.12). Pri Sežani in v okolici Svetišča na Tabru v Repentabru (Monrupino) najdemo bogata nakopičenja hondrodontnih lupin.



Slika 3.3.12: Zgornjekredni apnenec s fosilom hondrodontne školjke, najden severno od Sežane (foto: Bogdan Jurkovšek)



Slika 3.3.13: Paleokraška površina, propoznavna po majhni vdolbini v avtocestnem useku pri Kozini. Viden je barvni kontrast med svetlosivim plitvomorskim apnencem in temnosivim apnencem, nastalim v močvirskem kopenskem okolju (foto: Bojan Otoničar)

✦ Zgornjekredno-paleocenski apnenec, priča velikih sprememb na kredno-paleogenski meji

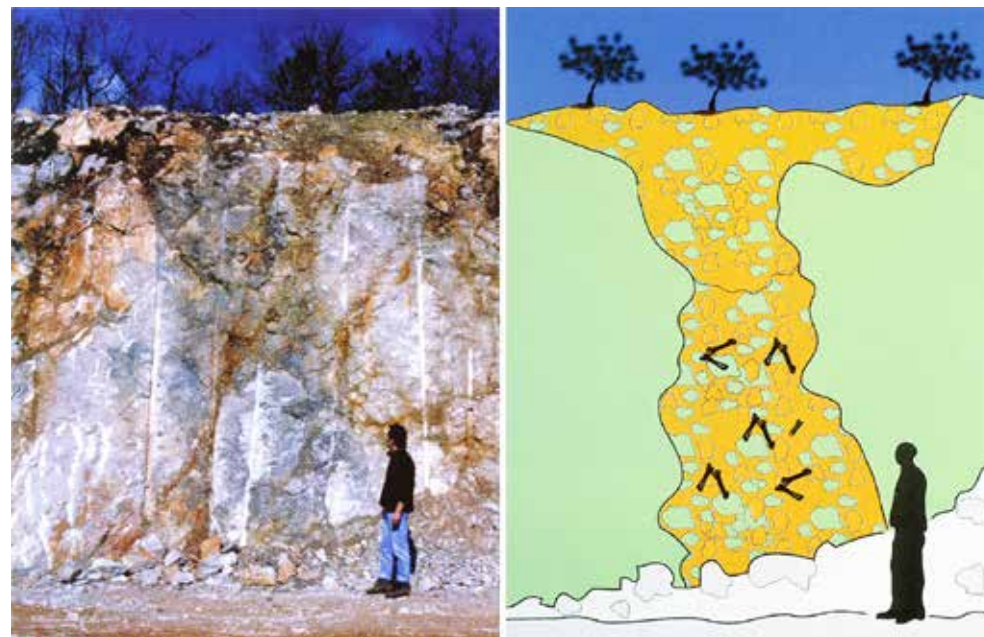
Na koncu krede so se zgodile velike okoljske spremembe. Nekateri deli Jadransko-dinarske karbonatne platforme so ponovno pogledali iz morja in bili podvrženi intenzivnemu zakrasevanju. Nastali so tako površinski kot podzemni kraški pojavi (Slika 3.3.13). To se je zgodilo zaradi premikanja litosferskih plošč, ki so privedla do približevanja Afriške celine Evropski, kar je na koncu povzročilo nastanek Alp in številnih drugih gorskih verig, kot so Pireneji, Karpati in Himalaja. Kot posledica tega dviga so za Jadransko-dinarsko karbonatno platformo postala značilna okolja s plitvejšo vodo, ki je ponekod zaradi vnosa meteorne sladke vode postala manj slana. Ta okoljska sprememba se je odrazila v fosilnem zapisu teh kamnin, ki je zelo raznolik in vključuje živalske in rastlinske fosile, značilne tako za ko-

penska okolja kot za okolja s somornico ali slano vodo. Rastlinstvo je bilo na okopnelih delih platforme tako bujno, da so v teh kamninah v Vremškem Britofu, Rodiku ter na širšem območju Lipice in Štorja nahajališča premoga. Pridobivali so ga v 19. in na začetku 20. stoletja.

Širitev kopnih območij nad morsko gladino je omogočila življenje tako dvoživkam kot večjim kopenskimi živalim. To dokazujejo odkritja fosilnih ostankov krokodilov ter kosti in zob rastlinojedih dinosavrov, ki pripadajo več družinam (Hadrosauridae, Iguanodontidae in Dromeosauridae). Najbolj odlično ohranjeni fosili so bili najdeni v temnih, tanko laminiranih apnencih iz tega obdobja, ki izdanjajo blizu Ribiškega naselja (Villaggio del Pescatore) pri Trstu (Slika 3.3.14). Tam so našli dve popolni okostji hadrozavrov vrste *Tethyshadros insularis*. Poleg hadrozavrov ta apnenec vsebuje tudi ostanke pterozavrov, krokodilov, rib in drugih vretenčarjev (glej 4. poglavje). Fo-



Slika 3.3.14: Laminirani apnenec blizu Ribiškega naselja (Villaggio del Pescatore), v katerih so bili najdeni fosili dinosavrov (foto: Sara Biolchi)



Slika 3.3.15: Mesto najdbe kosti dinosavrov v breči s kosi apnenca Liburnijske formacije, ki zapolnjuje paleokraško brezno v apnencu Lipiške formacije v avtocestnem useku pri Kozini (po Košir et al., 1999)



Slika 3.3.16: Kostni dinosaurji, krokodilov in drugih kopenskih vretenčarjev v paleokraški breči (levo) (foto: Matevž Novak) in struktura dinosaurjskih kosti pod mikroskopom (5x in 40x) (desno) (iz Košir et al., 1999).



Slika 3.3.17: Opuščen kamnolom Slivno - Slivia, ki razgalja paleokraško brečo (po Consorti et al., 2021)

silne ostanke zgornjekrednih vretenčarjev, predvsem dinosaurjeve zobe in kosti, so našli tudi v apnenčevi breči v paleokraškem breznu pri Kozini (Sliki 3.3.15 in 3.3.16).

V opuščenem kamnolomu Slivno - Slivia vidimo brečo, sestavljeno iz različno velikih blokov apnenca (Slika 3.3.17). Tudi ta podorna breča priča o daljšem kopnem obdobju, ki ga je spremljal razvoj obsežnega paleokraškega sistema. Slivenska breča, znana tudi pod kamnoseškim imenom Napoleon Slivia ali Breccia Carsica Marble, se je široko uporabljala kot okrasni gradbeni kamen.

Znotraj zgornjekredno-paleocenskega apnenca je zabeležen zelo pomemben trenutek geološke zgodovine: meja med kredo in pale-

ogenom (meja K-Pg), ki označuje eno najbolj uničujočih množičnih izumrtij, ki so se kdaj zgodila na planetu in sovпада s trkom velikega asteroida. Spemembe, ki so se zgodile na meji K-Pg, so bile tako hude, da so geologi na to točko postavili mejo med mezozoikom in kenozoikom. Številne živalske in rastlinske vrste, tako na kopnem kot v oceanih, so izumrle, vključno z dinosaurji in amonoidi ter rudišti, ki jih v kamninah, mlajših od tega dogodka, ni mogoče več najti. Na Krasu je meja K-Pg dobro vidna pri Dolenji vasi.

✦ **Paleocenski in eocenski foraminiferni apneneci**

Ob koncu paleocena se je gladina morja počasi spet začela dvigovati in morske razmere so spet prevladale. Nova sekvenca apnencev beleži to fazo zgodovine Krasa. Fosili v paleocenskih in eocenskih kamninah nam povedo, kako se je življenje v morjih spremenilo po koncu mezozoika. Najdemo številne oblike alg in foraminifer, ki pa se zelo razlikujejo od tistih, ki jih lahko opazujemo v krednih kamninah. Predvsem med foraminiferami so se pojavile številne nove vrste, ki so postajale postopoma vse večje. V najmlajših plasteh teh kamnin so tako velike, da jih lahko vidimo s prostim očesom. Zaradi prisotnosti različnih velikih bentoških (živečih na morskem dnu) foraminifer, ki so se v nekaterih plasteh nakopičile v velikem številu, te apnence zlahka prepoznamo (Slika 3.3.18). Nekateri foraminifere spominjajo na starodavne kovance, zato so jih paleontologi poimenovali numuliti (iz latinske besede *nummus*, kar pomeni kovanec) (Slika 3.3.19), medtem ko so imele druge, imenovane alveoline, posebno strukturo, za katero je značilna prisotnost številnih kamric, ki so, če jih opazujemo z ročno lupo, videti kot majhne okrogle luknjice (Slika 3.3.20). Geologom različne vrste fosilov v kamninah pomagajo pri določanju starosti kamnin.

✦ **Fliš globokega srednjeeocenskega oceanskega bazena**

Najmlajše kamnine, ki zaznamujejo območje Krasa, so popolnoma drugačne od tistih starejših. Za razliko od apnenca, ki sestavlja večji del Krasa, so to večinoma peščenjaki in bolj ali manj glinaste kamnine (meljevci, glinavci in laporovci), ki se izmenjujejo v zaporedju, dobro poznanem pod izrazom fliš (Slika 3.3.21).

Sedimenti, ki sestavljajo te kamnine, izhajajo iz erozije starejših kamnin in pričajo o dviganju Alp. Medtem ko so gore rasle, so bile vse starejše kamnine izpostavljene dežju, vetrovom in drugim atmosferskim dejavnikom. Zato so bile erodirane, delci njih pa z rekami odplavljeni v morje. Od časa do časa so taki peski in glinice, ko še niso bili litificirani (sprijeti), v obliki podmorskih plazov zdrsnili z roba platforme po celinskem pobočju v oceanski bazen. Takšni plazovi ustvarijo goste podmorske tokove, polne sedimenta, ki jih



Slika 3.3.18: Foraminiferni apnenec z numuliti in alveolinami zahodno od Kozine (foto: Matevž Novak)



Slika 3.3.20: Alveolinidna foraminifera, kakor jo vidimo pod mikroskopom (foto: Matevž Novak)



Slika 3.3.19: Kovancem podobni numuliti, naravno izluženi iz preperele kamnine (foto: Matevž Novak)



Slika 3.3.21: Menjavanje plasti laporovca in peščenjaka, ki tvori flišno zaporedje južno od Gore (foto: Bogdan Jurkovšek)

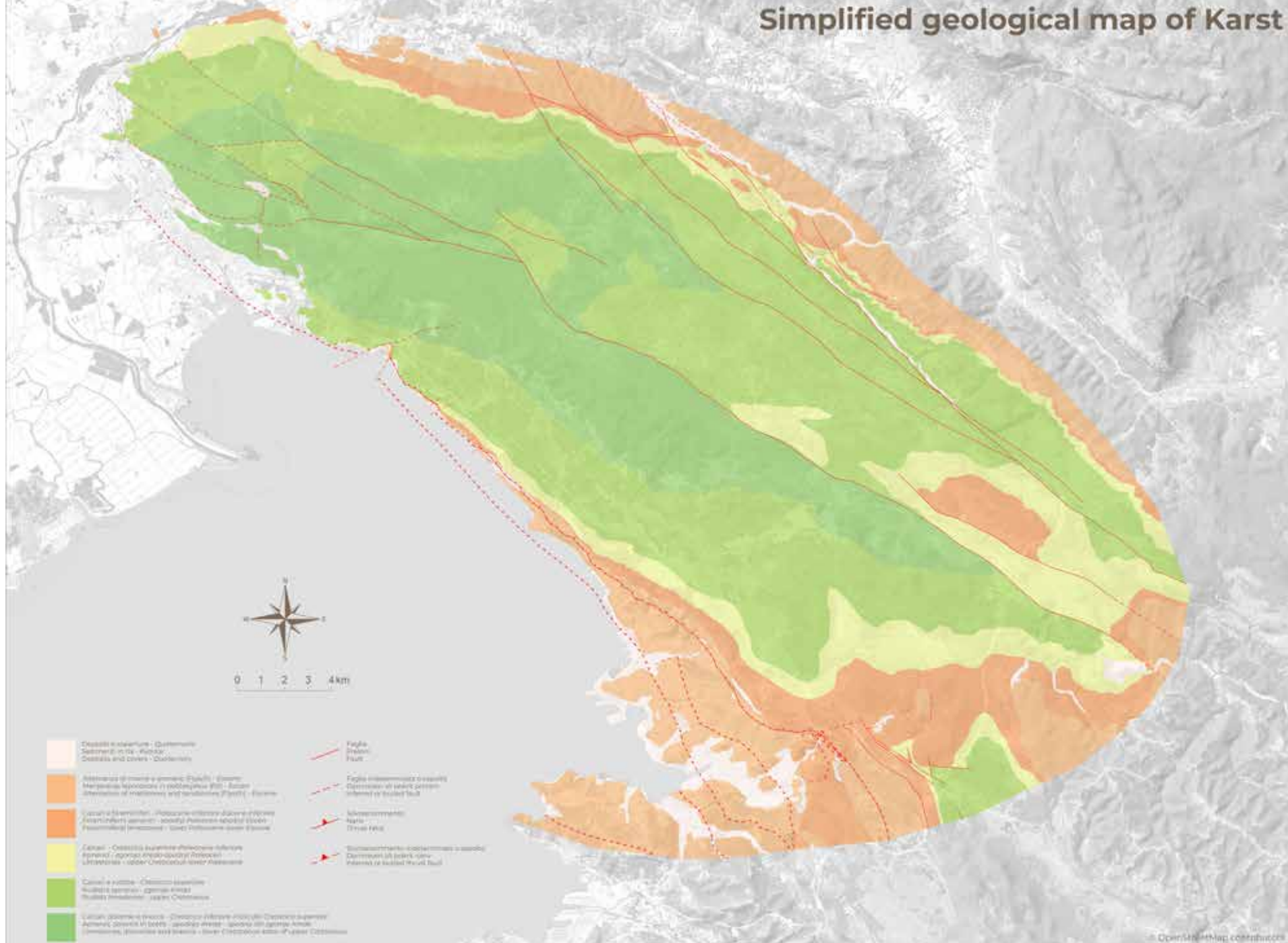
geologi imenujejo turbiditni (kalni) tokovi. Ko ti tokovi zdrsnejo v globlje dele morja, izgubijo hitrost in pri tem iz njih počasi padajo sedimentni delci. Podmorske sedimente, ki jih ustvarja turbiditni tok, imenujemo turbiditi. Fliš sestavljajo predvsem turbiditi, urejeni v tanke plasti. Na površini nekaterih plasti so vidni sledovi plazenja in vrtnja, ki so jih večinoma naredile neznane živali na nekdanjem peščenem morskem dnu. Takšne fosilne sledi imenujemo ihnofosili. Poleg teh flišne kamnine včasih vsebujejo veliko rastlinskih delcev, ki razkrivajo prisotnost bujne vegetacije na bli-

žnjih nastajajočih kopnih. V bližini gradu Miramar je mogoče najti nekaj velikih blokov apnenca, bogatih s fosili numulitov in alveolinitid. Geologi so opazili, da so podloženi in prekriti z nagubanimi in deformiranimi plastmi fliša. To kaže, da so ti bloki pravzaprav deli ogromnega plazu, ki je zdrsnil, ko se je fliš še odlagal. Takšni dokazi pričajo, da je ponekod dvigovanje, ki je povzročilo nastanek Alp, prineslo kamnine kenozojske platforme na površje, od koder so se zrušile v morje, kjer so se nalagali flišni sedimenti (glej 4. poglavje, geotočka št. 27).

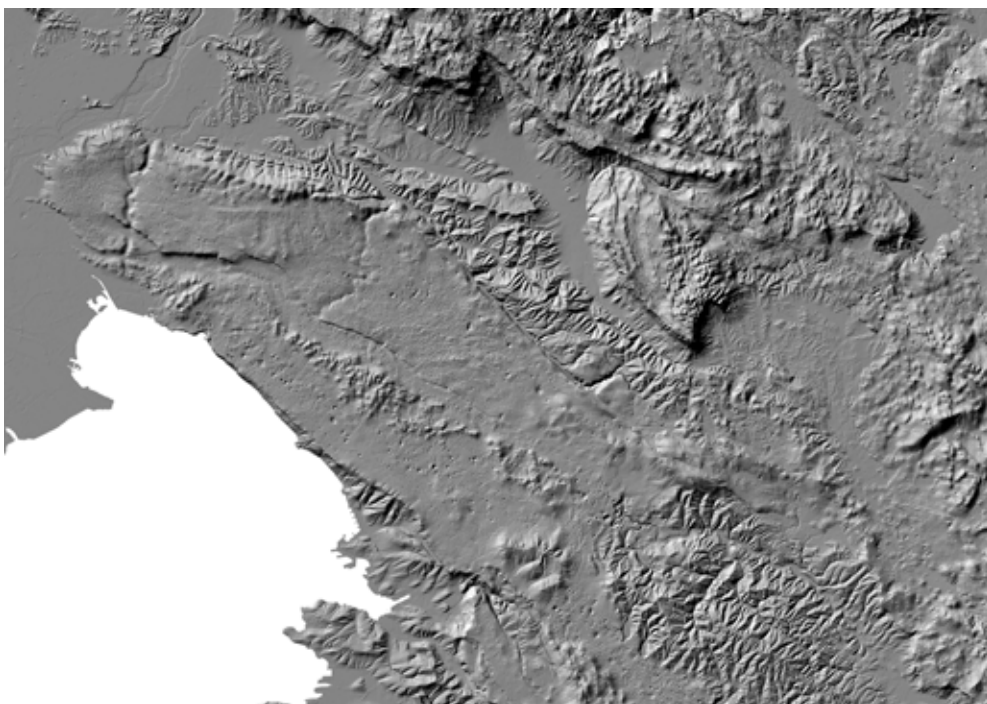
Carta geologica semplificata del Carso

Poenostavljena geološka karta Krasa

Simplified geological map of Karst



- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Depositi superficiali - Quaternario
Sedimenti in situ - Karstici
Depositi and covers - Quaternary Metarocce (metarocce e arenarie Epatiche) - Eocene
Metarocks (metarocks and sandstones Epatiche) - Eocene Calcari e calcareniti - Paleogene-Miocene (calcareniti e calcari)
Carboniferous (metarocks) - Lower Tertiary (metarocks and sandstones) Calcari - Cretaceo superiore (calcareniti e calcari)
Upper Cretaceous (metarocks and sandstones) Calcari e calcareniti - Cretaceo inferiore
Lower Cretaceous (metarocks and sandstones) Calcari calcareniti e calcari - Cretaceo inferiore (calcareniti e calcari)
Lower Cretaceous (metarocks and sandstones) | <ul style="list-style-type: none"> Faglia
Fault Faglia infermamente osservata
Discovered in some places
Inferred or suspected fault Microscopici
Faults Surtassamentu - sottoromano o assedi
Discovered in some places
Inferred or suspected fault |
|---|--|



Slika 3.4.1: Relief matičnega Krasa in okolice izdelan v okvir projekta HYDROKARST Interreg Italia-Slovenija 2007-2013

3.4. Geološka struktura območja Krasa

Današnja oblika površja območja Krasa je rezultat dolge zgodovine tektonskih deformacij, ki se je začela pred milijoni let. Njegovo strukturo lahko poenostavljeno povzamemo kot široko planoto, ki se spušča proti jugozahodu, kjer se nahajata mesto Trst in Tržaški zaliv (Slika 3.4.1).

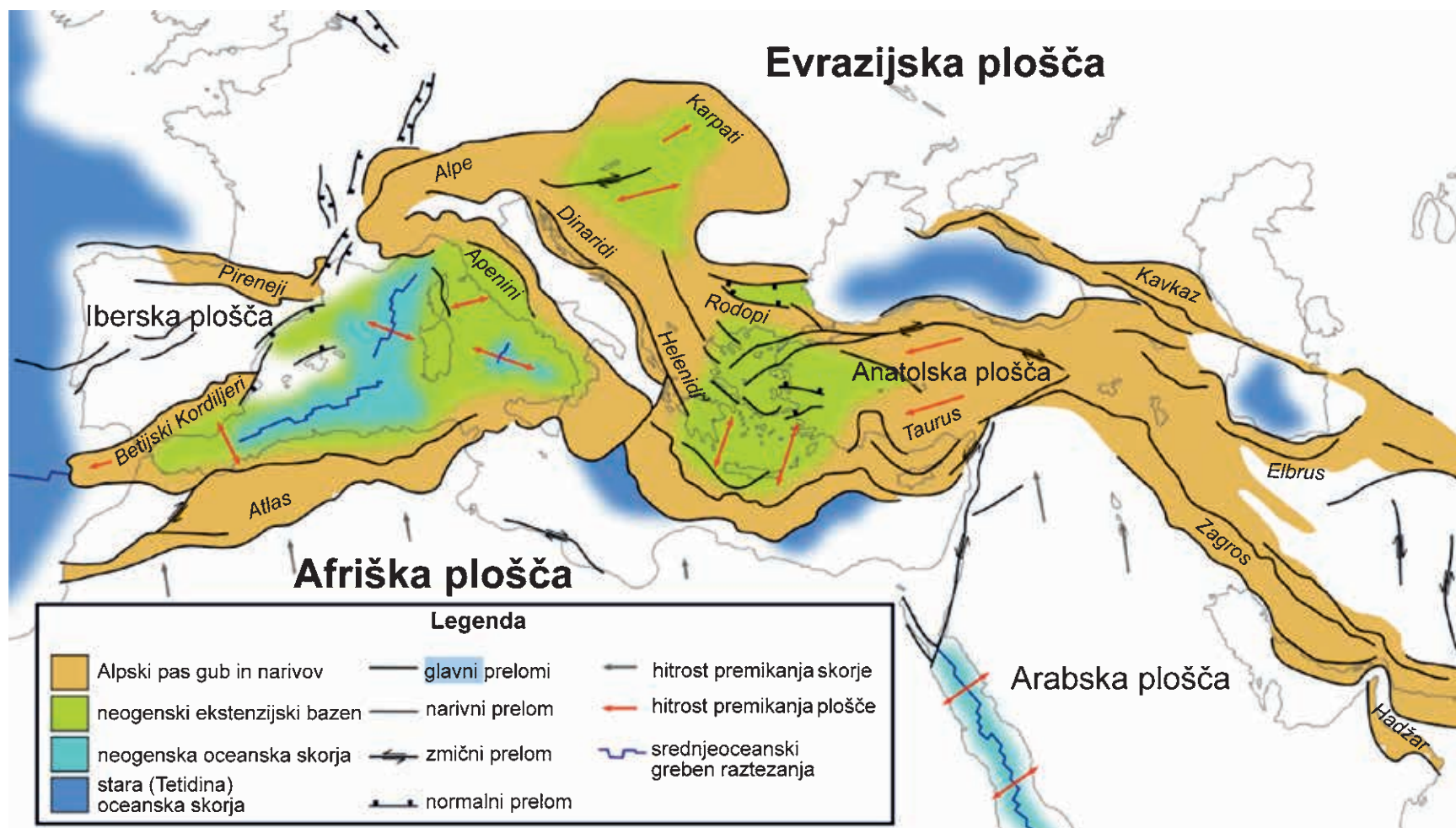
Ta oblika ozemlja je posledica orogenetskih faz, ki delujejo na tem območju v zadnjih 70 do 80 milijonih letih, in sicer od krede do danes. Orogeneza je proces, v katerem nastajajo gorovja zaradi zблиževanja (konvergence) dveh tektonskih plošč. V tem primeru sta ti dve plošči Jadranska (najsevernejši, odcepljeni del Afriške plošče) in Evrazijska plošča (Slika 3.4.2).

3.4.1 Dinarska orogeneza

V orogenetski fazi je nastala Dinarska veriga, gorski pas, ki se začne na italijansko - slovenski meji in konča na območju med Albanijo in Grčijo (Slika 3.4.2). Območje Krasa se nahaja v severnem predelu Dinaridov. Kot smo že omenili, so Dinaridi posledica konvergence med dvema ploščama. Ti plošči je v kredi (pred 70 do 80 milijoni leti) ločeval starodaven ocean imenovan Tetida. Ko sta se plošči začeli zблиževati, so se kamnine oceanskega dna začele podrivati. Oceanska skorja je namreč gostejša od tiste na kontinentalnih ploščah. Zato se ob trku kontinentalne z oceansko ploščo oceanska potopi pod kontinentalno in tone v Zemljino notranjost. Med potekom tega zблиževanja proces nastajanja gorskega pasu doseže vrhunec, ko se vse gostejše (oceanske) kamnine podrinejo in med seboj trčita dve enako gosti celinski skorji. V geologiji se plošča, ki se podriva, imenuje spodnja plošča, druga plošča pa zgornja plošča. Za preprosto ponazoritev razvoja orogeneze in lepljenja delov tektonskih plošč (akrecije) pri nastajanju gora si lahko zgornjo ploščo predstavljamo kot buldožer ali snežni plug, ki pluži zgornje dele kamnin spodnje plošče in jih kopa na stiku obeh plošč. Ta fronta je debelejša v bližini buldožerja, torej v bližini narivajoče se zgornje plošče, in vse tanjša proti spodnji plošči, kar oblikuje nekakšen klin. Geologi območje, kjer deluje buldožer, imenujejo zaled-

◀ Slika 3.3.22: Poenostavljena geološka karta območja matičnega Krasa, izdelana za center za obiskovalce geoparka v Naravoslovno-didaktičnem centru v Bazovici; legenda upošteva isto poenostavljeno skupino geoloških enot geološkega stolpca na sliki 3.3.3.

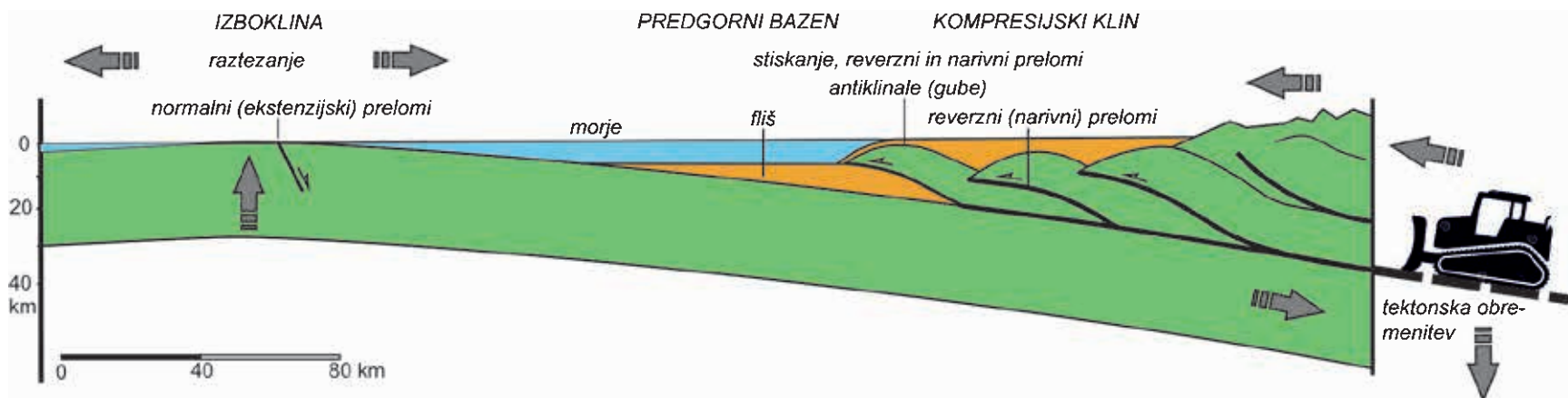
Slika 3.4.2:
Tektonska karta Evrope



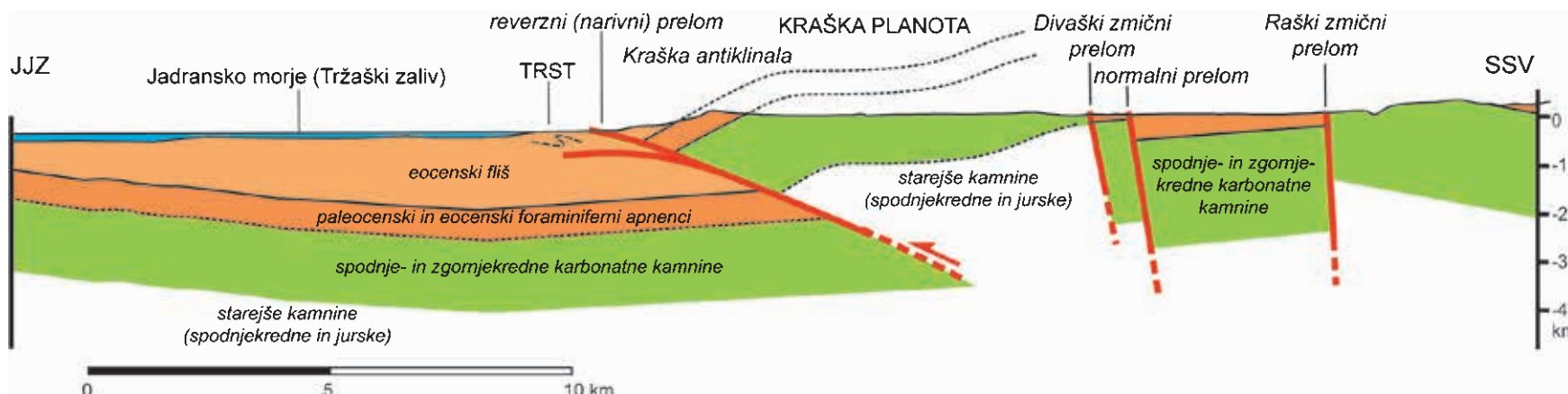
je, predgorje pa območje, kamor se pomika klin. Če se vrnemo k območju Krasa, si lahko predstavljamo, da buldožer začne stiskati, gubati in lomiti kamnine od severovzhoda proti jugozahodu, pri čemer nastaja napredujoč klin, katerega najbolj zunanji del je Kras. Ta naravni buldožer se je premikal nad podrivajočo se ploščo s hit-

rostjo le nekaj milimetrov na leto, vendar je deloval milijon let in ustvaril Dinarski gorski pas. Na sprednji strani napredujočega klina se je spodnja plošča zaradi njegove teže upognila in ustvarila bazen za odlaganje sedimentov, ki so nastali z erozijo tega velikega klina in tvorijo fliš. Ta proces se je končal pred 20 milijoni let. Zato je

Slika 3.4.3:
Poenostavljena skica
razvoja dinarske
orogeneze



Slika 3.4.4:
Geološki prerez



geološka struktura Krasa danes v grobem enaka kot pred 20 milijoni let in predstavlja veliko nesimetrično gubo, in sicer antiklinalo (izbočeno gubo v obliki črke A), katere južno krilo je bolj nagnjeno kot severno.

3.4.2 Struktura in zgodovina Krasa

Če si zamislimo, da bi navpično prerezali območje Krasa, bi lahko opazovali njegovo notranjo zgradbo, in sicer kraško antiklinalo (Slika 3.4.4).



Slika 3.4.5: Mehanizem nastanka gube, ki deformira brisačo

Kot smo že omenili, je ta antiklinala nesimetrična, kar pomeni, da je eno krilo bolj strmo od drugega. Krilo, ki se spušča proti jugozahodu, je bolj nagnjeno kot krilo, ki se spušča proti severovzhodu. Razlog za to asimetrijo je, da so bile kamnine potisnjene od severovzhoda proti jugozahodu. Da bi razumeli ta proces, si lahko predstavljamo, da potiskamo brisačo po mizi (Slika 3.4.5). Ko brisačo potiskamo, so gube asimetrične, ker roka potiska v eno smer.

Če se vrnemo h kamninam, ki se danes pojavljajo na površju Krasa, geološka karta kaže, da se v sredini kraške planote pojavljajo starejše kamnine, to so spodnje- do zgornjekredni rudistni apneneci z vmesnimi plastmi s fosili bogatega ploščastega apnenca (glej poglavje 3.3; zelena polja na Sliki 3.3.22), proti robovom kraške planote se pojavljajo mlajše kamnine (oranžna polja na Sliki 3.3.22).

Na geološki karti so prikazane tudi rdeče črte, ki prečkajo območje. Te rdeče črte so glavni prelomi. Na splošno prelomi predstavljajo nezveznosti v kamninah, ki nastanejo kot posledica tektonski faz stiskanja (kompresije) ali raztezanja (ekstenzije) med geološkim ra-

zvojem območja. Prelome lahko delimo na: 1) reverzne prelome, ki so površine, ob katerih se pri stiskanju en kamninski blok premika navzgor glede na drugi blok; 2) normalne (ekstenzijske) prelome, ob katerih se kamninski blok premika navzdol glede na drug blok; in 3) zmične prelome, ob katerih se dva bloka premikata bočno. Na območju Krasa obstajajo vse tri vrste prelomov. Geološka karta in prerez kažeta reverzni prelom na jugozahodu, ki seka površje na območju Trsta. Ta reverzni prelom imenujemo tudi narivni prelom, to je reverzni prelom z majhnim naklonom, ki je nastal v zadnji kompresijski fazi dinarske orogeneze skupaj s kraško antiklinalo. Obe strukturi sta posledica stiskanja kamninskih skladov. Severneje sta dva večja preloma: Divaški in Raški (glej poglavje 4). Oba sta zmična preloma, nastala v mlajši fazi, v kateri so se reaktivirali stari normalni prelomi (reaktivacija pomeni, da prelom v geološkem času spremeni svojo kinematiko; npr. prelom, ki je bil reverzen, se lahko zaradi spremembe napetostnih tektonskih sil v geološkem času ponovno aktivira kot normalen prelom ali kot zmičen prelom). To pomeni, da sta bila Divaški in Raški prelom na začetku svojega nastanka normalna preloma, nato pa so premiki ob njiju spremenili smer v vodoravno. V splošnem normalni (ekstenzijski) prelomi nastanejo, kadar se kamninske plasti raztegujejo. V našem primeru pa smo pisali samo o kompresijski fazi (fazi stiskanja), in sicer dinarski orogenezi in kompresijski strukturi (reverzних in narivnih prelomih). Da bi razumeli tektonske mehanizme, ki so v tem primeru ustvarili normalne prelome, si je treba ogledati poenostavljen model na Sliki 3.4.3 in buldožer. Buldožer ustvarja kompresijski klin ter gube in reverzne (narivne) prelome. Z debelitvijo klina se večja obremenitev na spodnjo ploščo, kar povzroči izbočenje in raztezanje v predgorju, s tem pa pogoje za nastanek normalnih prelomov. Ti normalni prelomi so del kompresijskega klina, ko buldožer doseže svoj položaj. Zdaj ostaja nerešeno samo še eno vprašanje, in sicer zakaj sta Raški in Divaški prelom zdaj zmična preloma. Po koncu glavne faze krčenja v dinarski orogenezi se je približevanje Jadranske plošče nadaljevalo in rahlo spremenilo smer premikanja od severovzhoda proti severu (neo-alpinska faza). Ta sprememba vključuje rotacijo kamninskih blokov in reaktivacijo starih normalnih prelomov v zmične.

3.5 Geomorfologija območja geoparka

Kras je nizka karbonatna planota, ki leži med Tržaškim zalivom in Vipavsko dolino, na nadmorski višini od nekaj do okoli 500 metrov. Na jugozahodu jo omejujeta Tržaški zaliv in nižinska nekarbonatna flišna pokrajina, na severozahodu pa aluvialna Furlanska nižina. Flišno gričevje nad 600 metrov nadmorske višine loči Kras od Pivške kotline. Kras je na jugovzhodu dobro ločen od flišnih območij Brkinov in doline Reke na eni strani, na drugi, južnejši strani, se postopoma zliva s kraškimi območji Čičarije, Podgorskega krasa in Matarskega podolja. Kraška planota se razprostira v dolžini 46 km od jugovzhoda proti severozahodu in je tudi nagnjena v to smer, od Lokve na 450 metrov nadmorske višine do Doberdoba (Doberdò) na 98 m nadmorske višine. Široka je približno 15 km in obsega okoli 750 km².

Kras spada v Sredozemlje in ima sredozemsko podnebje, a nanj vplivata njegova skrajna severna lega in nadmorska višina. Poletja so vroča in suha, zime pa precej mrzle z značilnim mrzlim severovzhodnikom - burjo. Največ dežja pade jeseni. V osrednjem delu Krasa, v Komnu, ki je od morja oddaljen le deset kilometrov, je na nadmorski višini 290 metrov povprečna letna temperatura 12°C. Količina padavin je razmeroma visoka, saj se dolgoletna povprečja gibljejo od 1.400 do 1.650 milimetrov na leto, medtem ko na obali pade le 1.000 milimetrov na leto.

Zakrasevanje Krasa poteka že več kot 10 milijonov let in prvotno morfologijo površja danes le s težavo prepoznamo. Izgled površja Krasa je, tako kot se kaže danes, posledica litoloških danosti in nekoliko manj tektonsko-strukturnih.

Od morja proti severovzhodu si sledijo različne morfološke enote, vse orientirane v smeri severozahod – jugovzhod:

- ✦ obmorski kras med Devinom (Duino) in Nabrežino (Aurisina);
- ✦ hribovito območje med Sv. Primožem (San Primo), Gorko (Gurca), Banovskim (Belvedere) in Globojnarjem (Calvo);
- ✦ uravnana pokrajina med Sesljanom (Sistiano), Nabrežino (Aurisina) in Bazovico (Basovizza);
- ✦ hribovito območje, ki poteka od Grmade preko Volnika do Tabora;

- ✦ široka, uravnana pokrajina med Doberdobom (Doberdò), Kostanjevico na Krasu, Komnom, Dutovljami in Divačo. Južno stran tega območja opredeljuje strukturno pogojena depresija, povezana z nizom prelomov med Jameljco (Colle Nero), Brestovico in Divačo;
- ✦ severno hribovje, ki loči Kras od Vipavske doline;
- ✦ od zgoraj omenjenih morfoloških enot sta ločena fluviokraška dolina Glinščice (Val Rosandra) in severni del kraške uravnave Matarskega podolja s slepimi dolinami na njegovem severovzhodnem robu.

Zaradi topnosti kraških kamnin in geoloških nezveznosti v njih, velikih količin padavin in dotokov alogenih voda iz obrobni nekarbonatnih kamnin, se je tu razvilo veliko število značilnih površinskih in podzemnih kraških oblik. Njihovo proučevanje je pomembno za razumevanje geološke, hidrogeološke in podnebne dinamike ne le Krasa, temveč tudi širšega prostora.

Drobne skalne oblike površinskega reliefa

Najizrazitejša škraplišča so nastala na debeloplastovitem do masivnem zgornjekrednem apnencu na širšem območju Lipice, Opčin (Opicina), Šempolaja (San Pelagio) in Briščikov (Borgo Grotta Gigante) ter na delu Krasa okoli Divače. Ta tip apnenca na površju in podtalnim pokrovom praviloma ne razpada tako hitro kot mlajši, običajno tanjše plastoviti paleocenski apnenec. Slednji se zato pogosteje preoblikuje zaradi kraških površinskih procesov, medtem ko so večje kamnite gmote krednega apnenca ostale večinoma nedotaknjene. Škraplje gradijo do pet metrov visoke skalne gmote (»kamniti zobje«), ki jih ločijo zakrasele razpoke. Gozd na Krasu je bil večinoma izkrčen, območje okoli škrapelj pa uporabljeno za pašnike. Podtalne skalne oblike, ki oblikujejo skalni relief spodnjih delov škrapelj in ponekod pod tlemi preoblikovani vrhovi, predstavljajo najstarejše faze nastajanja kamnitih zob. Kasneje je na površju izpostavljene gole skale preoblikovala deževnica, kar dokazujejo žlebiči in kanali ter škavnice, ki jih prekrivajo (Slika 3.5.1 A, B). Zaraščanje nekdanje večinoma gole kraškega površja je povzročilo modifikacijo drobnih kraških oblik, ki so primarno nastale v pogojih neposredne izposta-



Slika 3.5.1:

A) Škrapljišče blizu brezna Colognatti

(foto: Furio Finocchiaro);

B) Žlebiče in škavnice je izdolbla deževnica (Repen)

(foto: Bojan Otoničar)



vljenosti dežju, pod lišaji, mahovi in tlemi. Na ta način nam skalni relief govori o razvoju kraškega površja in njegove rabe (od krčenja gozdov preko paše do ponovnega pogozdovanja).

Srednje veliki površinski kraški pojavi

Kras členijo številne zaprte kraške depresije. Med njimi prevladujejo vrtače (Slika 3.5.2), pogoste so tudi udornice, uvale (doli), suhe doline in kopasti griči. Površje je pogosto kamnito, saj tanka tla niso zvezna in kamnito površje ni popolnoma prekrito.

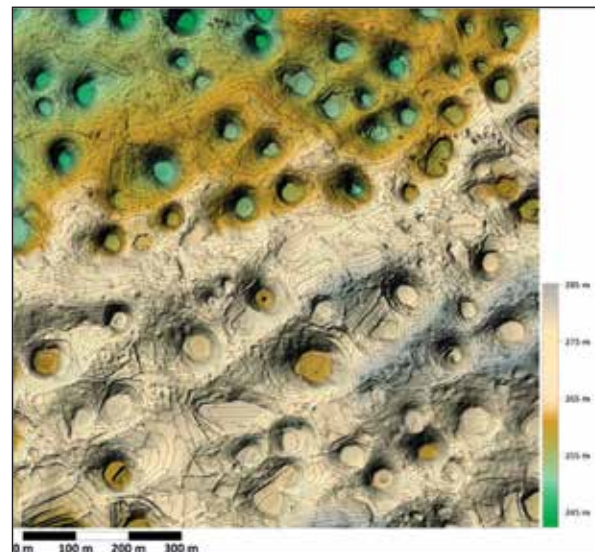
Vrtače najrazličnejših oblik, zapolnitev (terra rossa) in antropogenih predelav (očiščene, s suhozidi okoli njih, arheološka najdišča, vinogradi, zelenjavni vrtovi ali obdelovalne njive) (Slika 3.5.3) so na Krasu zelo pogoste. Ker so tla na Krasu velikokrat prisotna le na dnu vrtač, so tam zelenjavni vrtovi in njive pogosti. Dna vrtač so izravnali, s pobočij odstranili kamenje in ga nasuli v kupe ali zložili v suhozide (Slika 3.5.3). Tla vrtač so pogosto uporabljali tudi za skladiščenje vode (tako imenovane kale) (Slika 3.5.4).



Slika 3.5.2:
Vrtača pri Padričah (Padriciano)
(foto: Furio Finocchiaro)



Slika 3.5.3: Antropogeno preoblikovana vrtača neposredno pod obzidjem prazgodovinske naselbine Debela Griža pri Volčjem Gradu pri Komnu (foto: Bojan Otoničar)



Slika 3.5.5: Na digitalnem modelu reliefa (DMR) Lipiškega Ravnika v jugovzhodnem delu Krasa je razvidno, da so tam značilne vrtače s strmimi skalnimi pobočji in antropogeno izravnanimi tlemi. V nekaterih vrtačah so zemljo izkopalili in jo odpeljali v okolico vasi za uporabo v vinogradih in vrtovih. Konturni interval je en meter (iz Mihevc & Mihevc, 2021)

Slika 3.5.4: Prčedolski kal pri Opčinah (Opicina) (foto: Furio Finocchiaro)

Na Krasu je identificiranih več kot 22.400 vrtač, od tega 5.900 na italijanski strani in 16.500 na slovenski strani meje s skupno površino približno 20 km². Na nekaterih območjih Krasa, kot so Bazovica (Basovizza), Opčine (Opicina), Divača, Briščiki (Borgo Grotta Gigante), Gorjansko, Doberdob (Doberdò) in Martinščina (San Martino del Carso), je gostota vrtač večja od 70 na km².

Največ vrtač (62 %) ima povprečni premer do 50 metrov, 31,5 % ima premer med 50 in 100 m (Slika 3.5.5), le okoli deset jih ima premer večji od 500 m. Njihova povprečna globina je približno 30 m. Večje udornice na matičnem Krasu so globoke od 50 do 200 m in široke do nekaj sto metrov, njihova prostornina pa lahko doseže več milijonov kubičnih metrov. Udornice so razporejene po celotnem območju Krasa. Največje koncentracije večjih udornic, sedemindvajset, so na območju Divače, v zaledju ponorov reke Reke in pri Sežani. Označujejo podzemni tok reke Reke in nekatere največje jame Krasa, kot so na primer tiste v jamskem sistemu Škocjanske jame - Kačna jama. Nekaj manjših koncentracij udornic je tudi na severnem delu Krasa, južno od Kobjeglave ter na območju med Kazljami

in Štorjami. Na izbranem območju divaškega Krasa (31 km²) je bilo ugotovljeno, da je delež udornic med zaprtimi depresijami približno štiri odstoten in predstavljajo okoli sedem odstotkov celotne površine, vendar pa je skupna prostornina udornic več kot štirikrat večja kot skupna prostornina vrtač.

Na uravnanim območju med Nabrežino (Aurisina) in Bazovico (Basovizza) imajo kraške depresije zelo velik razpon premerov in globin glede na njihovo genezo (raztapljanje ali udor) in starost (evolucija).

Visoko koncentracijo vrtač (s pogostnostjo nad 40 na km²) najdemo na široki planoti goriško (Gorizia) - tržiškega (Monfalcone) Krasa. Za planoto, ki se nahaja na nadmorski višini 100 do 200 m, je značilno veliko število po velikosti in globini podobnih vrtač s povprečnim premerom med 50 in 80 metri.

Čeprav je površje Krasa gosto pokrito z vrtačami (Slika 3.5.5), le-te predstavljajo manj kot 10 % celotne površine (brez hribovitega dela Krasa). Enostavno razlago nastanka reliefa na Krasu otežuje precej pogosto pojavljanje brezstropih jam, kar kaže na to, da je ponekod



precejšen del površinskih reliefnih oblik dejansko nastal pri preoblikovanju podzemnih jam.

Tako kot brezstrope jame, bi lahko tudi udornice obravnavali kot odraz podzemnega krasa na kraškem površju.

Razen že omenjenih izravnav, na samem Krasu ni kraških oblik velikih dimenzij, z izjemo morda uvale pri Senadolicah (Slika 3.5.6). Uvala Senadolska Dolina ali Dol predstavlja podolgovato v smeri jugovzhod - severozahod potekajočo sklenjeno kraško kotanjo, dolgo nekaj več kot pet kilometrov in v obodu široko čez kilometer, na dnu katere je več lepo oblikovanih vrtač. Odprta je le proti severozahodu, kjer pri Senadolicah preide preko rahlega pregiba v skoraj 100 metrov nižjo uravnano jugozahodnega dela Krasa.

Nastanek uvale lahko pripišemo pospešenemu raztapljanju v območju razpoklinske cone Raškega preloma v primerjavi s počasnejšim raztapljanjem zaglinjene in zabrečene zdrobljene oziroma pretрте notranje cone Raškega preloma - ali pa gre celo za ostanek stare slepe doline, ki je odvajala vodo iz že povsem erodiranega sosednjega flišnega območja.

Kontaktni kras in suhe doline

Na območju Krasa je najbolj znana ponikalnica Reka (v Italijanskem delu Krasa se imenuje Timava), ki na koncu velike Vremske doline ponikne v Škocjanske jame (Slika 3.5.7). Nekaj manjših potočkov ponika tudi pri Danah in Senožečah. Vrhpoljsko dolino pri Kozi ni lahko štejemo za »fosilno« slepo dolino. Najbolj znane in značilne so slepe doline ob severovzhodnem obrobju Matarskega podolja ob nejasno določeni jugovzhodni meji Krasa.

Čeprav je na Krasu vrsta manjših, pogosto še aktivnih in bolj ali manj reliefno izrazitih suhih dolin, pa izstopata dve – Mali Dol (Pletni Dol) (Slika 3.5.8), ki prečka Kras med dolino Branice in Brestoviškimi Dolom, ter najizrazitejši in največji - Doberdobski dol (Vallone), ki prečka goriško (Gorizia) - tržiški (Monfalcone) Kras med Vipavsko dolino in Tržičem (Monfalcone).

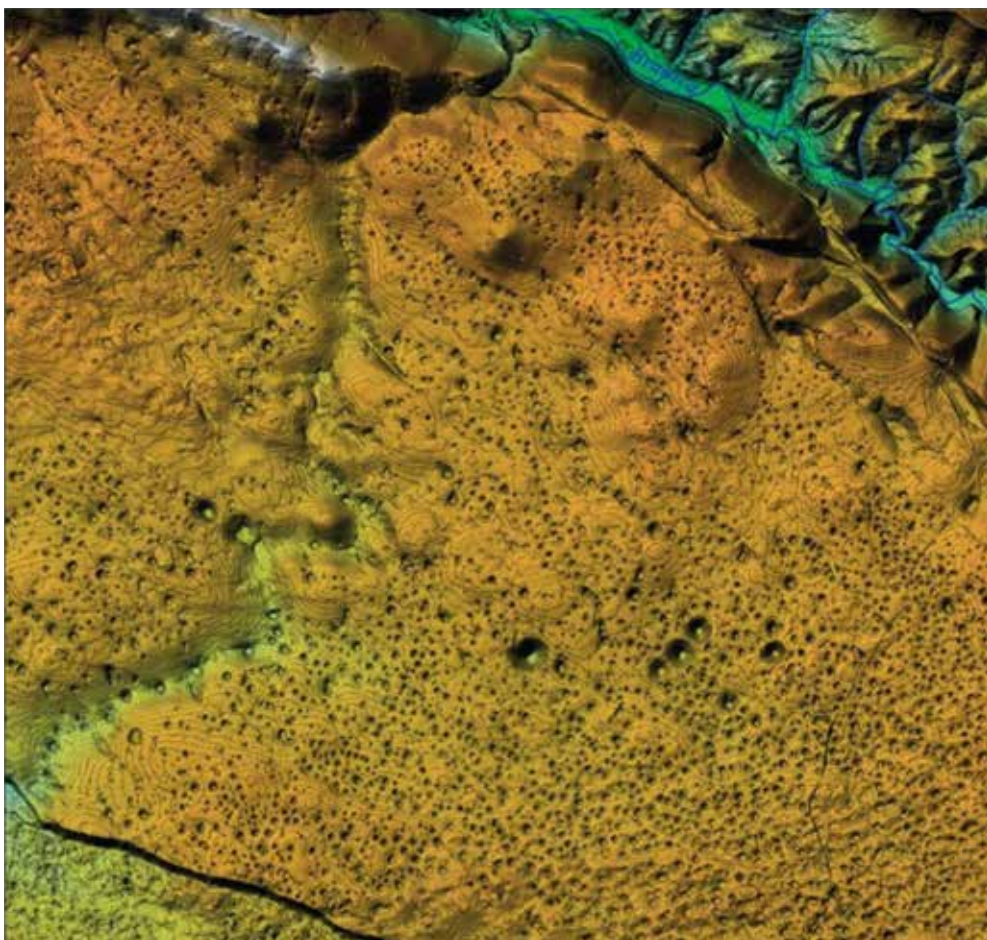
O nastanku obravnavanih suhih dolin se še vedno razpravlja. Nekateri avtorji menijo, da gre za ostanke starih površinskih vodotokov, ki so tekli preko krasa po površju, drugi menijo, da gre morda za brezstrope jame, ki so nastale z zniževanjem kraškega površja, tretji



Slika 3.5.6: Uvala Senadolski Dol pri Senadolicah na jugovzhodnem delu Krasa poteka vzdolž Raškega preloma v smeri severozahod – jugovzhod (foto: Bojan Otoničar)

Slika 3.5.7: ▶
Slepa dolina reke Reke pred ponorom v Škocjanske jame. Uravnano površje, ki se rahlo spušča proti severozahodu Krasa (osrednji del fotografije), ob straneh zamejuje hribovita (foto: Matej Blatnik)





Slika 3.5.8: DMR uravnane pokrajine osrednjega dela Krasa s številnimi vrtačami in suhim dolom Mali Dol. Tudi v dnu suhe doline so se že izoblikovale vrtače. Strm breg v spodnjem levem kotu slike se je izoblikoval vzdolž Divaškega preloma. Konturni interval je 5 metrov. (iz Mihevc & Mihevc, 2021)



Slika 3.5.9: Veliki ali Brestoviški Dol v severozahodnem delu Krasa je tektonsko pogojena depresija, razvita ob regionalnem Divaškem prelomu, ki se še posebej dobro odraža v razmeroma strmem severovzhodnem pobočju depresije (leva stran fotografije) (foto: Matej Blatnik)

Slika 3.5.10: ▶
Fluviokraška dolina Glinščice
(Val Rosandra)
(foto: Furio Finocchiaro)

pa menijo, da gre morda za združitev različnih kraških depresij, kot so polja, jame in uvale.

Že omenjeni Brestoviški Dol (Slika 3.5.9), kjer slovenski del matičnega Krasa doseže najnižjo nadmorsko višino, le nekaj deset metrov nad morjem, in kjer se Kras oskrbuje z vodo iz vrtin, je tektonsko pogojen. Depresija se je razvila ob regionalnem Divaškem prelomu.



Fluviokras doline Glinščice (Val Rosandra)

Glinščica (Val Rosandra) leži na skrajnem jugovzhodnem robu Krasa (Slika 3.5.10). Je kanjonska dolina, ki jo je v paleogenskem apnencu izdolbel hudournik Glinščica in predstavlja redek primer kraške rečne doline s površinsko hidrologijo. Njegov izvor je predvsem posledica prisotnosti prelomov, narivov in razlik v stopnji erozije med apnencem in laporjem. Predstavlja lep primer litološko in strukturno pogojene morfogeneze. Za celotno območje, še posebej pa za Steno, so značilni površinski in podzemni kraški pojavi. Raziskanih je okoli 100 jam, med katerimi so nekatere dolge tudi več kot 100 metrov. Ena najlepših med njimi je jama Savi, bogata s sigami, katerih prirastnice kažejo na geokemične in fizikalne spremembe v okolju kot posledice podnebnih sprememb in dinamike kraškega sistema. Dolina Glinščice (Val Rosandra) je bila poznana in ob-

ljudena že v preteklosti in so jo uporabljali za prevoz soli z obale v vasi v notranjosti. Jame s prazgodovinskimi ostanki, ruševine gradov in gradišč, mlini, podeželske cerkve, ruševine rimskega vodovoda in opuščeni kamnolomi pričajo o intenzivni in starodavni poselitvi območja. Zaradi posebnih klimatskih in geomorfoloških razmer ter njene geografske lege je Glinščica (Val Rosandra) tudi poseben in pomemben življenjski prostor številnim organizmom.

Obalni kras

Vzdolž obale med Nabrežino (Aurisina) in Ribiškim naseljem (Vilaggio del Pescatore) so apnenci bogati z površinskimi in podzemnimi kraškimi pojavi. Morski aerosoli prispevajo k razvoju različnih kraških pojavov, njihove oblike pa še poudarjajo. Mešanica sladke in morske vode ne povzroča le nastanka morskih zajed, temveč tudi jam in izvirov. Zmerno nagnjena obala do Sesljana (Sistiana) pos-



Slika 3.5.11: Devinski (Duino) klif (foto: Rodolfo Riccamboni)

tane proti Devinu (Duino) visok klif (Slika 3.5.11). Kromatski kontrast skale, morja in vegetacije ustvarja edinstveno in fascinantno pokrajino v vsakem letnem času.

Jame

Na območju geoparka je raziskanih skoraj 5.000 jam, od tega 3.000 v Italiji in skoraj 1.800 v Sloveniji. Številčna razlika je posledica dejstva, da so v Sloveniji v katastru jam evidentirane le tiste jame, ki so daljše ali globlje od 10 metrov, v Italiji pa tudi manjše. Le približno deset jam je daljših od 1.000 metrov.

Pokazalo se je, da v približno 45 % jam prevladujejo horizontalni rovi, v 30 % pa vertikalni. Približno 25 % jam ima kompleksno obliko, v kateri se brezna izmenjujejo z vodoravnimi rovi.

Osnovni podatki o jamah in brezni so shranjeni v katastru jam Jamarske zveze Slovenije, ki ga vodi in usmerja Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, ter v Deželnem jamarskem katastru Avtonomne Dežele Furlanije - Julijske krajine, ki ga vodi in objavlja na

spletu Geološka služba, v sodelovanju z vsemi Jamarskimi društvi in jamarskimi zvezami Furlanije - Julijske krajine.

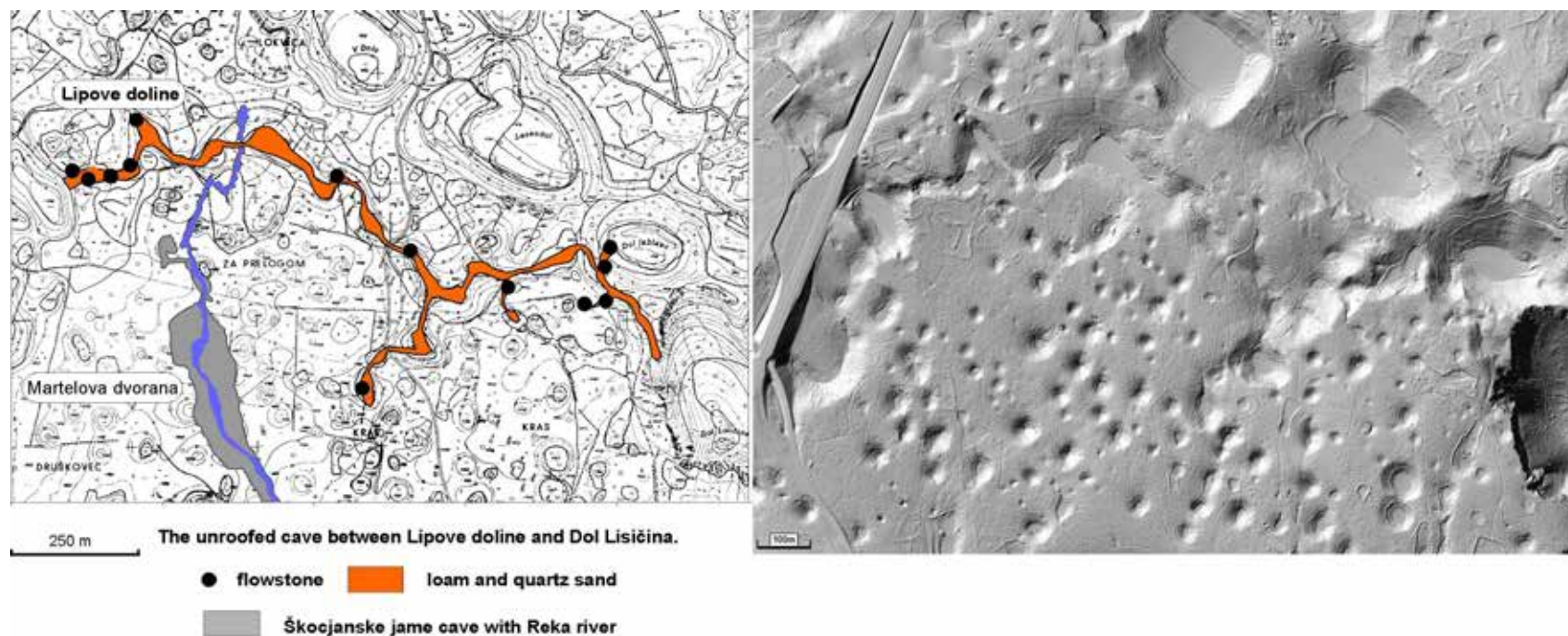
Najdaljšo mrežo jamskih kanalov na Krasu ima skoraj 20.500 metrov dolga Kačna jama, medtem ko je najgloblja 378 metrov globoka jama Claudio Skilan.

Na Krasu se danes jame, ki so nastale predvsem v stalno zaliti oziroma freatični hidrološki coni, nahajajo na različnih nivojih in conah. Tako predstavljajo poseben element svetovne vrednosti freatične jame med Divačo, Sežano in Opčinami (Opicina), ki se nahajajo na različnih nivojih, so skupaj s Škocjanskimi jamami izjemnega pomena za proučevanje in razumevanje kraških hidrogeoloških sistemov ter s tem povezanega geološkega razvoja določenih kraških in kontaktnih kraško/fluvialnih območij. Najgloblje pod kraškim površjem so jame, katerih spodnji deli so še stalno ali občasno poplavljeni. Te lahko sekajo ponori in udornice (Škocjanske jame) ali globoka stopničasta brezna in strmi fosilni epifreatični kanali (Kačna Jama, Jama 1 v Kanjeducah, Brezno v Stršinkni Dolini - Jama Sežanske Reke, Labadnica (Abisso di Trebiciano) in jama Lazzaro Jerko). Suhe jame, ki se danes nahajajo tik pod površjem v vadozni coni, so običajno starejše, rovi pa subhorizontalni ali rahlo nagnjeni, predstavljajo fosilne ali reliktnne freatične jame, ki so v preteklosti odvajale znaten delež kraške podzemne vode proti izvirom. Med tovrstne jame spadajo Divaška jama, Vilenica, Jakofčičeva jama, Gustinčičeva jama v Blažčevi Dolini, Lp2 (Lipica), Lipiška jama, Škamprlova jama, jama Claudio Skilan, Pečina pri Salcerju (Grotta di Padriciano), jama Impossibile, Lisičja luknja (Grotta Antonio Federico Lindner), - Briška jama (Grotta Gigante), Pejca v Iascu (Torri di Slivia) in Pečina v Rubijah (Noè). Te jame so pogosto dostopne skozi navpična brezna ali pa so tako blizu površja, da je kraška denudacija razprla njihove stropove (Slika 3.5.12).

Slika 3.5.12: Denudirana/brezstropa jama Zidaričeva pejca (Grotta Azzurra) (foto: Furio Finocchiaro)



Slika 3.5.13:
 Topografska karta z
 lokacijo denudirane
 jame v Lipovih dolinah
 nad Škocjanskimi
 jamami (levo) (iz Mihevc
 2001) in Lidar DMR
 (Agencija RS za okolje)
 istega območja (desno)



S tem povezano relativno dvigovanje ozemlja oziroma znižanje erozijske baze in hkratno znižanje kraškega površja zaradi denudacije potrjujejo številne denudirane jame ali jame brez stropov (npr. denudirana jama s kapnikom v Lipovi dolini nad Škocjanskimi jamami (Slika 3.5.13), velika denudirana jama pri Povirju, različne denudirane jame pri Sežani in denudirana jama s stalagmiti blizu Bliške jame (Grotta Gigante). Danes so te jame del kraškega površja, vendar je njihova oblika v bistvu relikv freatičnega/epifreatičnega podzemeljskega krasa. Jame so bile namreč kasneje preoblikovane v vadozni hidrogeološki coni, nato pa na kraškem površju podvržene celo površinskim procesom. Denudirane jame in jame, ki se danes nahajajo v vadozni coni, so morda nastale istočasno in so podobne starosti, razlikujejo se le zaradi drugačne lokacije glede na morfologijo površja. Na Krasu so danes najstarejše jame tiste, ki so najbližje kraškemu površju, vključno z jamami na območju Tabora, Volnika

(Monte Lanaro) in Grmade (Monte Ermada), kjer je Grofova jama, s sedimentni starimi vsaj 10 milijonov let, še posebej zanimiva in pomembna.

Brezna so na matičnem Krasu številna in predstavljajo vertikalne rove, ki so lahko samostojni ali predstavljajo vhode v horizontalne jame. Tu velja omeniti vhod v najdaljšo jamo Krasa, Kačno jamo, brezno Abisso della Volpe in samostojno Lipiško brezno. Vhod v Kačno jamo se nahaja v veliki vrtači, na dnu katere se odpira 186 metrov globok sistem vzporednih brezen. Abisso della Volpe je globok 181 metrov, Lipiško brezno pa je samostojna jama in z 210 metri verjetno predstavlja najgloblje znano enotno navpično brezno Krasa.

Izvor velikih brezen na Krasu še ni povsem pojasnjen, saj ni jasno, ali gre za brezna, ki so nastala v vadozni coni s pronicanjem vode s površja, ali gre vsaj v nekaterih primerih za subvertikalne freatične in/ali epifreatične kanale.

3.6 Hidrogeologija območja geoparka

Vodonosnik Krasa

Vsakič, ko se sprehodimo po Kraški planoti, nas bo presenetila edinstvenost in pestrost pokrajine, ki nas obdaja. Včasih je dovolj le nekaj korakov, da pridemo iz gozda na suha kamnita tla, preko brd in humov do brezen in vrtač, od mehkih travnikov do neprepustnih apnenčastih skalnatih površij. Vse to nam pripoveduje zgodbo, dolgo milijone let, v katerih je voda kot neumorni kipar oblikovala vsako skalo in jo naredila izvirno in edinstveno. Na krasu ostane voda na površju le kratek čas. Obsežna mreža geoloških nezveznosti (lezike, prelomi, razpoke, ...), ki jih kraški procesi povečujejo in širijo, omogoča enostavno pronicanje in hitro naraščanje vode pod površjem, kar ustvarja enega najpomembnejših in najbogatejših vodonosnikov na celotnem območju Sredozemlja (vodonosnik je telo kamnine in/ali sedimenta, ki vsebuje vodo, ki iz njega v znatnih količinah tudi izteka). Simbol vodonosnika Krasa so Škocjanske jame in izviri Timave, ki s povprečno pretočnostjo 30 m³/s predstavljajo najpomembnejši izvir geoparka.

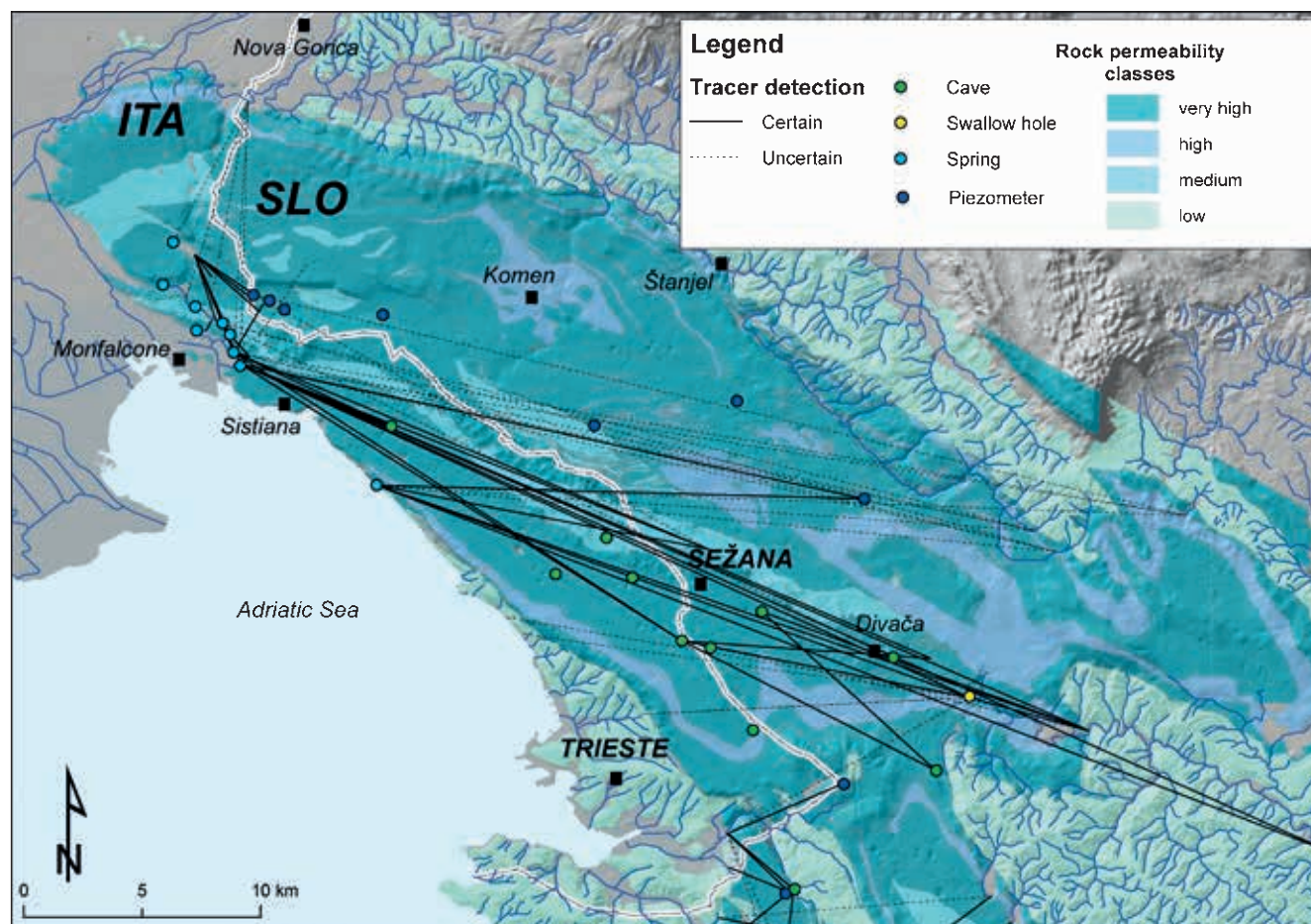
Toda od kod vsa ta voda prihaja? In zakaj se pojavi ravno na tem mestu?

Odgovora na ti vprašanji dobimo v geologiji.

Kot smo opisali že v prejšnjih poglavjih, na Krasu obstajajo kamnine dveh različnih

litologij: karbonatne kamnine (apnenec in v manjši meri dolomit) in siliciklastične kamnine, ki jih tukaj predstavlja fliš (menjavanje laporja in peščenjaka, s silikatno oziroma kremenično komponento, ki prevladuje nad karbonatno). Ti dve litološki enoti imata različne hidrogeološke značilnosti in vsaka po svoje vplivata na napajanje in odvodnjavanje vodonosnika. Prvi so namreč izrazito zakraseli in omogočajo infiltracijo ter podzemni tok (visoka prepustnost), drugi ne zakrasevajo, kar daje prednost površinskemu toku in predstavlja oviro podzemnemu toku (nizka prepustnost).

Iz hidrogeološke karte je razvidno, da fliš skorajda obdaja Kras,



Slika 3.6.1: Hidrogeološka karta Krasa (prirejeno po Zini et al., 2022)

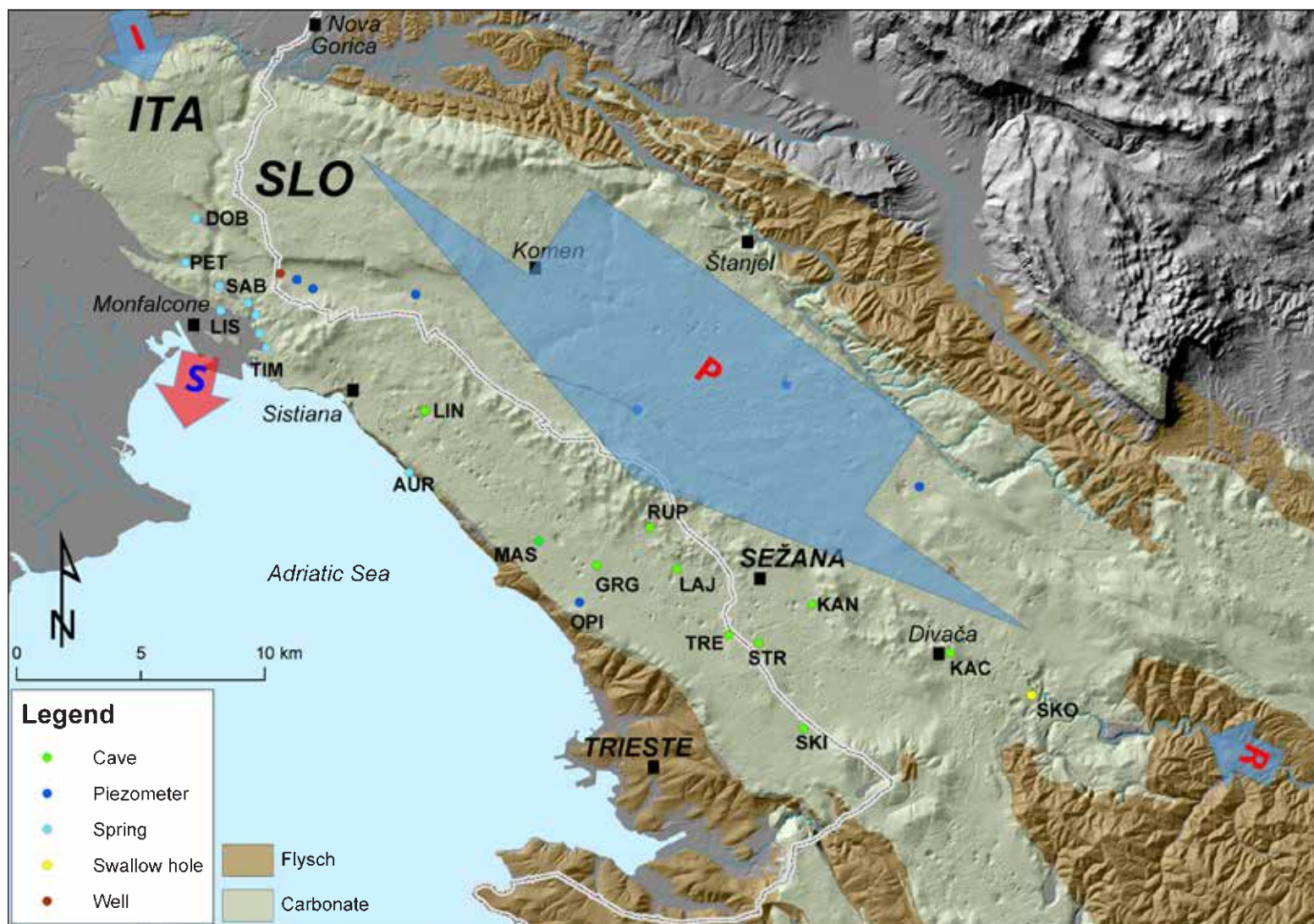
saj je prisoten skoraj neprekinjeno tako v severnem kot vzhodnem delu Krasa (Slika 3.6.1). Njegova prisotnost predstavlja hidrogeološko pregrado, ki vpliva na akumulacijo vode v apnencu in usmerja tok podzemne vode proti severozahodu do območja med Nabrežino (Aurisina) in Tržičem (Monfalcone), kjer pregrada manjka, zato se lahko podzemna voda ponovno pojavi v številnih izvirih.

Polnjenje vodonosnika

Vodonosnik Krasa se napaja s treh različnih virov: s padavinami, površinsko vodo iz Reke in Raše ter dotoki iz medzrnskega vodonosnika soške nižine (Slika 3.6.2).

Glede na razprostranjenost Krasa in obilne količine padavin na tem območju predstavljajo padavine glavni prispevek k polnjenju

Slika 3.6.2: Hidrološko-litološka karta Krasa z glavnimi vodnimi objekti: SKO - Škocjanske jame, KAC - Kačna jama; KAN - Jama 1 v Kanjaducah; SKI - Jama Claudio Skilan (Grotta Claudio Skilan); STR - Brezno v Stršinkni dolini - Jama Sežanske Reke; TRE - Labadnica (Abisso di Trebiciano); LAJ - Jama Lazzaro Jerko (Grotta Lazzaro Jerko); GRG - Briška jama (Grotta Gigante); RUP - Repensko brezno (Abisso di Rupingrande); OPI - piezometer pri Opčinah (Opicina); MAS - Abisso Massimo; LIN - Lisičja luknja (Grotta Lindner); AUR - izviri pri Nabrežini (Sorgenti di Aurisina); TIM - izviri Timave (Sorgenti del Timavo); LIS - izviri pri Lisertu (Sorgenti del Lisert); SAB - Sabliško jezero (lago di Sablici); PET - Prelosno jezero (lago di Pietrarossa) ter DOB - Dobrdojsko jezero (lago di Doberdò). Modre puščice označujejo različne prispevke k hranjenju vodonosnika, rdeča puščica pa povprečni pretok izvirskih sistemov (prirejeno po Zini et al., 2022)





Slika 3.6.3: Vremski požiralnik. Sledilni preizkus s fluorescentno zelenim barvilom (uraninom) (foto: arhiv Oddelka za matematiko in geoznanosti Univerze v Trstu (DMG))

vodonosnika Krasa, ki se nahaja na prehodnem območju med sredozemskim in celinskim podnebjem. Povprečna količina padavin se giblje na Krasu od okoli 1.000 mm/leto ob obali do 1.800 mm/leto v notranjosti; v porečju Reke pa celo do vrednosti nad 2.000 mm/leto. Zaradi intenzivnega in obsežnega zakrasevanja kamninskega masiva, nizke vegetacije in pogosto zanemarljive količine tal na površju ni hidrografske mreže, temveč padavinska voda hitro pronica in polni podtalnico.

Pomemben prispevek vodonosnika Soške nižine lahko opazimo v severozahodnem delu Krasa med Mirnom in Zagajem (Sagrado), kjer so vode Soče in Vipave v neposrednem stiku z apnencem. Na tem območju vrsta požiralnikov usmerja pretok površinske in podzemne vode proti vodonosniku Krasa. Na ta način so vode, ki proni-

cajo na številnih mestih, ustvarile razčlenjeno kraško omrežje, ki odvaja vode proti izvirskemu območju med izviro Mačila (Mucille) in Timava.

S hidrodinamičnega vidika je najbolj zanimiv prispevek Raše in notranjske Reke k vodonosniku. Ti vodotoki tečejo po površju dokler so na flišu, ko pa dosežejo apnenec, jih v globine odvaja vrsta ponorov. Pretoki Raše so razmeroma skromni, struga pa ostaja dlje časa suha, medtem ko so pretoki Reke izrazito večji in prispevajo v povprečju več kot četrtino dotoka k celotnemu vodonosniku Krasa.

Vodonosni sistem Reka/Timava

Notranjska Reka izvira na pobočju hriba Dletvo na meji med Slovenijo in Hrvaško. Več kot 50 km teče po flišu, dokler približno sedem kilometrov vzvodno od Škocjanskih jam ne preide na apnenec. V tem delu reke je kras že razvit in Reka izgubi del vode. Ta pojav je še posebej izrazit pri Gornjih Vremah, kjer v obdobjih nizkega pretoka vse vode Reke poniknejo, tako da je struga reke nizvodno suha (Slika 3.6.3).

Ko je pretok večji od približno $1 \text{ m}^3/\text{s}$, Vremski požiralnik ne more požirati vse vode, zato Reka nadaljuje svoj tok proti Škocjanskim jamam. Reka vstopi v več kot šest kilometrov dolge Škocjanske jame na nadmorski višini 317 metrov, prečka nekaj zelo globokih udornic (Mala dolina je globoka 120 metrov, Velika dolina pa več kot 165 metrov) in po približno 3,5 kilometra dolgi velikanski podzemni soteski, široki od 10 do 60 metrov in visoki tudi preko 100 metrov, izgine v sifon Mrtvega jezera na 212 metrih nadmorske višine.

Notranjska Reka ima izjemno spremenljiv pretok, ki se giblje od preko $380 \text{ m}^3/\text{s}$ ob poplavah do $0,18 \text{ m}^3/\text{s}$ v sušnem obdobju. Pretoki so lahko tako visoki, da podzemni kanali ne morejo odvajati vse vode, tako da se gladina podtalnice nenadoma dvigne in poplavi dele jam, ki običajno niso zaliti. Zrak se pri tem skozi večje ali manjše votline iztiska proti površju in na površje skozi tako imenovane dihalnike, ki so jih v 19. stoletju označevali z nemškim izrazom „luftloch“ (Slika 3.6.4). Zahvaljujoč tem dihalnikom so speleologi odkrili in raziskali številne jame, ki vodijo do podzemnih kanalov Reke: Jama v Kanjaducah (Jama 1 v Kanjaducah), Brezno v Stršinkni dolini - Jama Sežanske Reke, Labadnica (Abisso di Trebiciano) in Jama Lazzaro

Jerko. Reko je mogoče doseči tudi v jamskem sistemu Brezno treh generacij – Kačna jama.

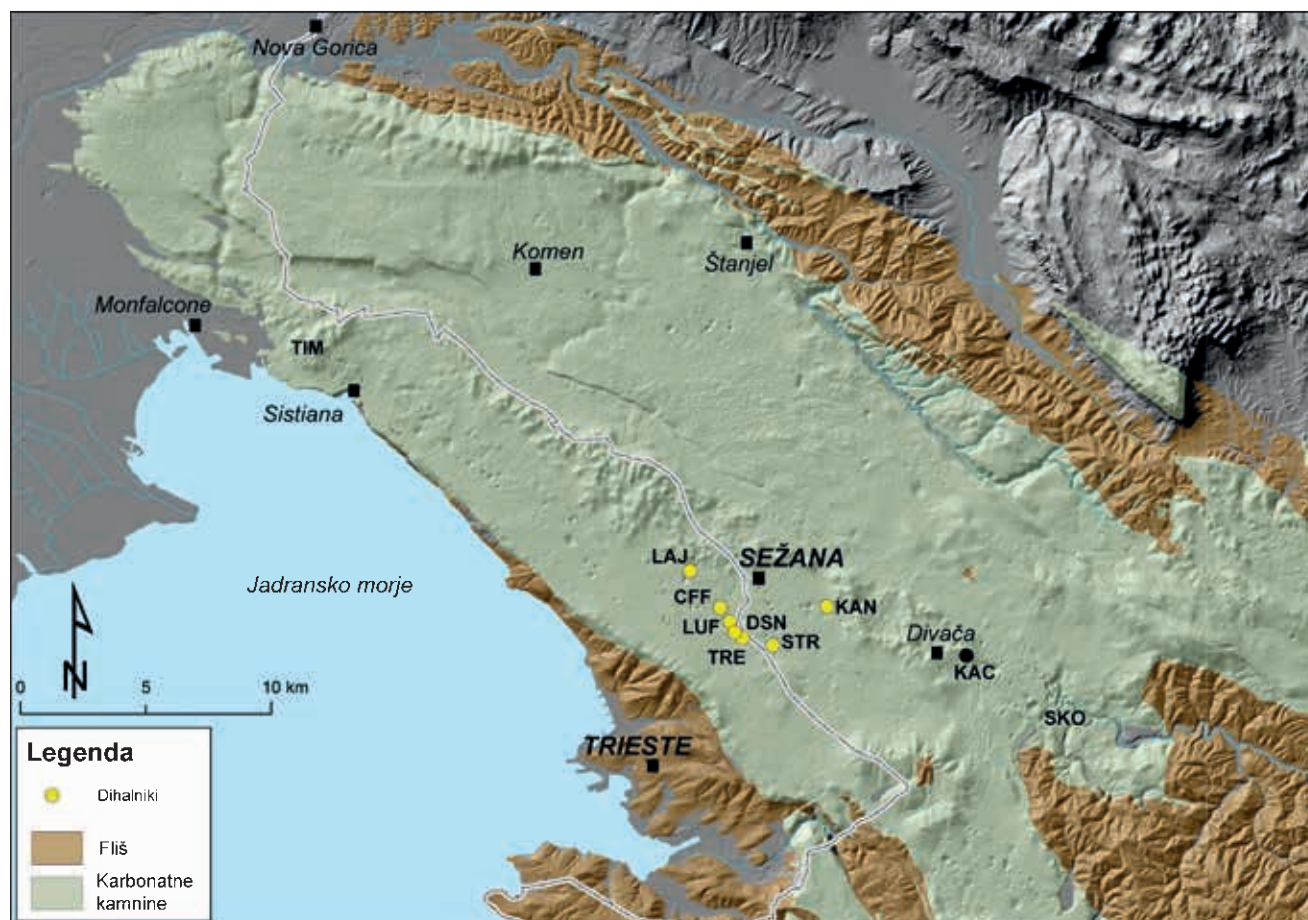
Kačna Jama je ogromen podzemni kompleks, oblikovan v krednih apnencih približno en kilometer zahodno od Divače in približno 800 m zahodno od Mrtvega jezera v Škocjanskih jamah. Vhod v jamo se odpre na nadmorski višini 435 metrov s 186 metrov globokim vhodnim breznom, ki vodi do večjega sistema rovov, razporejenih na dveh nivojih, ki sežejo v najnižji točki do globine 280 metrov pod vhod.

Zgornji nivo je hidrološko neaktiven, a bogato zasigan, medtem ko sestavlja spodnji nivo, do katerega pridemo iz zgornjega preko niza prepletajočih se brezen in rovov, kompleksen sistem aktivnih subhorizontalnih rovov. Tu Reka, ko so vode nizke, prosto teče do sifona na 156 m nadmorske višine. Sifon lahko odvaja največ 15 m³ vode na sekundo. Če so pretoki večji, se nivo vode v jami dvigne in aktivira se vrsta občasno pretočnih rovov, ki lahko odvajajo skupaj od 130 do 150 m³ vode na sekundo. Pri večjih pretokih gladina podtalnice še naraste in celo soteska Škocjanskih jam začne poplavljeni.

Leta 2010 je bilo odkrito Brezno treh generacij, ki je povezano z novimi galerijami Kačne jame, tako da tvorita skupaj več kot 20 km dolg podzemni jamski sistem. Brezno treh generacij dolguje svoje ime dejstvu, da so speleologi med raziskovanjem našli sledi starih izkopavanj, ki so bila izvedena verjetno že konec 19. stoletja.

Pet kilometrov nizvodno od Kačne jame je Jama v Kanjaducah (Jama 1 v Kanjaducah). Gre za 330 metrov globoko jamo z okoli 1,5 km rovov, na dnu katere je, na nadmorski višini približno 20 metrov, rov izjemnih dimenzij (600 metrov dolg, 50 metrov širok in 60 metrov

visok), po katerem teče Reka. Čez nadaljnja 2,6 km se vode Reke ponovno pojavijo v podzemnem sistemu Jame Sežanske Reke - Brezno v Stršinki Dolini, na dnu katerega se pretakajo v širokem rovu le približno 15 metrov nad morsk gladino. Jama ima dva ločena vhoda - prvi, Jama Sežanske Reke, se odpre na 354 metrih nadmorske višine in vodi do vhodnega sifona, drugi, Brezno v Stršinki Dolini (344



Slika 3.6.4:
Dihalniki: SKO Škocjanske jame, KAC Kačna jama, KAN Jama 1 v Kanjaducah, STR Brezno v Stršinki dolini – Jama Sežanske Reke, TRE - Labadnica (Abisso di Trebiciano), DSN Dolina dei Sette Nani, LUF Jama Luftloch, CFF Jama »Pozzo presso il casello ferroviario di Ferneti – Grotta Decapitata, Abisso Nagasaki«, LAJ Jama Lazzaro Jerko



Slika 3.6.5: Reka oziroma Timava na dnu Labadnice (Abisso di Trebiciano) (foto: Alberto Maizan)

m n. v.), pa vodi do izstopnega sifona. Vhodni sifon so raziskali jamski potapljači do globine 60 metrov. Iz te jame teče Reka skozi niz sifonov, od katerih so nekateri še neznani, do Labadnice (Abisso di Trebiciano). To je ena najbolj znanih jam na Krasu in je imela pomembno vlogo pri hidrogeoloških raziskavah Krasa. Potem, ko je bila leta 1841 raziskana, je veljala več kot osemdeset let za najglobljo jamo na sve-

tu. Danes je skupno dolga več kot 2.400 metrov in globoka 370 metrov (Slika 3.6.5). Nedavna jamska potapljaška raziskovanja so potrdila prisotnost velikih poplavljenih kanalov, ki so dolgi nekaj sto metrov in segajo 40 metrov v globino, precej pod morsk gladino.

Naslednja jama, ki tudi doseže vode Reke oziroma Timave, je Grotta Meravigliosa Lazzaro Jerko, ki se odpre v Colu (pri Repentabru) na nadmorski višini 302 m, 3,5 km severno od Labadnice (Abisso di Trebiciano). Jama je pretežno vertikalna, s številnimi brezni, ki vodijo v dve veliki dvorani, na dnu katerih teče voda na nadmorski višini približno štiri metre.

Lazzaro Jerko je zadnja znana jama, v kateri je mogoče neposredno opazovati Reko oziroma Timavo. To je verjetno posledica dejstva, da so nizvodni kanali popolnoma poplavljeni in pod morsk gladino. Povezava med vsemi temi jamami z Nabrežinskimi izviri (Aurisina) ter izviri Timave in Sardoča (Sardos) je bila večkrat potrjena s številnimi sledilnimi poizkusi z različnimi sledili.

Ob poplavah in sočasno s povečanjem pretočkov v Škocjanskih jamah se gladina podzemne vode lahko dvigne tudi za več deset metrov (do več kot 100 m) in poplavi najgloblje dele nekaterih brezen in jam (Repensko brezno (Abisso di Ruppigrande) in brezno Massimo, Jama Claudio Skilan, Jama Lisičja luknja – (Grotta Lindner), Dolenca jama in Drča jama).

Izviri

Vzdolž obale med Nabrežino (Aurisina) in Tržičem (Monfalcone), kjer se stikata apnenec in fliš, topografsko nizko nad morjem in pogosto pod morsk gladino, se pojavljajo številni izviri, ki odvajajo vode Kraškega vodonosnika. Začenši od jugovzhoda so prvo območje izvirov Nabrežinski izviri (Slika 3.6.6). Skupno devet izvirov je v lini-



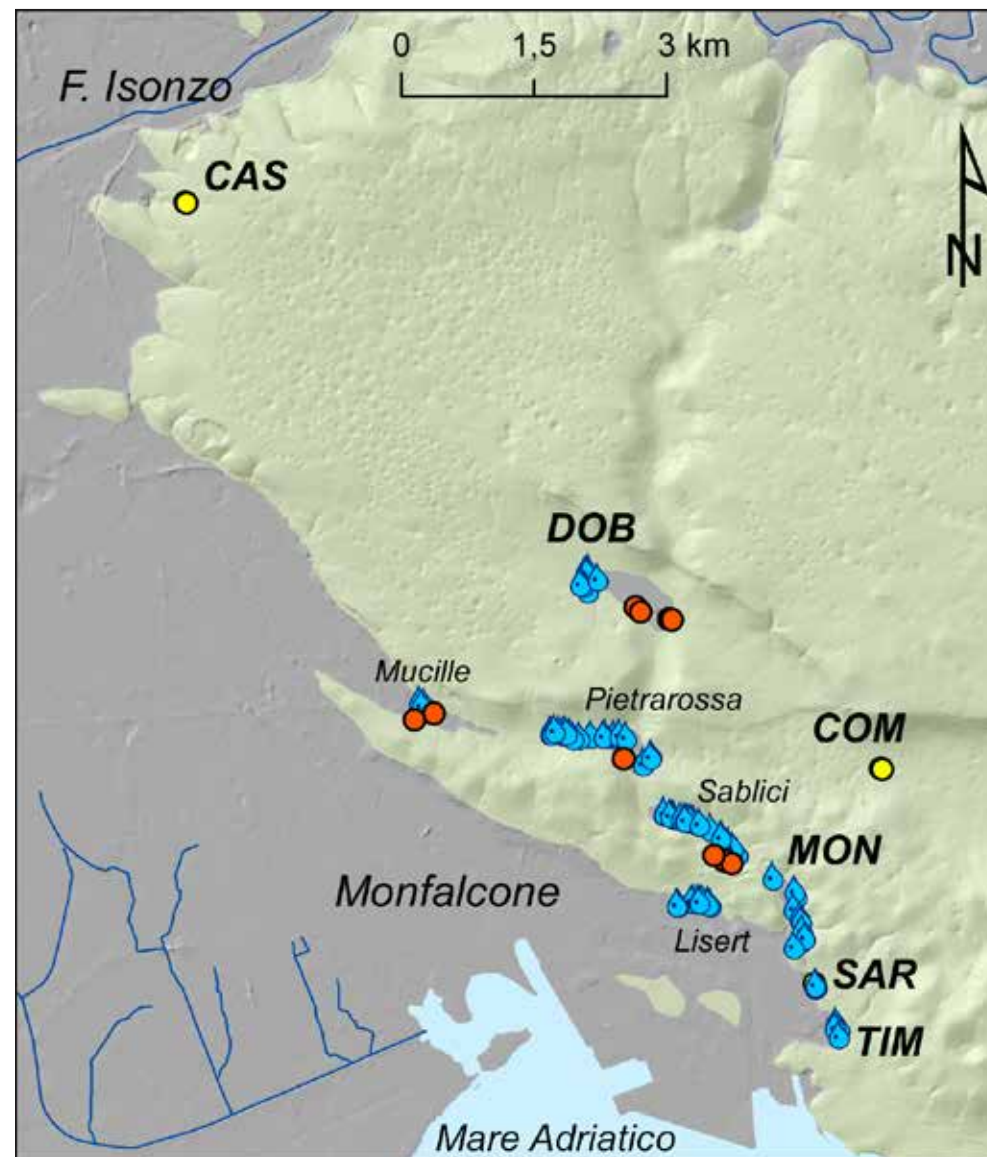
ji na dolžini približno 350 m blizu stika apnenca in fliša, ki se na tem območju nahaja na obali. Vode se danes zbirajo v umetnem drenažnem jarku, vzporednem z obalo, ki je od leta 1857 do 1971 služil kot akvadukt za vodooskrbo Trsta.

Med Nabrežino (Aurisina) in Ribiškim naseljem (Villaggio del Pescatore) se nahaja druga skupina izvirov, ki so pogosto pod morsk gladino in niso vsi stalni. Njihov povprečni skupni pretok je ocenjen na 0,5-1 m³/s in je zelo spremenljiv, odvisno od režima. Največji izviri se nahajajo pod morsk gladino zahodno od Sesljanskega (Sistiana) zaliva.

Na skrajnem zahodnem območju med Doberdobom (Doberdò) in Tržičem (Monfalcone) se pojavlja razčlenjen sistem izvirov, kraških jezer in vrtač, ki ustvarja edinstven hidrogeološki sistem in ekosistem (Slika 3.6.7).

Doberdobsko jezero (Lago di Doberdò) je najsevernejše v nizu kraških jezer, ki vključuje tudi Močila (Mucille) ter Prelostno (Pietrarossa) in Sabliško (Sablici) jezero. Te kraške depresije, katerih dno se nahaja na nadmorski višini med enim in petimi metri, lahko smatramo kot kraška okna, ker je voda kraškega vodonosnika na površju. V vsakem od jezer so stalni izviri in ponori, ki uravnavajo vodni režim. V času poplav se pretok izvirov hitro poveča in ponori včasih ne uspejo odvesti vse vode, ki priteka v jezera, tako da se lahko gladina v nekaj urah dvigne za več kot deset metrov.

Tak režim je bil značilen za celotno območje do šestdesetih let prejšnjega stoletja. Kasnejša gradnja odvodnih kanalov v Prelostnem (Pietrarossa) in Sabliškem (Sablici) jezeru pa je spremenila hidrodinamiko tega območja in omejila dvigovanje vodostaja.



Slika 3.6.7: Izviri in vodne točke zahodnega dela Krasa

◀ Slika 3.6.6: Nabrežinski izviri v obdobju poplav. Viden je blatni vodni tok čez obalo (foto: arhiv DMG)



V Štivanu pri Devinu (San Giovanni di Duino) se nahajajo izviri Timave, ki predstavljajo enega najznačilnejših kraških pojavov Krasa. Sistem štirih izvirov zbrani v treh krakih se izliva v en sam kanal, ki se po dveh kilometrih izlije v morje v Tržiškem (Monfalcone) zalivu. Trije izviri predstavljajo kompleksen preplet širokih rovov, ki segajo do 83 metrov globoko pod morsko gladino, skupno pa so dolgi več kot 1.500 metrov.

Poleg izvirov Timave obsega območje tudi izvire Sardoča (Sardos) (Slika 3.6.8), od leta 1929 pa je celotno območje izvirov namenjeno za vodooskrbo Trsta.

Hidrodinamika vodonosnika

Izviri Timave so osrednje stičišče hidrogeologije celotnega Krasa, saj odvajajo večino vod, ki napajajo vodonosnik. Na to mesto se pod različnimi režimi stekajo vode Reke, tiste, ki zatekajo iz Soče in Vipave, ter padavine celotnega Krasa.

Vsaka poplava ima edinstveno obnašanje, saj pretok vode v vodonosniku ni povezan samo s količino padavin, temveč tudi s hidrogeološkimi razmerami pred posameznim dogodkom (nizka voda, poplava, ...) in porazdelitvijo padavin v zaledju.

Vode Reke, ki poniknejo v Škocjanske jame, vplivajo na celoten vzhodni del Krasa do Devina. V svojem podzemnem toku se mešajo s padavinskimi vodami, ki pronicajo s površja Krasa v podzemlje, in na koncu skupaj izvirajo v vseh obalnih izviroh od Nabrežine (Aurisina) do Štivanja pri Devinu (San Giovanni di Duino) (Slika 3.6.9).

Med najintenzivnejšimi poplavami se aktivirajo nekateri prelivni jamski rovi, te vode pa iztekajo tudi iz izvira Sardoč (Sardos). Vendar pa vode Reke oziroma Timave ne dosežejo najzahodnejšega dela Krasa (soškega Krasa), kjer prevladujejo drugi dotoki.



Slika 3.6.9: Izviri Timave med poplavo (foto: Luca Zini)

Vode soškega Krasa se napajajo iz dveh izvorov: z vodami, ki jih prinašata reki Soča in Vipava, ter padavinami, ki pronicajo v podzemlje na tem območju. Vode soško-vipavskega sistema so glavni vir oskrbe v tem sektorju Krasa in napajajo izvire od Močil (Mucille) do kanala Mošenice (Moschenizza). V sušnih obdobjih, ko so pretoki Reke v Sloveniji zelo nizki (nekaj sto litrov na sekundo), se s tem virom v veliki meri napajajo tudi izviri Timave.

V tem primeru izvir Sardoč (Sardos) predstavlja stično točko med zahodnim sistemom, ki ga napaja sistem Soča - Vipava, in vzhodnim, povezanim z Reko oziroma Timavo. Glede na različne hidrogeološke režime prevlada prispevek enega sistema nad drugim oziroma se med seboj v različnih razmerjih mešata.

